

5/92

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة الجامعات و البحث العلمي

Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT GÉNIE INDUSTRIEL

BIBLIOTHÈQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

THÈSE

pour l'obtention du diplôme de  
MAGISTER EN GÉNIE INDUSTRIEL

**DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME EXPERT  
D'AIDE AU DIAGNOSTIC INDUSTRIEL  
" S. A. D. I "**

Présenté par :

Melle Djenet TALI - MAAMAR

Ingénieur d'état en Informatique U.S.T.H.B.

Option : SOFTWARE

Présentée devant le jury :

Président du jury :

D<sup>r</sup> Z. HADDAD

Directeur de thèse :

D<sup>r</sup> L. KERBACHE

Examineurs :

D<sup>r</sup> N. ABOUN

D<sup>r</sup> A. BELGHENOU

D<sup>r</sup> O. BELMOKHTAR

Invité :

M<sup>r</sup> A. BELAID (I.S.G.P)

1991 - 1992

E.N.P. 10, avenue Hacén Badi - El-Harrach - Alger

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة الجامعات و البحث العلمي

Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

DÉPARTEMENT GÉNIE INDUSTRIEL

THÈSE

pour l'obtention du diplôme de  
MAGISTER EN GÉNIE INDUSTRIEL

**DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME EXPERT  
D'AIDE AU DIAGNOSTIC INDUSTRIEL  
" S.A.D.I "**

Présenté par :

**M<sup>elle</sup> Djenet TALI-MAAMAR**

Ingénieur d'état en Informatique U.S.T.H.B:

Option : SOFTWARE

Présentée devant le jury :

Président du jury :

**D<sup>r</sup> Z. HADDAD**

Directeur de thèse :

**D<sup>r</sup> L. KERBACHE**

Examineurs :

**D<sup>r</sup> N. ABOUN**

**D<sup>r</sup> A. BELGHENOU**

**D<sup>r</sup> O. BELMOKHTAR**

Invité :

**M<sup>r</sup> A. BELAID (I.S.G.P)**

1991 - 1992

E.N.P. 10, avenue Hacén Badi - El-Harrach - Alger

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

*A ma petite nièce,  
A mes parents,  
A mes amis.*

Au CODESRIA pour l'aide  
financière qu'il m'a octroyée, ainsi que  
pour la riche documentation dont il m'a  
généreusement fait don; en espérant que ce  
modeste travail réponde aux aspirations  
des fondateurs de ce conseil.

Je tiens à exprimer ici toute ma gratitude et mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidée dans ce travail:

- A mon promoteur Dr. L.KERBACHE (Ph.D, Groupe ESC, RENNES) pour m'avoir guidée et encouragée tout au long de la réalisation de ma thèse.

- Aux membres de jury ma meilleure gratitude.

- Au Council for the Development of Economic and Social Research In Africa (C.O.D.E.S.R.I.A.) pour les encouragements qu'il apporte à la recherche en AFRIQUE, et pour l'importante subvention destinée aux chercheurs AFRICAINS.

Soyez assurés de mon éternelle reconnaissance.

- Au Professeur H.FREDOUET (Institut de Gestion de RENNES), pour l'intérêt qu'il porte aux systèmes experts de gestion, pour avoir accepté de valider mon travail et pour son aide constante.

- Aux Professeurs G.BAGLIN & A.GARREAU (HEC de PARIS) pour m'avoir encadrée durant mon stage au HEC, pour leur disponibilité ainsi que l'amabilité de leur accueil.

- Au Dr. A.BELGHENOU (PNUD) pour l'intérêt qu'il porte au diagnostic industriel, et pour avoir accepté de faire partie des membres du jury; j'en suis très honorée.

- Au Dr H.AZZOUNE (Docteur en Intelligence Artificielle, chargé de cours à l'U.S.T.H.B.) pour le temps qu'il a accordé à la révision de ce document.

- A Mr BELAID (ISGP, Département Production), pour sa disponibilité, ses conseils et son aide.  
Je vous remercie infiniment.

- A Mr M.SARI (ENP, EL-HARRACH), pour ses conseils toujours éclairés, et pour l'intérêt qu'il porte à l'Intelligence Artificielle et aux systèmes experts. Vos jugements sur mon travail m'ont été d'un apport très bénéfique.

Soyez assuré de mon amicale reconnaissance.

- A l'ensemble des professeurs du Département Génie industriel, pour leurs continuelles aide et assistance.  
Soyez assurés de ma profonde gratitude et de toute mon estime.

- A l'ensemble des fournisseurs de services: le centre de calcul de l'ENP, les centres de documentation de l'ENP, l'ISGP, l'INPED et HEC.

Qu'ils trouvent ici ma profonde reconnaissance.

- A ma Famille pour son soutien sans faille.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
PRESENTATION GENERALE DE LA THESE.....	4

## 1. LE DIAGNOSTIC DANS L'ENTREPRISE

1.1. DEFINITION DU DIAGNOSTIC .....	6
1.2. L'ENTREPRISE: SES FONCTIONS ET SON ENVIRONNEMENT.....	9
1.2.1. Les fonctions de l'entreprise.....	9
1.2.2. L'environnement et l'entreprise.....	12
1.3. LE DIAGNOSTIC: OPPORTUNITE OBJECTIF ET CHAMPS D'APPLICATION.....	14
1.3.1. L'opportunité du diagnostic.....	14
1.3.2. Objectif et champs d'application.....	15
1.4. LES DIVERS TYPES DE DIAGNOSTIC.....	17
1.5. LA METHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC.....	19
1.5.1. La démarche diagnostic.....	20
1.5.2. Les approches du diagnostic.....	24
1.6. LES OUTILS DU DIAGNOSTIC.....	26

## 2. LES SYSTEMES EXPERTS

2.1: INTRODUCTION.....	29
2.2. DEFINITION DES SYSTEMES EXPERTS.....	33
2.3. LES SYSTEMES EXPERTS: outils d'aide à la prise de décision.....	34
2.4. EXEMPLES DE SYSTEMES EXPERTS DE GESTION.....	38
2.5. ARCHITECTURE ET PRINCIPE DES SYSTEMES EXPERTS.....	40
2.5.1. Système expert et programmation classique.....	40
2.5.2. Architecture des systèmes experts.....	41
2.5.3. Cycle de base de fonctionnement d'un moteur d'inférences.....	42
2.5.4. Stratégies de raisonnement.....	44
2.5.5. La construction du raisonnement.....	48
2.6. OUTILS DE DEVELOPPEMENT DES SYSTEMES EXPERTS.....	51

## 3. LA REPRESENTATION DES CONNAISSANCES

3.1. INTRODUCTION.....	53
3.2. DIFFERENTS TYPES DE REPRESENTATION DE CONNAISSANCES..	54
3.2.1. La représentation procédurale.....	54
3.2.2. La représentation déclarative.....	56
3.2.3. La représentation mixte.....	62
3.3. COMPARAISON DES METHODES DE REPRESENTATION.....	64
3.4. LES META-CONNAISSANCES.....	65
3.5. LA REPRESENTATION DE L'INCERTAIN.....	66

4. S.A.D.I: Systeme expert d'Aide au Diagnostic industriel	
4.1. INTRODUCTION.....	70
4.2. PRESENTATION DU SYSTEME.S.A.D.I.....	72
4.3. LA DEMARCHE DIAGNOSTIC DU SYSTEME S.A.D.I.....	76
4.4. LE CHOIX DU LANGAGE D'IMPLEMENTATION.....	80

5. L'UNIVERS DES CONNAISSANCES DU SYSTEME S.A.D.I.

5.1. LA COMPLEXITE DU DOMAINE ORGANISATIONNEL.....	83
5.2. LA PRISE D'EXPERTISE.....	85
5.3. ORGANISATION ET UTILISATION DES CONNAISSANCES.....	90
5.4. LA BASE DE CONNAISSANCES DU SYSTEME S.A.D.I.....	93
5.4.1. La base situation.....	93
5.4.2. La base qualité.....	94
5.4.3. La base coût.....	95
5.4.3. La base stock/délais.....	97
5.4.4. Les méta-connaissances.....	97
5.5. LE MODULE D'ACQUISITION DES CONNAISSANCES.....	99
5.6. L'INCERTAIN DANS S.A.D.I.....	101

6. MISE EN OEUVRE DE S.A.D.I.

6.1. INTERFACES DE COMMUNICATION AVEC L'UTILISATEUR.....	104
6.2. LES STRATEGIES DE RAISONNEMENT.....	105
6.3. LA CAPACITE D'EXPLICATION DU RAISONNEMENT.....	108
6.4. LA VALIDATION DU MODELE.....	110

CONCLUSION ET SUGGESTIONS.....	113
--------------------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

Depuis quelques décennies, le monde économique vit une situation caractérisée par la variété des marchés, l'intensité de la concurrence internationale et la rapidité du progrès technologique.

Cette situation est en perpétuel changement et oblige l'entreprise à se redéfinir dans le temps et envers ses concurrents, pour se situer à la pointe du progrès. Ainsi, elle se trouve dans l'obligation d'améliorer en permanence son organisation, ses méthodes de travail, sa productivité et le rapport qualité/prix de ses produits.

Dans cet environnement concurrentiel, l'entreprise doit s'assurer une croissance sous peine de stagner, de péricliter, et enfin disparaître. Elle est appelée à se doter de cadres et d'experts pour analyser en profondeur sa gestion, sa productivité, son environnement (fournisseurs, clients et concurrents éventuels).

Pour mener à bien cette analyse et améliorer ses décisions stratégiques, en milieu organisationnel, le diagnostic d'entreprise devient un outil indispensable. Cet outil d'analyse aide les dirigeants à identifier les problèmes à la source des difficultés de l'entreprise.

Par ailleurs, plusieurs entreprises de différents secteurs économiques ont été contraintes de disparaître à cause des difficultés qu'elles ont eues. C'est pour cela que l'on a recours au diagnostic, afin de cerner la nature et les limites du problème, ainsi que les alternatives de solution possibles.

En effet, le dépistage précoce des difficultés est possible, si l'on dispose au sein de l'entreprise d'experts dans le diagnostic ou si l'on peut recourir à des consultants expérimentés. Ainsi, la maîtrise de la démarche de diagnostic industriel, par les gestionnaires, permet d'identifier les indicateurs informationnels fiables qu'il faut connaître en permanence, tels que celles que l'on trouve dans les tableaux de bords.

Malheureusement, l'emploi du diagnostic semble négligé par nos responsables, et mal compris par certains de nos chercheurs. Ce qui nous amène à dire qu'il existe peu de connaissances et d'expertise utiles à ce sujet dans nos organisations industrielles.

Vu l'importance des facteurs économiques, et le temps consacré à l'établissement d'un diagnostic, les entreprises préfèrent faire appel à des experts externes, plutôt que de former leurs propres experts. Mais dans la plupart des cas, les meilleurs spécialistes ne sont pas disponibles immédiatement, et l'appel des entreprises demeure donc sans réponse. Devant cet état de fait, il est primordial de rechercher des moyens sûrs et rapides permettant aux entreprises d'évoluer et de rattraper le progrès technologique afin d'assurer leur continuité.

Dans cette perspective les développements récents en Intelligence Artificielle<sup>(1)</sup>, plus particulièrement les systèmes à base de connaissances, appelés aussi systèmes experts, proposent des possibilités fort intéressantes.

(1)

L'intelligence Artificielle est la discipline qui vise à reproduire la nature de l'Intelligence, en construisant des programmes d'ordinateur imitant l'Intelligence Humaine.

Dès leur origine, les systèmes experts ont été présentés comme des systèmes d'aide à la décision. Ils ont ainsi été introduits dans les entreprises pour traiter les données qualitatives, approximatives et incertaines, qui étaient jusqu'alors négligées, afin de dépasser certaines limites liées aux méthodes purement statistiques, en développant une représentation plus structurée des problèmes.

L'appellation "système expert" a été adoptée pour désigner ces systèmes qui utilisent de grandes quantités de connaissances, et permettent d'intégrer le savoir-faire et les compétences des praticiens et chercheurs. Ce sont des logiciels fondés sur l'inférence logique. Ils permettent de résoudre un certain nombre de questions, de type diagnostic, planification, optimisation, maintenance, etc..., en faisant intervenir une suite de transformations logiques à partir d'un énoncé et d'un ensemble de connaissances.

La réalisation d'un système informatique, à base de connaissances, permettant d'assister les dirigeants d'entreprises est le but principal de notre étude. Pour écrire et tester la base de connaissances de notre Système expert d'Aide au Diagnostic Industriel (S.A.D.I) nous en avons restreint le domaine d'étude à une fonction de l'entreprise: la fonction Production. Le fondement de cette limitation réside dans le fait que pour mener un diagnostic d'entreprise, il faut acquérir une connaissance non seulement étendue mais très souvent complexe.

Cette étendue et cette complexité rendent difficiles l'établissement d'un ordonnancement convenant à chacune des facettes du diagnostic, de même il n'est pas toujours évident de distinguer l'important de l'accessoire, dans la mesure où il s'agit d'un sujet très varié, tant par la diversité des fonctions concernées, que par la variété des entreprises à étudier.

**PRESENTATION GENERALE DE  
LA THESE**

## PRESENTATION GENERALE DE LA THESE

Dans le but de faciliter au lecteur la compréhension de notre projet, nous avons structuré notre thèse comme suit:

Dans le premier chapitre nous définirons le diagnostic, ensuite nous présenterons d'une manière générale l'entreprise, ses fonctions, son environnement et les problèmes qu'elle rencontre. Nous parlerons de l'opportunité, des objectifs et des champs d'application du diagnostic que nous proposons comme solution possible à certains des problèmes évoqués.

Nous aborderons également la méthodologie du diagnostic suivie, des approches et outils pour procéder à un diagnostic. Nous terminerons ce chapitre par l'introduction d'un nouvel outil de décision au sein de l'entreprise à savoir les Systèmes Experts.

Les chapitres deux et trois seront consacrés à la discussion des systèmes experts, leurs buts et concepts, leur architecture générale ainsi que quelques outils de développement. Nous citerons des exemples de systèmes experts de gestion qui sont en application, sans oublier de montrer la nécessité et l'apport d'un tel outil dans les entreprises. Nous passerons en revue les différentes techniques et méthodes disponibles pour aborder le problème de la représentation des connaissances avant de présenter notre système S.A.D.I.

Les chapitres quatre, cinq et six seront consacrés à la description de notre système S.A.D.I. et à sa mise en oeuvre. Dans un premier temps nous présenterons les objectifs du système qui se résument en quatres points:

- 1) La connaissance dont il dispose doit lui permettre de donner un avis comparable à celui d'un d'expert.

2) Afin d'éviter à l'utilisateur l'apprentissage d'un langage ou d'un code particulier, le système sera doté d'une interface en langage quasi-naturel. Cette interface assurera le dialogue entre l'utilisateur et la machine.

3) Le système doit disposer de possibilités pour expliquer son raisonnement et argumenter ses conclusions.

4) Enfin, pour évoluer et mettre à jour les connaissances dont il dispose, le système sera doté d'un module d'acquisition de connaissances. Ce dernier n'est accessible que par l'expert ou le concepteur lui-même.

Ensuite, la structure générale du système sera donnée, accompagnée d'un schéma qui montrera les différents modules du système. Avant de passer au contenu de la base de connaissances, nous justifions le choix du langage de programmation décrivant le langage adopté.

Dans un deuxième temps nous aborderons l'univers des connaissances et leur structure. Comme nous l'avons cité plus haut, le domaine d'étude sera restreint, ainsi la base de connaissances de notre système sera destinée à diagnostiquer la fonction production dans un milieu industriel. Nous expliciterons le contenu de cette base en montrant les variables clés sur lesquelles se base le raisonnement de notre système.

A la fin du dernier chapitre nous évoquerons la validation du système. En effet, notre système a été validé une première fois auprès de deux experts.

La conclusion récapitulera les principaux points de notre étude, et portera sur les suggestions et les grands axes d'extension possible de notre travail.

**LE DIAGNOSTIC DANS  
L'ENTREPRISE**

# 1. LE DIAGNOSTIC DANS L'ENTREPRISE

## 1.1. DEFINITION DU DIAGNOSTIC

En langage médical, faire un diagnostic consiste à établir un pronostic, un jugement sur l'état d'un malade pour reconnaître la ou les maladie(s) dont il souffre, d'après les symptômes observés.

Dans le domaine de la gestion des entreprises, établir un diagnostic c'est analyser une situation pour dégager le problème réel, ses dimensions, ses conséquences possibles, voire des pistes de solutions. Il ne vise pas à dégager un chiffre, comme c'est le cas pour l'évaluation des entreprises, mais à faire un pronostic sur l'évolution qu'on peut atteindre si on continue les mêmes actions, [BRIL88], [CAPE86], [DARB88].

L'entreprise peut être assimilée à un organisme vivant, vu qu'elle présente de grandes analogies avec ce dernier. Comme lui, elle peut être affectée de dysfonctionnements ou de déséquilibres internes et/ou externes. En d'autres termes, comme pour un être vivant, il existe une pathologie de l'entreprise qui peut être révélée par ses symptmes ou par ses consquences. (Figure 1.1.a)

### EXEMPLES DE SYMPTOMES:

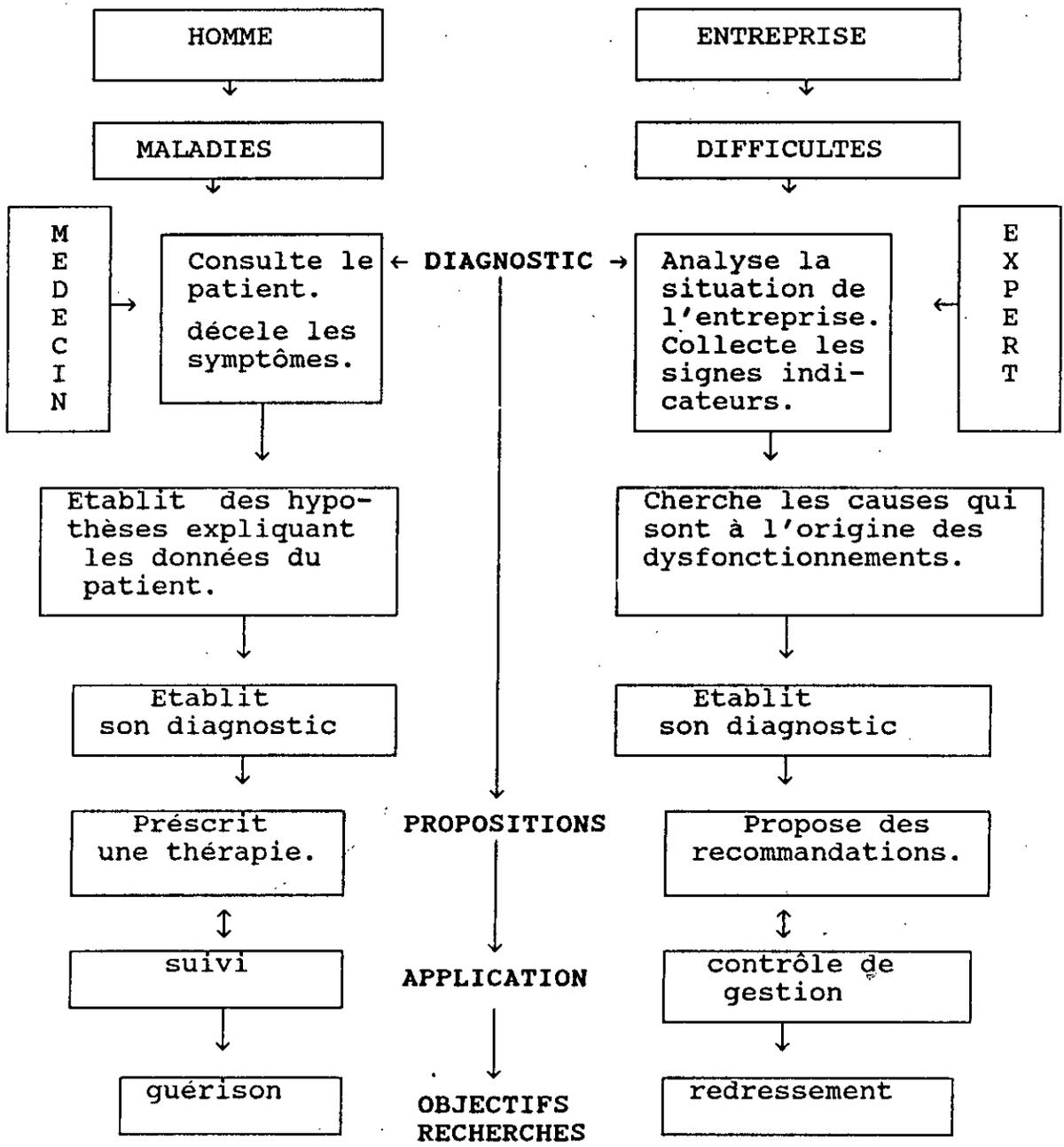
- Gonflement des stocks,
- Mauvaise organisation,
- Manque d'hygiène,...

### EXEMPLES DE CONSEQUENCES:

- Chute de rentabilité,
- Crise de trésorerie,
- Baisse des ventes, ...

### EXEMPLE DE PROPOSITIONS:

- Suppression d'un goulot d'étranglement entre fonctions ou à l'intérieur d'une fonction,
- Réorientation des ressources,
- Restauration de l'équilibre financier,
- Changement des règles de gestion des stocks,
- Modification des méthodes d'ordonnancement, lancement,
- etc...



Analogie entre un diagnostic médical et un diagnostic d'entreprise  
Figure 1.1.a

L'analogie entre les deux types de diagnostic n'est cependant valable que jusqu'à un certain point. En réalité, le diagnostic d'entreprise diffère du diagnostic médical, dans la mesure où il ne vise pas seulement à révéler la pathologie (aspects négatifs) de l'entreprise mais aussi à montrer son

metabolisme général et son potentiel, c'est-à-dire les aspects positifs. De plus, il inclut la thrapeutique puisqu'il doit aboutir à la définition d'alternatives de solution.

[BROW78], [DARB88], [THEO87], [THIB89]

Enfin, le diagnostic d'entreprise consiste en un examen de sa situation et de son fonctionnement en vue de relever les faiblesses et les forces qu'elle recèle, pour finalement aboutir à l'identification des problèmes qui sont à la source de toutes ses difficultés.

Il se base sur la situation de l'entreprise (passé et présent) et sur son environnement afin qu'il puisse aborder le futur. [MEYE72] (Figure 1.1.b)

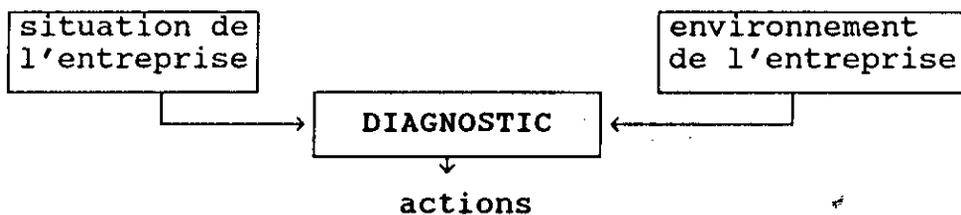


Figure 1.1.b

Par ailleurs, faire un diagnostic nous mène à nous poser les questions suivantes:

- Qu'est ce qu'une entreprise?
- Comment fonctionne-t-elle ?
- Quelle est l'influence de son environnement ?

## 1.2. L'ENTREPRISE : SES FONCTIONS ET SON ENVIRONNEMENT

### 1.2.1. LES DIFFERENTES FONCTIONS DE L'ENTREPRISE

L'entreprise est un ensemble de fonction structurées dirigées par des Hommes organisés, qui collaborent en permanence afin de raliser un profit. La figure 1.2.1. schématise, de manière simplifiée, l'entreprise avec l'ensemble des fonctions. [LES085]

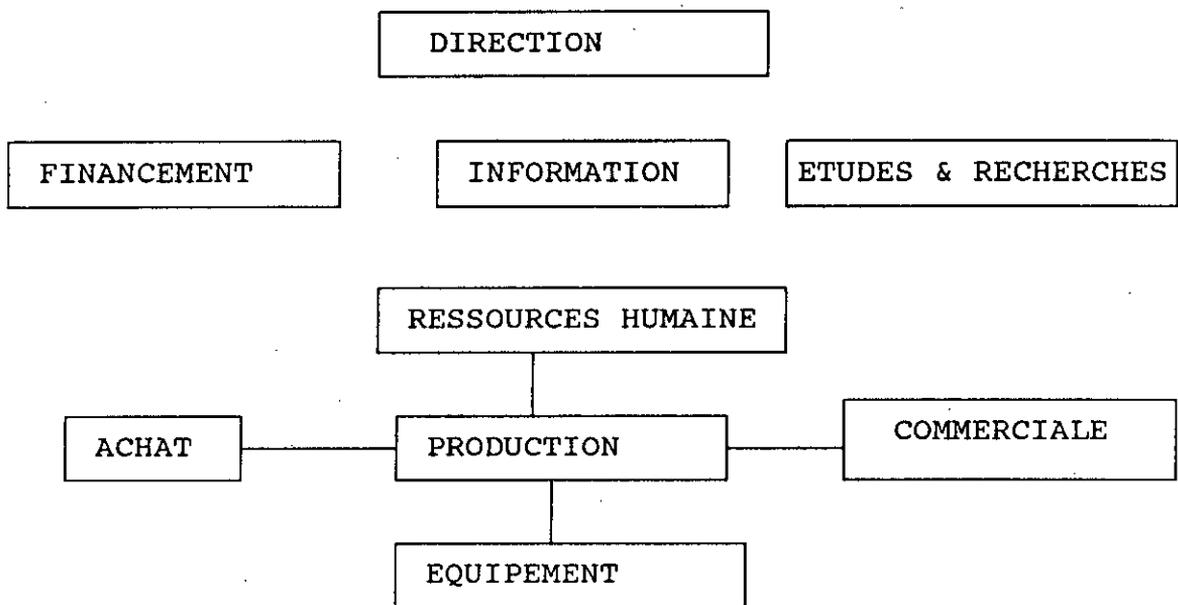


Figure 1.2.1. Les fonctions dans l'entreprise

**PRODUCTION:** Cette fonction consiste à transformer en biens et services, des facteurs de production. Ceux-ci sont:

- (1) -Les services fournis par l'ensemble du personnel: heures de travail, savoir-faire, travail physique, etc...
- (2) -Les biens fongibles et les services achetés à l'extérieur: Matières premières, électricité, semi-produits, etc...
- (3) -Les Equipements: Terrains, bâtiments, machines, etc ...

La présence d'autres fonctions est nécessaire, afin que l'entreprise puisse s'assurer de la disponibilité des facteurs cités.

FONCTION ACHAT: Son rôle est d'acquérir les biens fongibles et les services achetés à l'extérieur.

FONCTION EQUIPEMENT: Sa tâche est d'acquérir, de mettre en place et d'entretenir les équipements qui permettent d'assurer la production.

FONCTION RESSOURCES HUMAINES: Elle doit assurer la gestion du personnel, à savoir le recrutement, la formation, le licenciement, l'orientation, etc ... Cette fonction a un double rôle :

- D'une part, elle offre des services (facteur de production)

- D'autre part, elle prend des décisions, et participe ainsi, quel que soit son niveau hiérarchique, à la direction de l'entreprise.

FONCTION COMMERCIALE: Elle regroupe la distribution et la vente. Le rôle de la première est de faire parvenir la production (produits finis) aux clients qui l'achètent. Elle assure par conséquent le transport et le stockage si nécessaire. La seconde permet de trouver des clients et conclure avec eux des contrats de vente.

FONCTION FINANCE: Elle doit assurer la rentabilité de l'entreprise et son équilibre financier à tout moment.

FONCTION INFORMATION: Elle porte sur les renseignements de nature comptable, commerciale, technique, productive, etc... dont elle assure l'acheminement et la cohérence dans l'entreprise.

FONCTION RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT: Son but est d'assurer le maintien -la survie- de l'entreprise sur le marché, en proposant des actions nouvelles (nouveaux produits, recherche technique, stratégie, etc ...)

FONCTION DIRECTION: Sa mission est de choisir les objectifs, de décider des moyens à acquérir et à mettre en oeuvre pour ce faire.

Chacune de ces fonctions de l'entreprise doit atteindre des objectifs spécifiques. Ceux-ci doivent concourir à la réalisation des objectifs globaux de l'entreprise. Par ailleurs, pour atteindre ces objectifs, chaque responsable au niveau de chaque fonction doit formuler et respecter des principes et règles d'action s'inscrivant dans des politiques explicites.

Et, pour mettre en application les politiques et les stratégies envisagées, les dirigeants ont à leur disposition, ou doivent se procurer, des moyens humains et matériels. Ce sont ces moyens qui font que les objectifs seront réalisés ou pas.

Quelle que soit l'entreprise (à caractère lucratif), son but est de faire du profit. Fabriquer et vendre des produits de qualité, satisfaire le client et rester à la pointe de la technologie, ne sont que des moyens pour atteindre ce but. Ainsi, doit-elle s'assurer de l'efficacité des moyens qu'elle utilise. [GOLD86], [THIB89]

L'entreprise vit dans un environnement technico-économique et social qui est en perpétuelle évolution, évolution dont elle subit les conséquences. Elle doit aussi s'intéresser à son avenir pour survivre et se développer dans cet univers changeant.

## 1.2.2. L'ENVIRONNEMENT ET L'ENTREPRISE

L'étude de l'environnement de l'entreprise a pour but de déceler les opportunités et les menaces qui peuvent affecter celle-ci. [MEYE72], [CAPE86]

Ces menaces et ces opportunités proviennent de secteurs différents que nous pouvons ramener:

- au progrès technique,
- à la demande,
- à la concurrence,
- au marché, et
- aux institutions.

### LE PROGRES TECHNIQUE :

Il est lié aux phénomènes de découvertes, de développement et d'innovation. Il permet le lancement de nouveaux produits, la mise au point de procédés nouveaux de production, de vente, etc ...

L'accélération du progrès technique oblige l'entreprise à s'intéresser à la recherche et au développement avec plus d'insistance, pour espérer se maintenir et se développer.

### LA DEMANDE :

Elle correspond à l'ensemble des clients actuels ou futurs de l'entreprise. Il existe donc un besoin exprimé par des clients, auquel l'entreprise s'efforce de répondre par des produits (cf 1.2.1.).

### LA CONCURRENCE :

Elle recouvre l'ensemble des entreprises qui s'adressent au(x) marché(s) de l'entreprise. Plusieurs points peuvent être étudiés pour permettre l'estimation du volume et l'intensité de la concurrence, parmi ceux-ci:

- le nombre de concurrents,
- la part de marché des concurrents,
- la spécialisation des concurrents,
- etc ...

### LE MARCHÉ:

Il regroupe l'ensemble des fournisseurs, clientèles, pouvoirs publics et l'environnement qui fournit des modèles.

L'analyse du marché porte essentiellement sur les points suivants : [BAGL88], [BRIL88], [CAPE86]

- La nature de la demande, (livraison sur stock, ou sur commande, livraison saisonnière, ...)
- Le délai de livraison attendu,
- La part de marché (de l'entreprise),
- La croissance du marché,
- La structure de la clientèle,
- La structure du marché,
- Le nombre de commandes,
- Le rapport de l'offre et la demande,
- L'image de l'entreprise (ses relations),
- Les prix de vente,
- Le réseau de distribution.

### LES INSTITUTIONS :

C'est l'ensemble des organisations, des collectivités, des syndicats et des groupements divers auxquels l'entreprise a recours tels que :

a) L'Etat : Il intervient directement dans l'entreprise en l'incitant à investir, à faire de la recherche, à exporter, à augmenter sa productivité, etc...

b) Le travail : On y trouve les syndicats dont le degré de densité et d'unité varie en fonction des professions.

c) Les finances : On cite les banques, la bourse, les emprunts et les crédits. En effet, s'il y a un quelconque problème de trésorerie au niveau de l'entreprise, il devient difficile pour celle-ci de se faire prêter de l'argent.

d) Les consommateurs : C'est par leurs comparaisons de prix et de qualité qu'ils sont susceptibles de jouer un rôle important dans l'évolution de l'entreprise.

### 1.3. LE DIAGNOSTIC : OPPORTUNITE, OBJECTIF ET CHAMPS D'APPLICATION

#### 1.3.1. L'OPPORTUNITE DU DIAGNOSTIC

L'entreprise peut se trouver dans différentes situations critiques parmi lesquelles:

- une détérioration et diminution des capitaux propres;
- des amortissements insuffisants,
- une sous-activité ou sous-exploitation de ses propres ressources,
- une mauvaise gestion de l'entreprise,
- etc ....

En raison de ces difficultés, l'entreprise doit se protéger et le recours au diagnostic est une nécessité primordiale. En effet, il sert à identifier les causes du dysfonctionnement et à définir des mesures appropriées de redressement susceptibles d'améliorer la situation de l'entreprise ainsi que ses performances.

Cependant, un diagnostic peut être établi même si l'entreprise est "en bonne santé". Dans ce cas, les raisons du recours au diagnostic peuvent être interprétées comme étant la volonté de la direction de l'entreprise d'améliorer ses performances.

La plupart du temps, le diagnostic est demandé par la direction de l'entreprise. D'autres personnes peuvent avoir intérêt à faire établir un diagnostic:

-Lorsque les actionnaires d'une entreprise n'en assurent pas la direction effective, le recours au diagnostic leur permettra de juger les performances des dirigeants et la valeur de l'entreprise.

-L'Etat peut se trouver en face d'entreprises ayant des problèmes de financement, de survie ou de risque de licenciement des ouvriers. Avant d'accorder son aide, il peut demander à établir un diagnostic.

-Un client demanderait un diagnostic afin de s'assurer que tel fournisseur peut satisfaire ses besoins en qualité et en quantité.

[BAGL88], [CAPE86], [BASS83], [BROW78]

Ainsi, la rapidité de l'expansion du monde technologique et économique impose aux dirigeants des entreprises de faire de plus en plus appel au diagnostic pour:

- Vérifier l'efficacité des procédures utilisées.
- Détecter les failles et trouver des améliorations.
- Développer les taux de rentabilité interne ainsi que la sécurité de l'entreprise.
- Savoir où va l'entreprise et orienter son évolution.
- Savoir se situer vis à vis des entreprises concurrentes.
- Procéder à tout aménagement important des structures d'implantation et des méthodes.

### 1.3.2. OBJECTIF ET CHAMPS D'APPLICATION DU DIAGNOSTIC

Le rôle du diagnostic est de relever l'ensemble des faiblesses et d'exploiter les potentialités de l'entreprise pour proposer des recommandations tendant à améliorer la situation de celle-ci.

Par ailleurs, son objectif n'est pas de savoir si les prescriptions recommandées par l'analyse sont valables, mais de voir si l'on a cerné les vrais problèmes. [DARB88], [THEO87]

Pour pouvoir donner des solutions aux problèmes, il faut d'abord localiser les véritables insuffisances de l'entreprise. Une fois les causes des difficultés localisées, les solutions découlent d'elles-mêmes et le gestionnaire pourra entreprendre la tâche de formuler des décisions destinées à améliorer la situation observée.

En effet, plus le domaine à diagnostiquer est vaste et complexe, plus il est difficile de cerner les problèmes et leurs causes.

Vu l'étendue et la complexité de l'univers des entreprises, et leur diversité (par les personnes qui les composent, les produits qu'elles élaborent et par leur secteur d'activité), le champ d'application du diagnostic ne peut englober tous les secteurs d'activité, pour atteindre ses objectifs. Cependant, il peut porter sur l'ensemble de l'entreprise d'un secteur d'activité donné, ou ne vise qu'une fonction bien déterminée d'une organisation.

Ainsi, le choix des petites et moyennes entreprises (PME) nous permet de bien saisir le tout, alors que le choix d'entreprises industrielles nous mène à concentrer le diagnostic sur les grandes fonctions: production, commercial, finance, personnel. [THEO87], [FRED89]

## 1.4. LES DIVERS TYPES DE DIAGNOSTIC

Suivant son champ d'application, un diagnostic peut être préventif ou curatif, occasionnel ou répétitif, général ou partiel, effectué à partir d'une analyse détaillée, par comparaison ou par synthèse. Nous présenterons les différents types de diagnostics ci-après:

### A) LE DIAGNOSTIC GLOBAL

Appelé aussi "Check-up" ou "Check-list", il consiste en un diagnostic général de type préventif et répétitif. C'est un modèle de base qui analyse l'entreprise dans une perspective globale à travers ses fonctions et son organisation. Il décèle les faiblesses et les forces de l'entreprise pour déboucher sur des propositions d'amélioration. C'est un diagnostic d'évaluation, il vise la situation de l'entreprise à court ou à long terme.

### B) LE DIAGNOSTIC EXPRESS

Ce dernier est de type curatif. Il est généralement provoqué par l'apparition d'un dysfonctionnement quelconque.

Cette déficience peut être :

1½) Une situation financière critique, une rentabilité insuffisante.

2½) Une imputation d'une fonction ou d'une activité donnée.

Ce type de diagnostic se rapproche du précédent, il sera général dans le premier cas et partiel dans le second. Son objectif est l'identification des raisons des difficultés, mais surtout de formuler des mesures de sauvetage rapides.

### C) LE DIAGNOSTIC FONCTIONNEL

C'est un diagnostic fragmentaire d'une fonction spécialisée, telle que : la fonction technique, commerciale, personnel, etc... Il est destiné à la solution des problèmes de fonctionnement interne et à améliorer les résultats.

#### D) LE DIAGNOSTIC AVANT AMENAGEMENT

De type occasionnel, il est favorable avant toute expansion brutale: réimplantation, lancement de nouveaux produits, ou modification importante du dysfonctionnement d'une entreprise. Il permet d'éviter certaines erreurs dues en général à un manque de préparation ou à une mauvaise évolution des aménagements envisagés.

#### E) LE DIAGNOSTIC PERMANENT

Il permet au chef de l'entreprise et aux dirigeants de faire le point par comparaison avec des résultats précédents ou avec des objectifs fixés à l'avance. Les tableaux de bord ont un rôle important pour ce type de diagnostic. Ils permettent de mesurer l'atteinte des objectifs fixés.

#### F) LE DIAGNOSTIC COMPARATIF PROFESSIONNEL

Celui-ci a pour but de situer l'entreprise dans sa profession. Il s'appuie sur une connaissance approfondie de la profession de l'entreprise, son évolution et son marché. Pour le mener à bien, la disponibilité de certains ratios est essentielle.

#### G) LE DIAGNOSTIC DE COMPETITIVITE

Il consiste en une évaluation de la compétitivité de l'entreprise dans son ensemble ou de l'un de ses secteurs d'activité.

[THIB89], [SOLV89], [CAPE86], [BROW78]

## 1.5. LA METHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC

Quel que soit le type de diagnostic employé, les grandes lignes de la méthodologie restent les mêmes. Celles-ci se regroupent en cinq phases (Figure 1.5.):

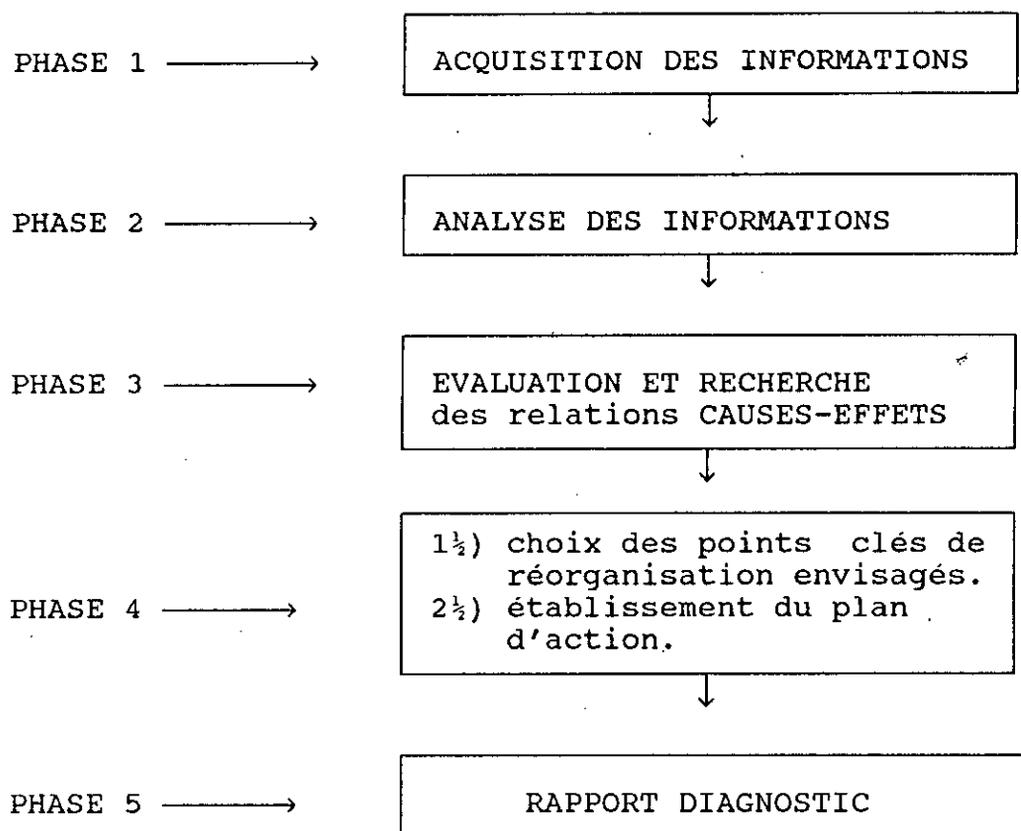


Figure 1.5. Phases principales du diagnostic

PHASE 1: C'est la phase de départ du diagnostic. Elle consiste à rassembler les informations et documents nécessaires au diagnostic tels que :

- les états financiers,
- les mouvements de matières premières,
- les produits fabriqués par l'entreprise,
- l'état des équipements,
- etc...

Une fois recueillies, ces informations doivent être classées d'après l'origine des documents sources.

PHASE 2: [Elle consiste à étudier et à analyser les informations recueillies dans la phase précédente afin de dégager les causes et les effets.

PHASE 3: C'est la phase d'évaluation et de recherche d'amélioration des relations causes-effets. Dans cette phase, la connaissance des dysfonctionnements et des problèmes courants qui peuvent affecter l'entreprise, fournit une base essentielle pour apprécier son fonctionnement.

PHASE 4: [Elle représente la conclusion de la phase précédente. Elle comprend deux étapes :

- 1½) le choix et la discussion des points clés de la réorganisation,
- 2½) l'établissement d'un plan d'action.

PHASE 5: C'est la dernière phase. Elle consiste à faire le rapport diagnostic, dans lequel doit être présentée l'entreprise et doivent être indiqués :

- but de l'étude,
- comment est-elle faite?
- recommandations et observations,
- remèdes possibles,
- plan d'action.

[BAGL88], [CAPE86], [BASS83], [BROW78], [THIB89]

### 1.5.1. LA DEMARCHE DIAGNOSTIC

Le diagnostic est un outil d'information au service de la volonté de changement et de progrès qui caractérise le management performant. En effet, il permet d'identifier différentes variables internes et externes (Figure 1.5.1.a.).

Ces variables sont les résultats des analyses respectives internes et externes.

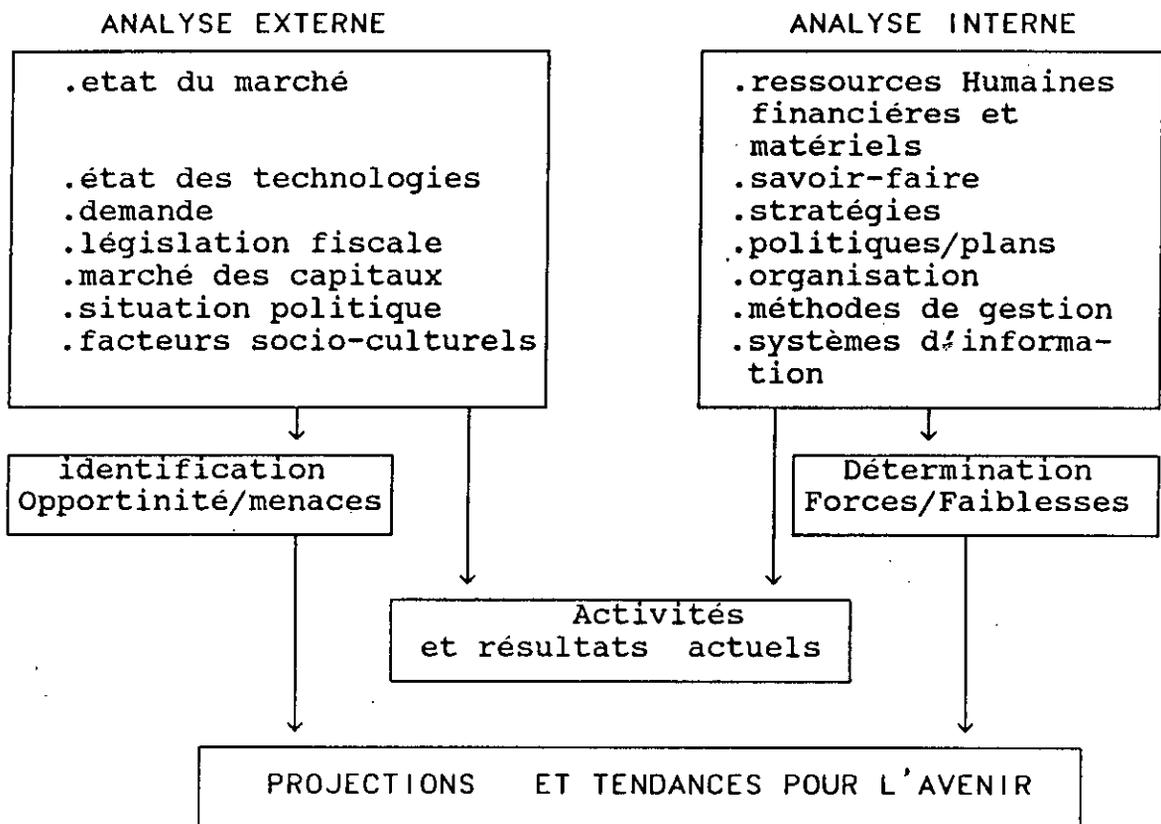


Schéma de la démarche diagnostic [THIB89]

Figure 1.5 1.a.

A la suite d'un diagnostic, les dirigeants et les responsables auront la possibilité, en partant des résultats obtenus, de formuler des propositions d'action.

Ainsi, le choix de stratégie et la fixation d'objectifs seront fondés sur des critères précis. Ils permettront, alors, d'améliorer ou de reformuler les politiques fonctionnelles et de mieux les coordonner pour améliorer le fonctionnement de l'ensemble de l'entreprise. [THIB89]

Par ailleurs, les principaux centres d'intérêt de l'entreprise tant internes qu'externes sont:

DIAGNOSTIC INTERNE

Pour le diagnostic interne, nous avons les points suivants:

(Tableau 1.5.1.b.)

- Production.
- Ventes.
- Finance.
- Recherche et développement.
- Direction générale.

domaine	exemple de point critique	causes possibles
production	coût élevé	volume insuffisant, mauvais emploi des capacités productives, rendement faible, gaspillage.
vente	marge insuffisante	surinvestissement commercial.
recherche et développement	produits nouveaux inadaptés	mauvaise coordination recherche -marketing
finance	manque de ressources financières	manque de surface financière, refus d'engagement, inefficacité du service.

EXEMPLE DE POINT CRITIQUE POUR LE DIAGNOSTIC INTERNE  
Tableau 1.5.1.b. [MEYE72]

a) Production :

Les principaux postes du diagnostic peuvent être :

- \* Le volume de production (rythme, capacité de production, exigences du marché, etc ..).
- \* Les délais de livraison.
- \* La qualité (niveau, comportement de la clientèle).
- \* Le coût (matière première, main-d'oeuvre, frais indirects, niveau comparé à celui de la concurrence).

b) Vente :

Comme pour la production, on se demande si son volume, sa qualité, et son coût correspondent à ce que l'on peut en attendre.

c) Recherche et Développement :

L'entreprise est amenée à s'interroger sur le coût du service et sur l'opportunité commerciale des produits nouveaux lancés.

d) Finance :

L'entreprise est tenue de mesurer sa rentabilité et d'analyser son équilibre financier afin de porter une appréciation sur sa performance économique et financière.

e) Direction :

Les points retenus sont quelques qualités qui doivent caractériser les dirigeants:

- la compétence,
- l'ouverture aux problèmes,
- la cohérence des décisions prises, et
- la compréhension des problèmes économiques.

Le diagnostic interne sert à établir les avantages comparatif de l'entreprise.

DIAGNOSTIC EXTERNE

Il s'agit de positionner l'entreprise face aux menaces et aux opportunités présentés dans son environnement. Les secteurs retenus sont ceux cités au 1.2.2. Le tableau 1.5.1.c. regroupe les points critiques de l'environnement et leurs éventuelles causes.

domaine	exemple de point critique	causes possibles
progrès technique	insuffisance de resultat (innovation)	taille de l'entreprise trop faible.
demande	- croissance faible  - aléatoire	-secteur en stagnation gamme de produits vieillie. -secteur irrégulier client unique.
concurrence	vive	coût d'entrée faible, demande rapidement croissante, profit élevé....
institution et travail	coût des salaires élevé	pression syndicale.

EXEMPLE DE POINT CRITIQUE POUR LE DIAGNOSTIC EXTERNE

Tableau 1.5.1.c. [MEYE72]

## 1.5.2. LES APPROCHES DU DIAGNOSTIC

L'analyse de treize (13) méthodes de diagnostic (cf Annexe-A), faite par Ch.NAVARRE, a permis de distinguer trois grandes catégories de modèles pratiqués par les spécialistes du diagnostic. Chaque catégorie est spécifiée par une approche.

APPROCHE 1: [Elle regroupe tous les modèles de diagnostic qui s'appuyent sur l'analogie avec le diagnostic médical. Ce sont des modèles pathologiques.

APPROCHE 2: [Elle regroupe tous les modèles d'aide aux décideurs. Elle est fondée sur l'hypothèse que le développement des capacités à diagnostiquer vise à obtenir une plus grande efficacité de l'organisation dans son ensemble.

APPROCHE 3: [Elle puise son inspiration dans le courant de la théorie du développement des organisations. C'est un modèle d'aide au changement organisationnel.

Dès lors que l'analyse des propositions des praticiens n'aboutit pas à un modèle unique, il n'existe pas de modèle universel gouvernant le fonctionnement de l'entreprise. [NAVA78], [THEO87]

Ce que l'on peut dire, c'est que la méthodologie reste la même quelque soit le type de diagnostic, mais la démarche diffère selon le type.

En effet, certains points seront plus ou moins développés tels que:

- L'examen général et approfondi du climat dans l'entreprise. Il aidera le diagnostiqueur à prendre connaissance directement de tous les éléments de l'entreprise.
- L'analyse comparative des bilans complets d'exploitation et des tableaux de bord, dans le but de se renseigner sur la qualité de la structure financière.
- Les interviews au sein de l'entreprise. C'est par leur biais que l'on prendra connaissance, avec les divers responsables, des principaux services de l'entreprise, du déroulement de chacune des fonctions et divers services, ainsi que de l'entreprise dans son ensemble.
- L'analyse des produits fabriqués par l'entreprise, à savoir:
  - \* la vie des produits,
  - \* la création des produits,
  - \* les conditions de fabrication et de déclenchement des investissements,
  - \* l'analyse de la rentabilité par catégorie de produit (chiffre d'affaire, heures de fabrication mis en oeuvre pour obtenir le produit, etc ...)
- La comparaison inter-entreprises de la même profession et l'analyse des tableaux de bord et des ratios comparatifs inter-entreprise.

[BROW78], [BASS83], [NAVA78].

## 1.6. LES OUTILS DU DIAGNOSTIC

Le médecin, pour mener à bien son diagnostic, dispose d'outils, pour confirmer ou infirmer les informations données par son malade. De même, le gestionnaire a besoin, lui aussi, d'outils qui lui seront fort utiles, afin d'éviter les omissions, et de bien exploiter et analyser les informations recueillies. En effet, quelle que soit l'approche adoptée, le diagnostiqueur doit recourir à certains outils tels que:

### a) Les tableaux d'évaluation de l'entreprise:

C'est un ensemble de grilles d'analyse de tout le fonctionnement de l'entreprise. Ils fournissent une vue assez précise de la situation globale de l'entreprise, son organisation, son potentiel. [BASS83], [BROW78]

Les questions, qui se trouvent dans les grilles, sont pondérées afin d'indiquer leur importance dans le fonctionnement de l'entreprise. Une fois les résultats de l'analyse obtenus, on déterminera ainsi, les points forts et les points faibles.

### b) L'analyse factorielle par centre d'activité:

Elle consiste à partitionner l'entreprise en centres d'activité, selon sa structure, et à évaluer la qualité des principaux facteurs conditionnant le bon fonctionnement de chaque centre d'activité, puis à évaluer les résultats obtenus pour chaque fonction par rapport à sa mission. [BROW78]

### c) Le canevas guide:

Il fournit au diagnostiqueur un outil de classement des informations et un support pratique pour préparer son rapport. C'est l'outil le plus utilisé, toutefois chaque diagnostiqueur peut construire son propre modèle. C'est une analyse détaillée de l'entreprise par fonction et poste par poste. Il se compose, généralement, d'une série de questions ou de grilles. [BASS82]

[La liste suivante nous donne les points à examiner par cet outil:

- 1-La présentation de l'entreprise (historique).
- 2-L'analyse des résultats financiers et de rentabilité.
- 3-L'analyse de la place de l'entreprise sur le marché.
- 4-L'analyse fonctionnelle des différentes fonctions de l'entreprise.
- 5-Les méthodes et structures de la direction (politique générale, gestion, structure et liaison des services).
- 6-L'analyse juridique et fiscale.
- 7-Conclusion : propositions, commentaires et plan d'action.

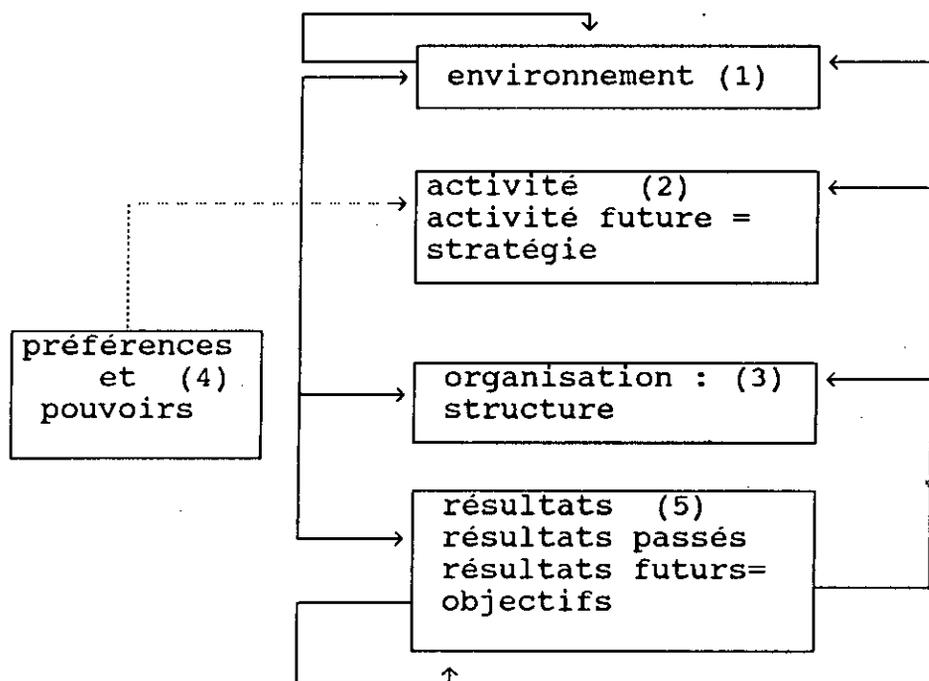
d) Le scoring statique :

Appelé aussi méthode des ratios. C'est un outil qui sert à isoler le plus efficacement possible les entreprises potentiellement défaillantes de celles qui ne le sont pas. Deux procédés peuvent être utilisés, l'analyse discriminante et l'algorithme de partition récursive (cfAnnexe-B). [FRED89]

e) Le modèle OPERA :

C'est une analyse système. Elle retient cinq variables: l'Organisation, le Pouvoir, l'Environnement, les Résultats et l'Activité. Il permet de :

- Décrire et expliquer l'évolution des entreprises, de les comparer,
- Faire des choix de stratégie, d'organisation, de répartition du pouvoir, etc ...
- Préciser certaines discussions théoriques de différence entre buts, objectifs et finalités de l'entreprise, différence entre stratégie, principes et politiques, rôle relatif de la stratégie et de la structure dans la croissance de l'entreprise. [CAPE86]



SCHEMA DU MODELE OPERA [MATH87]

(1) L'environnement :

Il est étudié par rapport à ce qui peut avoir de l'influence sur l'évolution de l'entreprise (produits vendus, les clients, les concurrents, les fournisseurs, relations sociales, etc...).

(2) L'activité:

Elle englobe tous les éléments concernant les produits, biens ou services, que l'entreprise fournit à l'environnement et la manière dont elle les obtient.

(3) L'organisation:

Elle concerne les moyens de son activité, la spécialisation des hommes, les machines et les capitaux dans les différentes fonctions.

(4) Les préférences et pouvoirs :

C'est tout ce qui se rapporte aux décisions et à la capacité des dirigeants.

(5) Les résultats :

Ce sont les traces laissées par l'entreprise dans l'environnement, l'activité, l'organisation, les préférences et pouvoirs.

# LES SYSTEMES EXPERTS

## 2. LES SYSTEMES EXPERTS

### 2.1. INTRODUCTION

Chacune des approches de diagnostic fait aujourd'hui largement appel à l'outil informatique. C'est ainsi que l'entreprise dispose désormais de logiciels de comptabilité, de gestion de bases de données, de tableurs, etc...

Cependant, l'intensification de la compétitivité s'accompagnant d'une amélioration du progrès technique conduit l'entreprise à faire face à de nouvelles exigences, aux quelles l'informatique traditionnelle ne pouvait hélas pas répondre, comme la représentation de l'intuition, l'évident et le flou de la vie quotidienne des entreprises. [GOUB89]

L'Intelligence Artificielle répond, au moins en partie à ce besoin. Cette discipline recouvre l'ensemble des techniques ayant trait à la reproduction des comportements associés à la notion d'intelligence. En effet, elle vise à reproduire l'intelligence humaine, en construisant des programmes d'ordinateur qui l'imitent [GOUB89], [BONN84]. C'est la branche informatique de la connaissance.

De toutes les applications actuelles de l'Intelligence Artificielle (la compréhension des langages naturels, les processus de reconnaissance des formes, la robotique, la CAO, PAO, etc...), les systemes experts sont sans doute les plus spectaculaires. Aujourd'hui, de tels systèmes existent dans des domaines très variés tels que les mathématiques, la médecine, la chimie, la géologie, et notamment dans les domaines industriels et de gestion (figure 2.1.). Ils permettent de résoudre un certain nombre de problèmes, de type diagnostic, planification, conception, optimisation, etc... [TALI88], [LEP90].

43% INDUSTRIE  
 33% GESTION  
 10% MEDECINE  
 6% INFORMATIQUE  
 5% MILITAIRE  
 2% AGRICULTURE

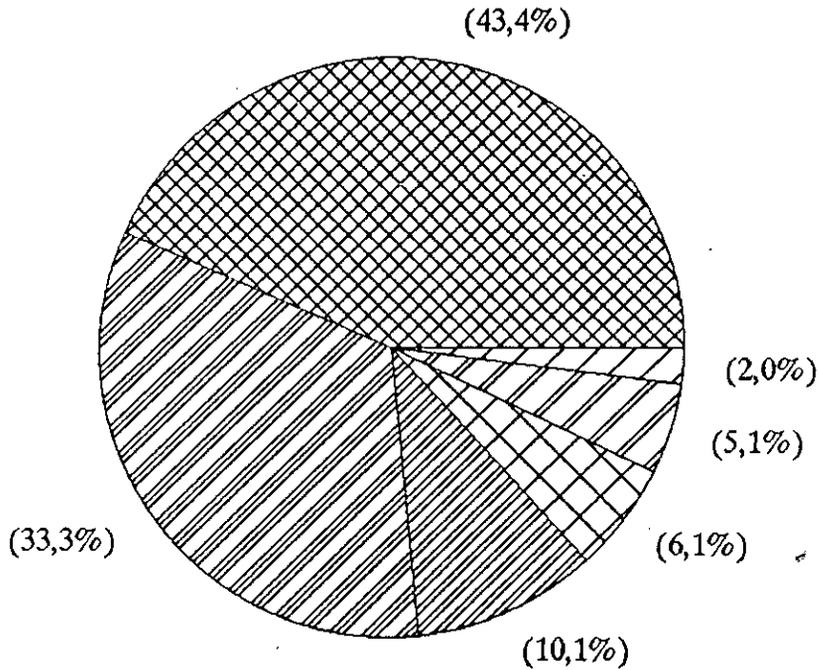


Figure 2.1. SCHEMA DES PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATION  
 DES SYSTEMES EXPERTS [LEP 90]

Les systèmes experts ne sont pas tout à fait des systèmes informatiques comme les autres, ils font en effet partie des outils d'aide la dcision et participent à la réalisation de certaines activités intellectuelles humaines [FABB89].

Ils ont été introduits dans l'entreprise pour aider à améliorer les performances des outils de décision classiques tels que les systèmes d'aide à la décision et les systèmes interactifs d'aide à la decision.

Les systèmes d'aide à la décision (SAD) consistent à élaborer un modèle basé sur un nombre limité de variables, pour aboutir, en suivant une démarche algorithmique, à une décision d'action. Ce type de système ne prend pas en compte les données qualitatives et intuitives du décideur. [BENC86]

Les systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD) sont plus utilisés que les systèmes précédents. Leur but est d'aider au traitement de l'information et à la prise de décision. On en distingue deux types : Ceux qui incorporent des statistiques et la recherche opérationnelle en utilisant les algorithmes d'optimisation et les calculs numériques; ceux qui s'intéressent uniquement à la gestion de l'information tels que : bases de données, gestion des fichiers et flux d'information dans l'entreprise. [BENC86]

Les systèmes experts se sont généralisés ainsi dans le monde de la gestion pour traiter les données qualitatives, approximatives et incertaines.

L'Intelligence Artificielle a apporté sa contribution, également au niveau des interfaces et surtout du dialogue dans les systèmes experts (les échanges Homme/Machine), ce qui leur a donné un aspect pédagogique et pratique fort intéressant [BENC86].

Un autre aspect de l'Intelligence Artificielle a été pleinement exploité: celui de la résolution de problèmes. Dans ce domaine, comme dans celui des systèmes experts, la notion d'heuristique<sup>(1)</sup> peut rendre d'énormes services. En effet, les heuristiques ont largement empiété sur la recherche opérationnelle, pour apporter des solutions algorithmiques "satisfaisantes", là où les algorithmes classiques sont trop longs, ou simplement inexistants [BENC86].

(1) \_\_\_\_\_

Consiste à essayer un chemin non prédéfini connaissant un point de départ et un objectif à atteindre, en gardant la possibilité d'en essayer d'autres si celui qui paraissait prometteur n'a pas conduit rapidement à une solution. [BONN84]

Les systèmes experts ont contribué au processus d'intellectualisation des firmes. En d'autres termes, après une phase où l'entreprise a démultiplié ses capacités "musculaires" de fabrication et de diffusion de ses produits, elle passe à une nouvelle phase qui caractérise la multiplication de ses capacités "intellectuelles".

Ainsi, le travail manuel devrait continuer à s'effacer au profit de l'effort cérébral sous toutes ses formes. [QUIB87], [BOIS90]

[Enfin, pouvons-nous dire :

"Si le charbon et le pétrole, apportant l'énergie physique de façon abondante et à bon marché, ont favorisé une révolution industrielle dont nous mesurons et subissons les effets, nous imaginons que les microprocesseurs, les robots, les systèmes experts, offrant d'une façon abondante et à bon marché de l'énergie intellectuelle, causeront une révolution." [QUIB87]

## 2.2. DEFINITION DES SYSTEMES EXPERTS

Un système expert est un programme qui dispose d'une grande masse de connaissances dans un domaine spécialisé; celles-ci proviennent généralement d'un expert humain.

Les experts humains sont des personnes capables de résoudre des problèmes, leur expertise étant basée essentiellement sur :

- leurs connaissances du domaine, accumulées durant des années de pratique,
- leur capacité à raisonner sur ces connaissances pour trouver la solution d'un problème.

Le but des systèmes experts est de simuler les deux possibilités (savoir et savoir-faire) pour reproduire à l'aide de machines les activités des experts humains.

Leur efficacité vient du fait qu'ils raisonnent de manière informelle sur une masse énorme de connaissances, accumulées par des spécialistes dans le domaine considéré.

[GOND84], [BHTN86], [FEIG84]

### 2.3. LES SYSTEMES EXPERTS OUTILS D'AIDE A LA PRISE DE DECISIONS :

L'univers économique vit une situation mouvante caractérisée par l'évolution des marchés, l'intensité de la concurrence internationale et la rapidité du progrès technique. Les entreprises sont en perpétuel mouvement.

Tous les jours se créent de nouvelles entreprises tandis que d'autres disparaissent. En effet, l'espérance de vie des entreprises nouvelles est relativement faible (d'après les statistiques de l'assemblée permanente des chambres de commerce et d'industrie de France, 70% des entreprises disparaissent cinq ans après leur naissance) [YVRA89].

Beaucoup d'entreprises de différents secteurs économiques ont été contraintes de disparaître à cause des difficultés qu'elles ont eues. L'expérience montre que le processus de dégradation des entreprises est néfaste [PAIL85]; dès lors que des difficultés se font ressentir, clients et fournisseurs désertent l'entreprise qui voit ses meilleurs cadres partir au profit de ses concurrents. Ainsi, elle se trouve en danger et doit se protéger, faute de quoi elle se verra périr et disparaître. La nécessité du recours à un diagnostic se fait alors fortement ressentir.

Comme le facteur temps consacré au diagnostic est primordial (il y va de la vie de l'entreprise) et que les meilleurs spécialistes ne sont pas facilement (rapidement) acquis, soit en raison des exigences de ces experts, soit du chantage et du forcing des sociétés de leurs pays d'origine (spectre de la concurrence), le recours aux systèmes experts est une solution prometteuse.

En effet, comme son nom l'indique, un système expert fait appel à de grandes quantités de connaissances, et permet d'intégrer le savoir-faire et les compétences des experts. L'expert étant celui qui maîtrise parfaitement un domaine, c'est une personne dont la disparition causerait une perte pour l'entreprise. [BHTN86], [FEIG84]

Cependant, par la construction des systèmes experts, les chercheurs ont voulu mettre à l'abri ce savoir-faire important acquis aux prix d'une longue expérience et de plusieurs années d'études. [BOIS90], [QUIB87]

Parmi les principales raisons suscitant la construction et l'emploi des systèmes experts on cite:

#### A) RENFORCER LA MEMOIRE DE L'ENTREPRISE

La perte des ressources humaines est un problème réel dans les entreprises. En effet, nombreuses sont celles qui ont des experts qui approchent la soixantaine et qui s'apprêtent à prendre leur retraite. Au cours des années se constitue un énorme réservoir de savoir et d'expertise. Malheureusement, les gens meurent, partent ou oublient [BHTN86], [BOIS90]. Cependant, la conception de bases de connaissances qui stockent l'expérience collective de l'entreprise, et d'un système expert permettrait de résoudre ce problème crucial. [QUIB87], [YVRA89]

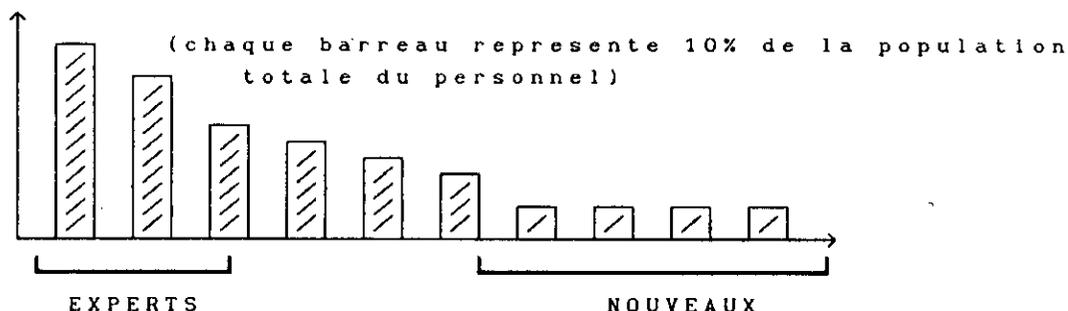
#### B) FORMER DES SPECIALISTES

Un avantage clé du système expert est sa capacité à ne pas seulement répondre aux questions et donner des avis, mais aussi à expliquer le pourquoi des conclusions tirées.

En effet, cette capacité lui permet d'être un outil pédagogique pour la formation des spécialistes et des nouveaux employés. Ainsi, ces derniers contribuent à l'augmentation de la performance de leur organisme. [QUIB87]

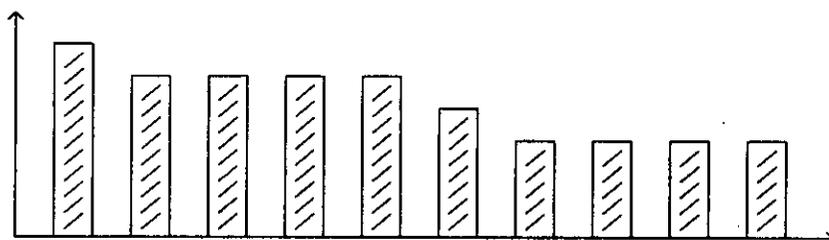
L'exemple suivant illustre bien les raisons A et B. Il montre la performance d'ensemble d'une organisation type pour une tâche de connaissance. [ALLE89] (Figure 2.3.a)  
(Figure 2.3.b)

niveau de performance



(1) - PERFORMANCE D'UNE ORGANISATION SANS SYSTEME EXPERT [ALLE89] -  
Figure 2.3.a

niveau de performance



(2) - PERFORMANCES AVEC UN SYSTEME EXPERT [ALLE89]  
Figure 2.3.b

On remarque que chacun dans l'organisme, y compris les nouveaux employés, peut utiliser le système expert et le niveau de performance de chacun (par conséquent celui de l'organisme) est ainsi renforcé.

### C) AUGMENTATION DE LA PRODUCTIVITE

Le bénéfice le plus direct d'un système expert est un gain de productivité. Ce gain ne peut être réalisé que lorsque le système a une bonne base de connaissances. Cependant, quand un système expert permet de mobiliser sans oubli, une grande quantité de connaissances qu'il met à la disposition de tout le personnel, il permet un gain de productivité extraordinaire. [YVRA89]

#### D) CAPTER, COPIER ET DISTRIBUER LA COMPETENCE DE L'EXPERT

Plus la connaissance est difficile à acquérir et moins il existe d'individus capables de la transmettre.

Les systèmes experts sont prêts à la duplication. Des copies peuvent être rapidement faites à partir des supports de mémorisation et distribuées pour l'utilisation en plusieurs endroits [ALLE89]. En effet, en captant la connaissance de l'expert puis en la diffusant, les systèmes experts permettent à de nombreuses personnes d'en profiter rapidement grâce aux facilités dont ils disposent. Ainsi, la compétence peut être ramenée en un lieu où elle n'existe pas (ex: des pays développés aux pays en voie de développement).

#### E) FUSIONNER LA CONNAISSANCE DE PLUSIEURS EXPERTS

Dans certains domaines tels que le domaine juridique, l'évaluation et le diagnostic, il n'existe pas de spécialistes dont la compétence couvre l'ensemble du domaine. Pourtant, la réponse aux questions des clients demande parfois des connaissances dans des domaines très variés. Par exemple, un expert comptable n'étant pas familier avec les lois concernant la cession de sociétés, aurait tendance à conseiller la liquidation ou la cession, au lieu de conseiller la fusion permettant de payer moins d'impôts. [YVRA89]

## 2.4. EXEMPLES DE SYSTEMES EXPERTS DE GESTION

### A) FINANCE ET ECONOMIE

#### 1/SYSTEME EXPERT DE CONSEIL EN MATIERE DE FINANCEMENT

##### "SERAPHIN"

Son objectif est d'améliorer l'efficacité du conseil en matière d'interventions financières sur fonds publics au profit des PME -PMI. Son rôle est de comprendre une partie du problème de l'entreprise pour définir des aides au financement. Sa base de connaissances comprend 146 règles. Ces règles (les connaissances) ont été extraites de textes officiels avec l'aide d'un expert. Ce système a été développé autour d'un environnement de générateur de systèmes experts nommé X-Sys.

#### 2/SYSTEME EXPERT POUR LE DIAGNOSTIC FINANCIER "AIDE"

Ce système est conçu par la banque de France. AIDE a pour objectif de prendre en compte tous les aspects économiques et financiers de l'entreprise, d'accroître les liens avec cette dernière par le biais d'un dialogue étroit et d'accroître la compétence de l'utilisateur en le faisant bénéficier du savoir des experts mémorisé dans la base de connaissances. Cette dernière est constituée de 600 règles qui visent à dégager les principales caractéristiques économiques et financières plutôt qu'à aboutir à une conclusion unique et finale.

#### 3/SYSTEME D'AUTORISATION DE CREDIT "SEAC"

Ce système est conçu par SUZANNE PINSON (université PARIS II). Il est destiné à assister un analyste financier dans l'évaluation du risque afférent à l'attribution des prêts aux PME. La base de connaissances de ce système, à l'état de prototype, comprend 150 règles et opère en trois secondes. Les prochaines étapes de son développement seront l'extension de sa base de connaissances et sa validation avec l'aide de plusieurs experts. L'outil de développement de ce système est SNARK.

## B) GESTION

### 1/SYSTEME DE GESTION DU PERSONNEL "X"

X est un système expert de gestion de recrutement du personnel cadre. Actuellement, en fin de prototypage, le système X compte une centaine de règles.

### 2/SYSTEME DE PLANIFICATION ET DE DECISION STRATEGIQUE

#### "DECIDEX"

Conçu par Pierre LEVINE, J.C MAILLARD et J.C POMEROL, DECIDEX a pour but d'aider à la planification et à la décision stratégique.

### 3/SYSTEME D'AIDE AU CHOIX D'UNE COMPTABILITE ANALYTIQUE

Ce système est destiné à aider les entreprises à choisir le système de comptabilité le mieux adapté à leurs besoins. Il est actuellement en cours de réalisation par la société GSI et l'Université de STRASBOURG.

## C) AUDIT FINANCIER

### 1/SYSTEME "AUDITOR"

Il permet l'analyse du jugement d'audit à travers un système expert sur le thème de la provision pour créances douteuses.

Cette liste n'est pas exhaustive, il existe plusieurs autres systèmes que l'on n'a pas cités. En effet, d'une part leur nombre est important, d'autre part des nouveaux produits apparaissent chaque jour.

## 2.5. ARCHITECTURE ET PRINCIPES DES SYSTEMES EXPERTS

### 2.5.1. SYSTEMES EXPERTS ET PROGRAMMES CLASSIQUES

Il est intéressant de montrer la différence entre les programmes classiques et les systèmes experts.

Dans un programme classique, les connaissances sont mélangés aux programmes qui les utilisent. On dit alors qu'elles sont sous forme procédurale. Dans de tels programmes, le raisonnement n'est pas directement accessible.

Cependant, dans les systèmes experts, les connaissances et les programmes sont spars. On parle alors de représentation déclarative, qui permet d'aborder progressivement un problème par une représentation modulaire.

Avec la faculté d'incorporer, dans ces systèmes, des procédures d'explication de leur raisonnement, l'ordinateur cessera d'être une boite noire comme c'est trop souvent le cas dans la programmation classique. (Tableau 2.5.1.)

[LEP 90], [LAUR86]

	Connaissances	Raisonnement
Programmes Classiques (PC)	CODEES (instructions)	BOITE NOIRE
Systèmes Experts (SE)	DONNEES (unités de savoir indépendantes)	ACCESSIBLE, EXPLICITE, BOITE EN VERRE

Tableau 2.5.1. TABLEAU COMPARATIF [LAUR86]

## 2.5.2. ARCHITECTURE DES SYSTEMES EXPERTS

Un système expert comprend d'une manière générale:

### a) une base de faits:

C'est la mémoire de travail du système expert. Elle comprend des faits permanents du domaine (équivalent à ce que l'on trouve dans une base de données) et des faits propres au problème à résoudre, que l'on appelle données.

EXEMPLE DE FAITS PERMANENTS :

- L'excédent de trésorerie d'exploitation est un indicateur de solvabilité.
- Une usine dans laquelle tous les ouvriers sont occupés en permanence est très inefficace.

EXEMPLE DE FAITS PROPRES A UNE SITUATION PARTICULIERE :

- L'entreprise est jeune.
- L'usine est sale.
- Les stocks sont élevés.

### b) une base de connaissances:

Elle contient l'expertise collectée dans le domaine traité. Elle permet, à partir des faits connus, de tirer des conclusions qui s'ajoutent à la base des faits. Elle est représentée dans un formalisme adéquat, généralement sous forme de règles de production.

Une règle de production est de la forme :

SI CONDITION ALORS ACTION

### c) un moteur d'inferences:<sup>(1)</sup>

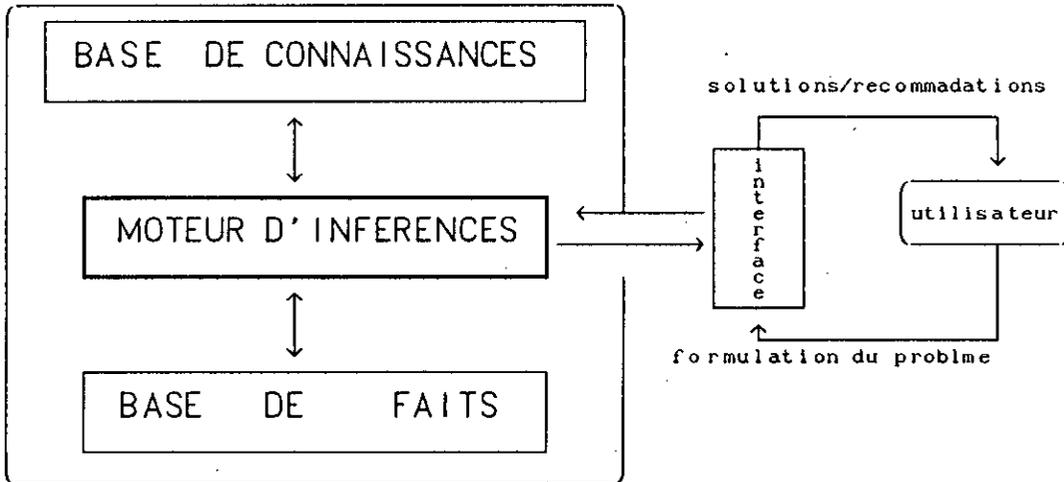
C'est le programme qui est chargé d'exploiter la base de connaissances de façon à mener un raisonnement sur le problème proposé à résoudre, en fonction de la base de faits.

(1) \_\_\_\_\_

Opération intellectuelle par laquelle on passe d'une vérité à une autre vérité. La déduction est une inférence.

Il est le coeur du système, en effet il transforme l'ordinateur en une machine plus ou moins experte pour résoudre des problèmes [BHTN86], [TALI88], [FARR85].

L'architecture d'un système expert peut être représentée par le schéma ci-dessous : (Figure 2.5.2.)



SCHEMA D'UN SYSTEME EXPERT  
Figure 2.5.2.

### 2.5.3. CYCLE DE BASE DE FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR D'INFERENCE

Le moteur d'inférences, appelé aussi interpréteur, est le coeur du système expert. Il réalise un ensemble d'étapes élémentaires, constituant le cycle de base, de manière répétitive. Ainsi, la résolution d'un problème nécessite l'enchaînement de plusieurs milliers de cycles de bases. [CHAT88]

Le cycle de base d'un moteur d'inférences fonctionne en deux phases: DECIDER et AGIR. La première phase peut être subdivisée en deux étapes RESTRICTION -FILTRAGE et RESOLUTION DE CONFLIT. (Figure 2.5.3.)

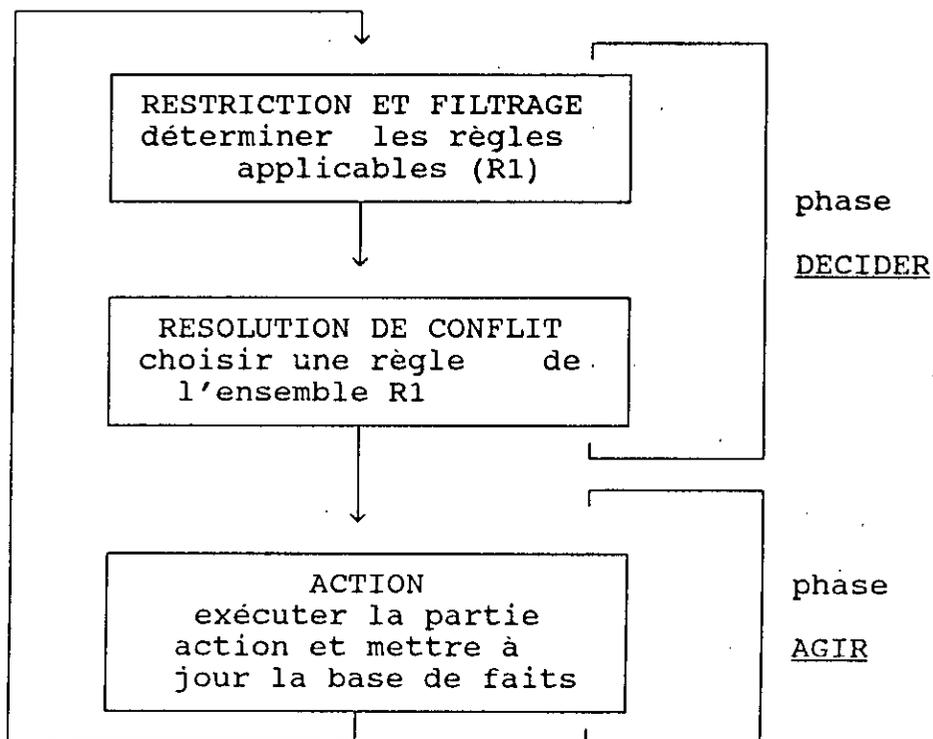


Figure 2.5.3. CYCLE ELEMENTAIRE DE FONCTIONNEMENT  
D'UN MOTEUR D'INFERENCE [FARR85]

#### \* PHASE DECIDER

Le moteur détermine s'il existe, dans la base de connaissances, des règles à déclencher au vu de l'état de la base de faits. Cette phase comprend deux étapes :

##### 1) RESTRICTION:

Elle consiste à choisir le sous-ensemble de faits F1 qui doivent, à priori, être comparés au contenu de la base des faits lors de l'étape de FILTRAGE. Un ensemble R1 est formé.

##### 2) FILTRAGE:

Le moteur d'inférences compare les faits de chacune des règles R1, par rapport à l'ensemble F1 des faits.

Ainsi le moteur sélectionne parmi les règles R1, celles dont les examens appliqués à l'ensemble F1 ont été réussis: les règles retenues forment un ensemble R2.

### 3½) RESOLUTION DE CONFLIT :

Le moteur détermine les règles qui vont être déclenchées (soit R3) parmi celles composant R2. Le choix des règles peut se faire suivant différentes stratégies de résolution de conflit:

- Sélectionner les premières règles avant les suivantes,
- Sélectionner les règles qui ont le moins servi,
- Sélectionner les règles les moins complexes.

### \* PHASE AGIR

Elle accomplit (exécute) les actions des règles R3 retenues dans l'étape précédente. C'est la dernière étape du cycle.

En pratique, ce cycle de travail est aménagé selon des stratégies variées. [FARR85]

La condition d'arrêt de ce cycle dépend du mode de raisonnement.

## 2.5.4. STRATEGIES DE RAISONNEMENT DANS UN SYSTEME EXPERT

### A) LE CHAINAGE ARRIERE (RAISONNEMENT GUIDE PAR LE BUT)

Supposons que l'on cherche une réponse à une question, et que le nombre de réponses possibles soit fini. On considère la première d'entre elles : c'est le but.

On cherche alors toutes les règles qui ont le but dans leurs conclusions. S'il n'y en a pas, on passe au but suivant, sinon chacune de ces règles est considérée; si sa partie condition est satisfaite dans la base des faits, le but est atteint, sinon on enregistre les faits inconnus de la condition comme étant de nouveaux buts et on recommence le cycle. [LAUR86], [BHTN86]

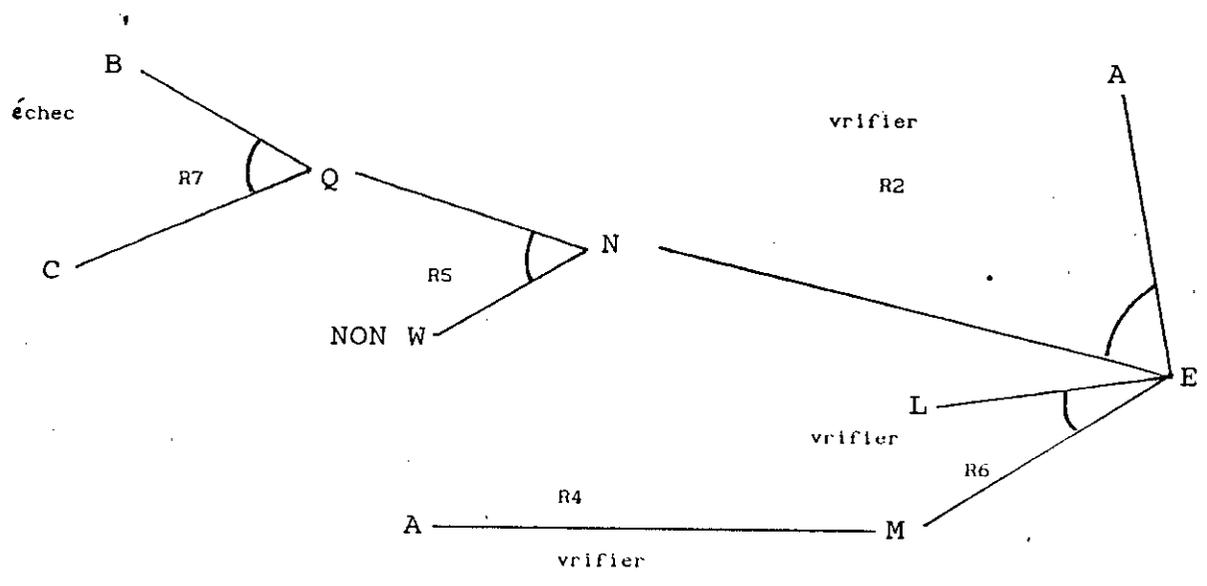
Ce processus est répété jusqu'à ce que tous les sous-buts soient démontrés -le but est alors atteint- ou jusqu'à ce que le filtrage échoue -pas de règles concluant sur le but courant-. Dans ce cas, le système peut demander à l'utilisateur la valeur du but courant afin de continuer le raisonnement. L'échec intervient alors quand le moteur ne peut plus sélectionner de règles et quand l'utilisateur ne connaît pas les réponses aux questions posées par le système. [CHAT88]

EXEMPLE DE CHAINAGE ARRIERE

soit la base de règles suivante

- |                     |         |
|---------------------|---------|
| R1: SI Z ET L       | ALORS S |
| R2: SI A ET N       | ALORS E |
| R3: SI D OU M       | ALORS Z |
| R4: SI A            | ALORS M |
| R5: SI Q ET (NON W) | ALORS N |
| R6: SI L ET M       | ALORSE  |
| R7: SI B ET C       | ALORS Q |

faits connus = (A,L) / but à prouver E



EXPLICATION :

E -----> le but, il peut être prouvé par R2 ou R6

On essaye la première règle R2:

A et N -----> à prouver, A est connu,

N est le nouveau sous-but il; peut être prouvé par R5.

On applique R5 pour prouver N,

Q et (NON W) -----> à prouver

Q nouveau sous-but, il n'est prouvé que si B et C le sont.

Or B n'est pas prouvable  $\implies$  ECHEC

(il n'y a aucune règle qui conclue sur B)

Cet échec se répercute sur Q et N, d'où R2 ne peut être tirée.

On essaye alors la règle suivante R6:

L et M -----> à prouver, L connu (donné dans la base des faits initiale), donc M nouveau sous-but, il peut être prouvé par R4.

On applique R4 pour prouver M,

A -----> à prouver, or A est connu (par hypothèse)

Donc SUCCESS.

Conclusion E est Prouvé par la Règle R6.

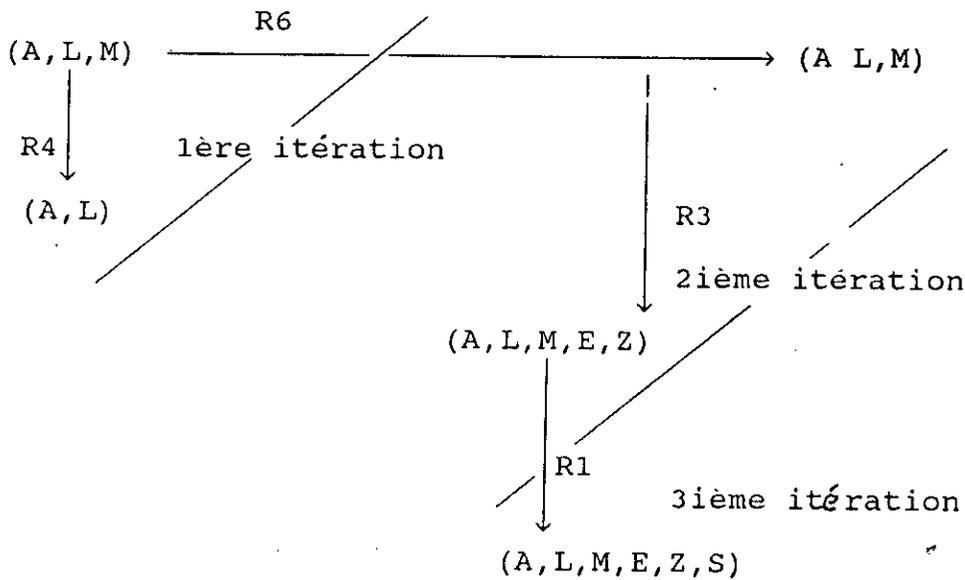
B) LE CHAINAGE AVANT (RAISONNEMENT GUIDE PAR LES FAITS DISPONIBLES)

Contrairement à ce qui se passe dans le chaînage arrière, à partir des faits connus on déclenche toutes les règles dont la partie action est satisfaite, et on rajoute la partie conclusion à la base des faits.

Ainsi, le processus est réitéré jusqu'à saturation du système, c'est à dire que le passage sur toutes les règles n'a donné lieu à aucun fait nouveau, ou obtention du but (s'il existe). [LAUR86], [BHTN86]

EXEMPLE DE CHAINAGE AVANT

(on travaille sur la même BASE que l'exemple précédent)



EXPLICATIONS :

Le moteur examine l'ensemble des règles dont la partie gauche est vérifiée et apporte une nouvelle information :

1ère itération -----> on déclenche R4 et R6

2ème itération -----> on déclenche R3

(ce qui ne pouvait avoir lieu à la 1ère itération car M n'était pas encore connu.)

3ème itération -----> on déclenche R1

(ce qui ne pouvait s'effectuer avant car Z n'était pas connu)

4ème itération -----> plus de règle à appliquer.

### C) LE CHAINAGE MIXTE, CHAINAGE BIDIRECTIONNEL

Certains systèmes fonctionnent en chainage mixte: des éléments de la base des faits sont considérés comme étant des buts, et d'autres comme étant donnés (établis).

D'autres invoquent, pour un problème donné, tantôt le chaînage avant, tantôt le chaînage arrière. On parle alors de chaînage bidirectionnel. [FARR85], [BHTN86], [GHAL89]

### 2.5.5. LA CONSTRUCTION DU RAISONNEMENT

Un système expert à base de règles de production peut toujours se mettre sous forme d'arborescence, où chaque noeud de l'arborescence représente une base de faits. Différentes stratégies de contrôle dans les recherches arborescente existent.

#### 2.5.5.1. STRATEGIE DE CONTROLE EN LARGEUR D'ABORD :

Dans une recherche en largeur, toutes les règles de l'ensemble de conflits sont appliquées avant de recommencer le filtrage. Le moteur gère plusieurs états en même temps Figure 2.5.5.1. [CHAT88].

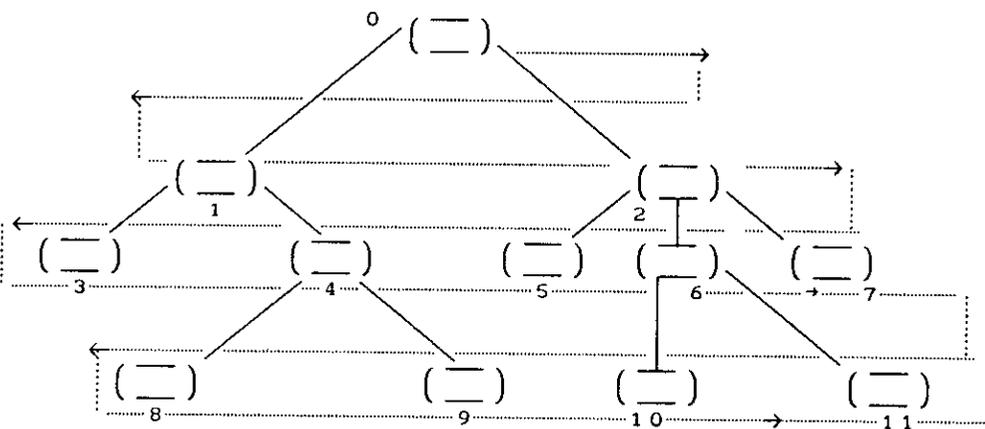


Figure 2.5.5.1.

EXPLOITATION D'ARBRE EN LARGEUR D'ABORD

### 2.5.5.2. STRATEGIE DE CONTROLE EN PROFONDEUR D'ABORD :

Dès qu'une règle est sélectionnée par le moteur, elle est déclenchée et le nouvel état produit devient immédiatement le nouvel état courant, à partir duquel on cherche la prochaine règle à déclencher Figure 2.5.5.2. [CHAT88]

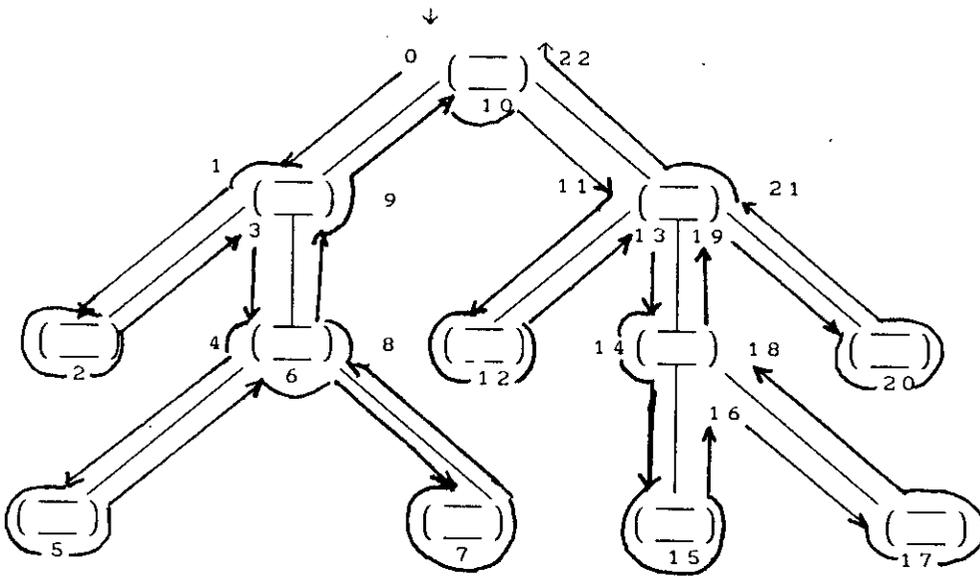


Figure 2.5.5.2.

EXPLOITATION D'ARBRE EN PROFONDEUR D'ABORD

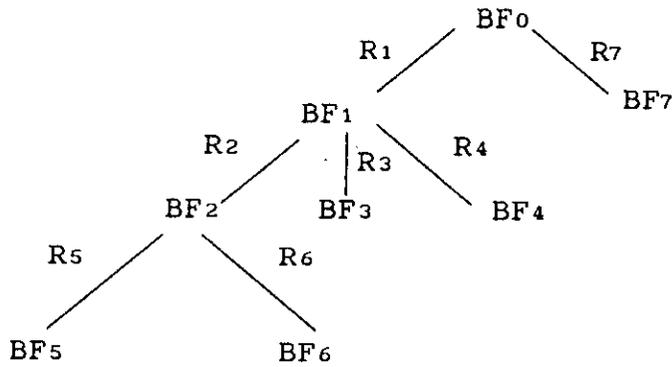
### 2.5.5.3. STRATEGIE DE CONTROLE IRREVOCABLE OU PAR TENTATIVE (RETOUR-ARRIERE)

Un moteur d'inférences fonctionne par tentative, lorsqu'il y a remplacement de déclenchements de règles par d'autres.

On parle de régime irrévocable lorsque toutes les modifications apportées par les règles restent valides même si le raisonnement aboutit à un échec. [FARR85]

#### EXEMPLE:

Soit l'arborescence suivante schématisant un système de production, les BFi sont des bases des faits et les Ri des règles.



Supposons que nous cherchons à établir un fait qui se trouve dans BF4 mais pas dans les autres bases.

Partant de BF0 le moteur applique  $\longrightarrow$  R1

Puis en BF1 le moteur applique  $\longrightarrow$  R2

En BF2 le moteur applique  $\longrightarrow$  R5

En BF5 il n'y a plus de règle à appliquer. Le moteur effectue alors un retour arrière à l'état précédent et il applique R6.

En BF6  $\longrightarrow$  Le moteur se trouve dans une impasse, donc il effectue un retour arrière sur BF2.

En BF2 il ne reste plus de règles à appliquer, le moteur effectue alors un retour arrière sur BF1 et essaye R3 puis R4.

#### 2.5.5.4. LE RAISONNEMENT MONOTONE

Un système expert fonctionne de façon monotone si l'on est dans l'un des deux cas:

1) Aucune connaissance, fait établi ou règle, ne peut être retirée de la base,

2) Aucune connaissance ajoutée à la base n'introduit de contradiction. [FARR85]

Tous les systèmes experts de diagnostic construits jusqu'à présent sont souvent de type monotones parcequ'on n'envisage pas que l'état du sujet du diagnostic puisse évoluer en cours du diagnostic.

## 2.6. OUTILS DE DEVELOPPEMENT DE SYSTEMES EXPERTS

Des langages comme LISP (et ses principaux dialectes: CommonLisp, Le-lisp, G-C-lisp) et PROLOG ou SMALLTALK sont considérés comme des outils capables de simplifier la tâche d'un concepteur de système expert. [BENC86]

Bien que d'autres langages tels que C, C++ et ADA se prêtent particulièrement bien à l'évolution actuelle de l'intelligence artificielle (programmation parallèle, programmation orientée objet), LISP et PROLOG restent des langages dédiés à l'intelligence artificielle. Aussi, certaines recherches visent à les paralléliser, pour minimiser leur temps d'exécution. [LEP90]

Par ailleurs, des outils de développement de systèmes experts sont commercialisés. Ce sont des ensembles complets de logiciels prêts à recevoir des connaissances, afin de générer des systèmes experts. Ce sont des systèmes vides (coquille) qu'il faut remplir. [BENC86], [LEP90]

Ci-dessous, nous citons quelques uns de ces générateurs de systèmes experts:

### GURU

Leader mondial (sur micro), le générateur de systèmes experts GURU a été conçu par la société MICRO DATA BASE SYSTEM (MDBS 1980) [LEP 90]. Plusieurs constructeurs se sont inspirés de sa présentation et de ses principaux concepts mis en oeuvre. Il est écrit en langage C (il en est à sa version 2). C'est un logiciel intégré qui, en plus de son pseudo-compileur et de son éditeur comprend un système de base de données (SGBD), un tableur, un grapheur et un traitement de texte [HOLS80], [FRED89]. (CF 4.4.)

### OPS

Conçu par Charles FORGY (1976). Il manipule des variables quantifiées, et son moteur d'inférences procède par chaînage avant. Comme GURU, il dispose d'un compilateur de base de connaissances. Certaines de ses applications, comportant plusieurs milliers de règles chacune, sont commercialisées, telles que : R1/XCON et XSEL destinées à la configuration et à la vente de matériel informatique, PTRANS pour la gestion d'un atelier [GHAL89], [BHTN86].

### CRT

Conçu à l'université Carnegie Mellon de Pittsburgh (1979). Il est doté d'un moteur qui fonctionne en chaînage arrière ou avant. Il dispose d'un grapheur et d'un éditeur pour l'écriture de la base de connaissances. Parmi ses applications, on cite ISIS dans la gestion de la production et ROME pour la planification financière. CRT est écrit en Lisp [BENC86].

### ARGUMENT

C'est un générateur spécialement conçu pour micro-ordinateur. Réalisé par une équipe dirigée par LEVINE (1984), il dispose d'un éditeur pour introduire la base de connaissances et d'un tableur. Il est utilisé dans le domaine de la stratégie et de l'analyse financière. Le moteur ARGUMENT est écrit en C [BENC86].

D'autres outils existent, certains dédiés aux gros systèmes d'autres aux micro-ordinateurs. Nous ne pouvons hélas pas les citer tous, néanmoins nous avons essayé d'en regrouper certains dans un tableau récapitulatif (cf ANNEXE-C).

**LA REPRESENTATION DES  
CONNAISSANCES**

### 3. LA REPESENTATION DES CONNAISSANCES DANS UN SYSTEME EXPERT

#### 3.1. INTRODUCTION

Le problème central lors de la réalisation d'un système expert (de même que dans d'autres recherches telles la représentation du langage naturel, la robotique ou les bases de données intelligentes) est la représentation des connaissances.

En effet, pour résoudre un problème donné, l'Homme ne fait pas seulement appel à sa capacité de raisonnement, mais aussi à une importante masse de connaissances. Pour pouvoir réaliser des programmes effectuant des tches intelligentes, telles que les systèmes experts, il est fondamental et nécessaire qu'il dispose d'une quantité importante de connaissances relevant du domaine traité. [GALL85]

Le problème qui se pose est de trouver des structures qui permettent non seulement le stockage des informations, mais offrent aussi le mécanisme d'utilisation de celles-ci par la machine elle-même. [BHTN86]

Par ailleurs, différents formalismes de représentation des connaissances existent. Avant de les passer en revue, il est intéressant de bien comprendre la signification des termes connaissance et information.

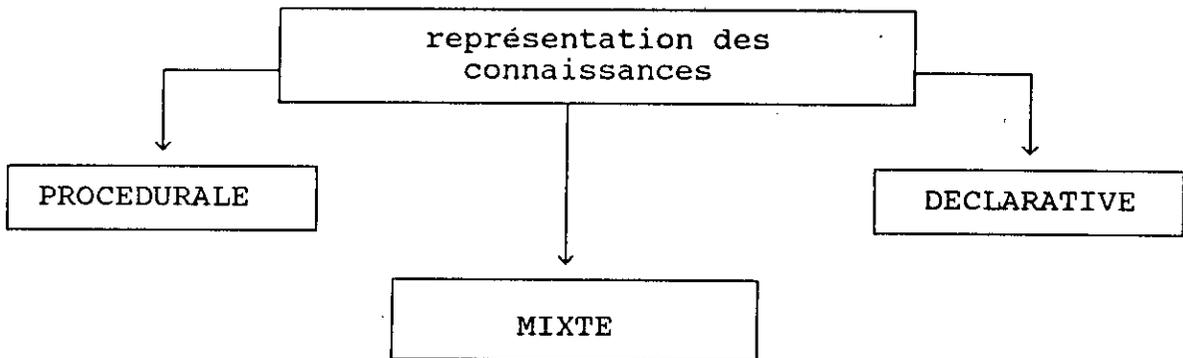
En effet, un fichier, un livre, ou un article contiennent des informations. Il est impossible de dire qu'ils connaissent les informations qu'ils renferment. Connatre est une opération active qui suppose effectivement des capacités de mémorisation et aussi l'existence de mécanismes de raisonnement. [KAYS84]

C'est une opération propre à l'Homme. Elle constitue une partie de son intelligence. Le fait de bien représenter cette faculté nous mène à parler de systèmes intelligents. C'est dans ce sens que les travaux en intelligence artificielle (J.PITRAT et J.L.CROSS) se sont orientés, vers l'amélioration de l'efficacité des systèmes intelligents afin de les rapprocher le plus possible de l'intelligence humaine. [GALL85], [KAYS84]

### 3.2. LES DIFFERENTS TYPES DE REPRESENTATION DE CONNAISSANCES

La représentation des connaissances est un formalisme servant de support aux phénomènes étudiés, et le choix du mode de représentation adopté influence souvent le pouvoir d'inférence mis en oeuvre. [GALL85]

Ce choix se présente comme une alternative entre représentation procédurale et représentation dclarative ou bien mixte. (Figure 3.2.)



LES ALTERNATIVES DE REPRESENTATION DES CONNAISSANCES  
Figure 3.2.

#### 3.2.1 LA REPRESENTATION PROCEDURALE

Une représentation procédurale est une représentation qui explicite les relations entre les éléments de connaissances utilisés (elle indique comment ils sont utilisés). C'est une représentation algorithmique des connaissances. [PINS81], [BONN84]

Dans une telle représentation, les connaissances et leur traitement sont confondus. C'est une représentation qui propose des algorithmes de résolution. Elle utilise des variables et des tableaux pour modéliser la connaissance. [FREC88], [BEDO85]

La représentation procédurale permet au sujet de produire des réponses sans pouvoir directement expliquer les éléments de cette réponse.

L'approche procédurale regroupe deux types de représentations : les automates finis et les programmes.

### 3.2.1.1. LES AUTOMATES FINIS

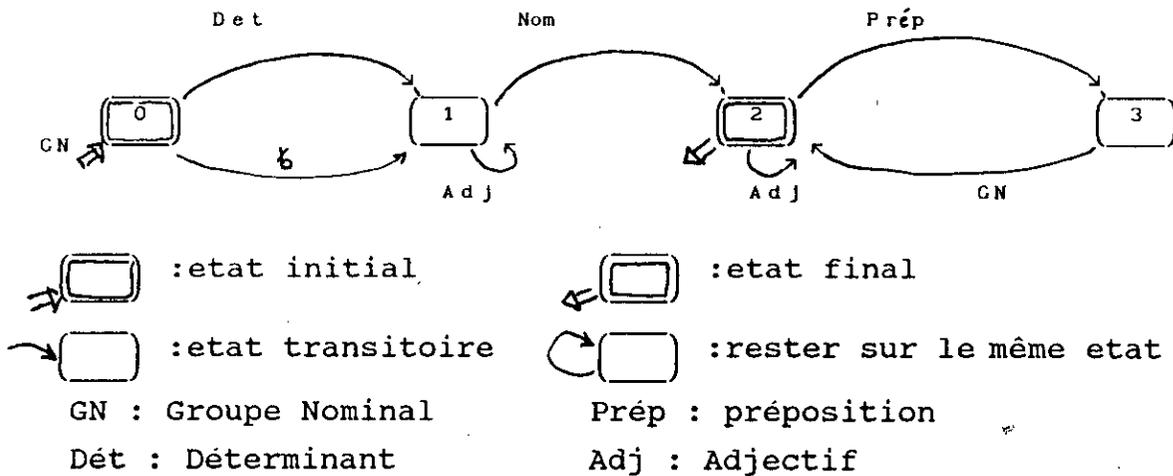
Cette représentation est utilisée généralement pour les protocoles ou plannings d'action. Elle a aussi été utilisée pour la représentation du langage naturel. [PINS81]

Un automate est représenté par :

- des états : ils représentent les actions à entreprendre,
- des arcs : ils représentent les décisions ou prédicats pour passer d'un état à un autre.

#### EXEMPLE D'AUTOMATES:

L'automate suivant permet d'analyser des groupes nominaux (élémentaires) de la langue française :



### 3.2.1.2. LES PROGRAMMES

Ce sont des programmes informatiques ou des algorithmes qui représentent une connaissance.

Un algorithme décrit une suite d'actions suivant un ordre dont l'importance est vitale. Il décrit une connaissance d'un type spécial qui sera mémorisée en bloc.

L'utilisation d'algorithmes est limitée à des cas très particuliers, numériques pour la plupart. [LAUR82]

EXEMPLE:

la procédure de résolution d'une équation du 2ème degré.

Procédure RESO-2-EQU(A,B,C)

DEBUT

delta= $B^2-4 \times A \times C$

si delta>0 alors "racines réelles"

si delta=0 alors "racine double"

si delta<0 alors "racines imaginaires"

FIN

C'est une représentation qui donne lieu à l'écriture de programmes difficiles à modifier et à étendre en fonction de l'évolution. Elle peut s'adapter seulement aux connaissances les plus structurées. [BONN84]

### 3.2.2. LA REPRESENTATION DECLARATIVE

Cette représentation permet une expression de la connaissance sous forme de granules indépendants, et laisse à un mécanisme de raisonnement, indépendant des granules, le soin de combiner les éléments de connaissance pour faire des déductions. [PINS81], [FERR86]

#### 3.2.2.1. LES REGLES DE PRODUCTION

Une règle de production, appelée encore règle de déduction (inférence), est de la forme :

SI <CONDITION > ALORS <ACTION>

Qui signifie: chaque fois que la condition est VRAIE l'action est EXECUTEE.

La connaissance est représentée par un grand nombre de règles simples, utilisées pour guider le dialogue entre le système et l'utilisateur afin de déduire des conclusions.

Un ensemble de règles de production est appelé système de production. [LAUR86]

Les systèmes de production sont basés, suivant l'utilisation, soit sur la logique de calcul des propositions soit sur la logique de calcul des prédicats.

A) LE CALCUL DES PROPOSITIONS : (Annexe-D)

Une proposition est une phrase déclarative ou une assertion, qui peut être soit VRAIE soit FAUSSE (mais jamais les deux à la fois). [FREC88], [BONN84]

Exemples de propositions :

A : La part des fonds propres nets sur le total du bilan est faible.

B : L'environnement de l'entreprise est préoccupant.

Le calcul des propositions est basé sur les règles suivantes: [BONN84]

- la règle dite du MODUS PONENS :

$$\left. \begin{array}{l} \text{SI } (P \Rightarrow Q) \text{ ET } (P \text{ EST VRAI}) \\ \text{ALORS } Q \text{ EST VRAI} \end{array} \right\} (A \wedge (A \Rightarrow B)) \Rightarrow B$$

- les lois de morgan :

$$\neg (A \wedge B) \equiv \neg A \vee \neg B$$

$$\neg (A \vee B) \equiv \neg A \wedge \neg B$$

- l'équivalence dans le raisonnement par l'absurde :

$$(A \Rightarrow B) \equiv (\neg B \Rightarrow \neg A)$$

A partir d'une proposition nous pouvons construire d'autres propositions, en utilisant les connecteurs logiques:

- ¬ "Non" : la négation,
- ∨ "ou" : la disjonction,
- ∧ "et" : la conjonction,
- ⇒ : l'implication,
- ⇔ : si et seulement si (l'équivalence logique).

EXEMPLE de règle de production basée sur la logique des propositions:

$D \leftarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Si} \\ \quad \text{proposition A est vraie} \\ \quad \text{et} \\ \quad \text{proposition B est vraie} \\ \text{ALors} \\ C \leftarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Il est nécessaire d'évaluer la valeur} \\ \text{liquidative de l'entreprise.} \end{array} \right. \end{array} \right.$

D est une nouvelle proposition déduite de :  $A \wedge B \Rightarrow C$

B) LE CALCUL DES PREDICATS :

Le calcul des prédicats est une extension du calcul des propositions. Il utilise en plus des connecteurs logiques, les quantificateurs existentiels universels:  $\exists$  et  $\forall$ . [BONN84]

Les propositions sont représentées par des formules dites "FORMULES BIEN FORMEES". [PINS81] (pour plus d'explication voir [GHAL90])

EXEMPLE de formule bien formée:

$(\forall x) (\forall y) (\forall z) ( \text{VISITE}(x,y) \wedge \text{A}(y,z) \supset \text{A}(x,z) )$

Elle représente l'information suivante :

Si

x visite y,

et

y est à l'endroit z,

Alors

x est aussi à l'endroit z

et que cette relation est vraie pour tout x,y,z.

Le calcul des prédicats nous permet de représenter:

-Les prédicats : ce sont des formules bien formées, prenant un ou plusieurs arguments et retournant l'une des valeurs VRAI ou FAUX.

-Les symboles de quantification universels:  $\forall$  et  $\exists$

EXEMPLE de règle de production basée sur le calcul des prédicats:

SI indice-branche(y,baisse)  
et appartient(x,y)  
ALORS Vendre(x)

[La plupart des systèmes experts sont basés sur l'utilisation des règles de production. [LAUR82]

Parmi eux citons : -MYCIN (SORTLIFF,1975)  
-GUIDON (CLANCEY,1979)  
-SAM (GASCUEL,1981)

Inconvénients des systèmes de production: [LAUR82]

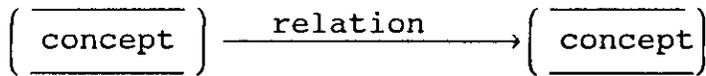
- La difficulté de concevoir une règle de production correspondant à un élément de connaissance.
- La difficulté d'écrire toutes les règles sous un même format unique: SI <condition> ALORS <ACTION>
- Les règles ne s'appellent pas directement les unes les autres et entraînent ainsi une certaine lourdeur dans l'exécution.

Avantages des systèmes de production: [LAUR82]

- La modularité des règles permet à chaque unité d'information d'être ôtée, changée ou ajoutée sans qu'il ne soit besoin de modifier les autres. Ainsi tout changement est additif et local.
  - La lisibilité pour la machine et pour l'utilisateur. Pour la machine: simplicité de la vérification automatique de la base. Pour l'utilisateur: la facilité de lecture et d'écriture.
  - L'efficacité du raisonnement dans le sens où les systèmes de production produisent des solutions multiples.
- [Les règles de production sont des outils universels. Elles sont potentiellement aptes à représenter tout type de connaissances. [KAYS85]

### 3.2.2.2. LES RESEAUX SEMANTIQUES

Un réseau sémantique est un graphe, constitué de noeuds représentant les concepts (entités, individus, situation) et d'arcs orientés représentant les relations entre les noeuds.



Chaque arc indique le sens de la relation qu'il représente. Ce type de représentation est utilisé surtout dans les systèmes de traitement et de compréhension du langage naturel, et dans tous les systèmes où les connaissances sont fortement interconnectées. [PINZ81]

Les réseaux sémantiques ont une structure hiérarchique qui permet la transmission des propriétés à travers les relations entre concepts. Cette structure évite, ainsi, la répétition des représentations de certaines informations. (Figure 3.2.2.2.)

Ils peuvent être représentés sur machine par des relations de la forme :

REL (a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>, .....)

REL: relation;                      a<sub>1</sub> : concept.

#### EXEMPLE:

est-un (SNIC, nom d'entreprise).  
a-un (entreprise, nom d'entreprise)  
produit (entreprise, un produit)  
a-un (un produit, nom de produit)  
est-un (SAVON, nom de produit)

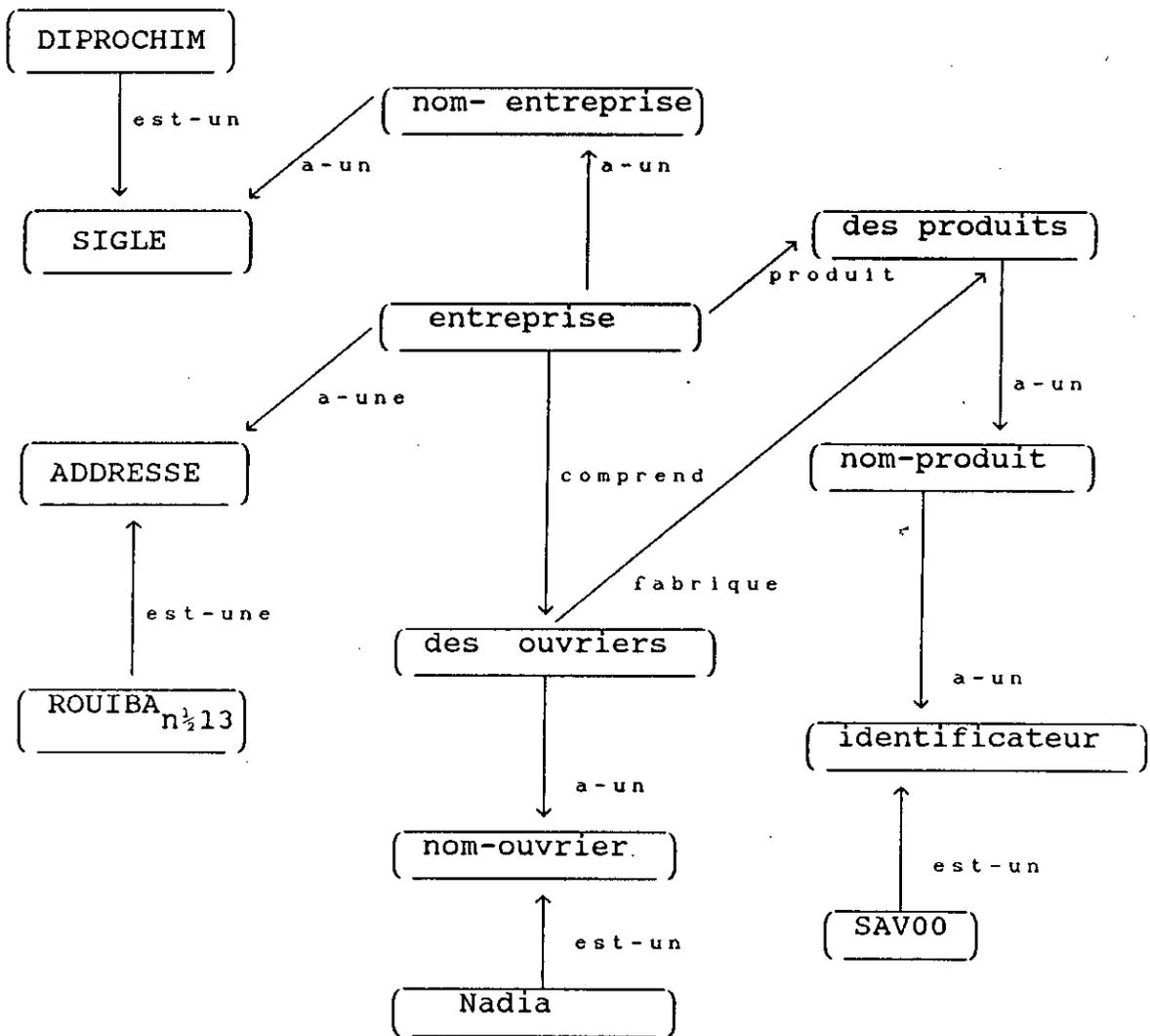


Figure 3.2.2.2. Schéma d'un réseau sémantique

Cette représentation est complétée par un ensemble de règles d'inférence souvent sous la forme des "formules bien formées" (FBF) du calcul de prédicats. [PINS81]

EXEMPLE:

$$\forall x, \forall y, \forall z \text{ a-un}(x,y) \wedge \text{a-un}(y,z) \Rightarrow \text{a-un}(x,z) \quad \left\{ \begin{array}{l} x: \text{entreprise} \\ y: \text{nom d'entreprise} \\ z: \text{sigle} \end{array} \right.$$

Ce type de représentation donne un schéma très utile pour le stockage de l'information sur machine. Cependant, il est difficile de représenter des connaissances procédurales avec ce formalisme.

L'inconvénient que présente ce formalisme est que le temps nécessaire pour parcourir les graphes est long, ce qui alourdit le processus de recherche et donc de la résolution des problèmes. [BONN84]

Parmi les systèmes qui utilisent les réseaux sémantiques pour la représentation des connaissances nous citons:

PROSPECTOR (DUDA, 1977) : c'est un système expert en géologie.

CASNET (WEISS et KULIKOWSKI, 1978) : c'est un système expert d'aide au diagnostic et à la thérapeutique des glaucomes.

### 3.2.3. REPRESENTATION MIXTE

Vu que les représentations procédurale et déclarative présentent certains inconvénients, la représentation mixte a été proposée pour y remédier, en combinant les avantages des deux précédentes. La représentation mixte est un formalisme objet.

Un objet est une structure qui décrit un élément de l'univers de la connaissance. Il peut représenter une chose concrète (une table, un arbre) ou une entité abstraite (un concept, une hypothèse). [BEDO85]

#### Constitution d'un objet:

tête de l'objet			
attribut <sub>1</sub>	:	(procédure <sub>1</sub> )	valeur <sub>1</sub>
attribut <sub>2</sub>	:	" "	"
"	:	" "	"
"	:	" "	"
"	:	" "	"
attribut <sub>n</sub>	:	(procédure <sub>n</sub> )	valeur <sub>n</sub>

EXEMPLE: [DUPU89]

TABLE	
est un	:meuble
composition	:un plateau et N pieds
fonction	:repas ou travail
capacité	:si table rectangulaire
	nb de personnes= $2 \times E \left[ \frac{(\text{ en m } )}{\text{longueur}} \right] + 2$
	si table ronde
	nb de personnes= $E \left[ (\text{périmètre en m } / 0.7) \right]$
nb de pieds	: restriction : $1 < N < 6$
	par défaut N=4

Les représentations en objets structurés sont nées de conjonctions d'idées de plusieurs sources, et ont reçu des appellations diverses: [BONN84]

-FRAMES (prototype): (MINSKY) utilisés pour la compréhension des images et du langage naturel. Un frame est une structure de données permettant de représenter un objet ou une situation stéréotypée. Les frames peuvent donc être considérés comme une génération de réseaux sémantiques assurant, en plus, des traitements procéduraux. [RICH87]

L'inconvénient des frames est la difficulté d'explication du processus de raisonnement, et la difficulté d'acquisition des connaissances.

-SCRIPTS (Schémas): (SCHANK et ABELSON) pour décrire l'enchaînement stéréotypé d'événements. C'est une structure qui décrit une séquence stéréotypée d'événements dans un contexte particulier. (exemple: description d'un restaurant). [LAUR82]

Un script est une spécialisation de la théorie des frames.

L'avantage de la représentation mixte par rapport aux réseaux sémantiques est l'intégration des traitements procéduraux dans la description d'objets.

### 3.3. COMPARAISON DES METHODES DE REPRESENTATION DES CONNAISSANCES

En définitif, est-il possible de comparer des formalismes différents, de caractériser leurs qualités et leurs défauts, de donner des critères d'application ?

Aucune solution universelle au problème de la représentation des connaissances ne se profile à l'horizon. Les chercheurs se portent plutôt vers la définition de systèmes incorporant une sélection judicieuse de formalismes complémentaires. [BHTN86] [GALL85]

Il est difficile de comparer les différentes méthodes car selon le type d'application, certaines conviennent mieux que d'autres. Le tableau suivant regroupe les différents formalismes, avec les caractéristiques de chacun. [PINS81]

	automate	prog	produc	réseau	frame
représentation déclarative	2	1	3	3	3
représentation procédurale	3	3	2	1	3
représentation méta-connaiss.	1	3	3	2	3
taille du fragment	gros	gros	moyen	petit	gros
explication du raisonnement	1	1	3	2	1
facile à utiliser par l'expert	2	1	3	2	1
modularité	2	1	3	3	2
facile à étendre	2	1	3	3	2
efficace temps d'exécution	2	3	2	1	2

1: mauvais; 2: moyenn; 3: bon

### 3.4. LES META-CONNAISSANCES

Les méta-connaissances sont des connaissances sur la façon d'utiliser les connaissances. En effet, un système qui comporte une méta-connaissance possède en lui deux sous-systèmes, l'un relatif au domaine traité, et l'autre à la stratégie de raisonnement opérée sur les connaissances du premier, indiquant ainsi les règles qu'il convient de déclencher en priorité lorsque certains faits sont connus. [BHTN86]

La méta-connaissance peut être de deux types :

-Universelle, elle est alors intégrée au moteur d'inférence, elle se distingue donc de la base de connaissance.

-Spécifique à un domaine, ce qui suppose son intégration au sein de la base de connaissances et sa gestion par le moteur.

Un système qui utilise des méta-connaissances est un système à deux niveaux de connaissances. Aussi, il est possible d'augmenter encore le nombre de niveaux des connaissances (on parle alors de méta-méta-connaissance : niveau  $n\frac{1}{2}$  ), chaque étage s'empilant sur le précédent augmente ainsi l'efficacité du système. [LAUR82]

Dans un système expert basé sur les règles de production, les méta-connaissances se représentent par des règles dites méta-règles. Cette façon d'organiser la connaissance en niveaux possède un avantage et un inconvénient. L'avantage est d'avoir le contrôle dans le corps même de la règle (chaque règle véhiculant ses propres raisons d'application). L'inconvénient est que la partie prémisse des règles (dans un système basé sur les règles de production) risque de s'alourdir.

### 3.5. LA REPRESENTATION DE L'INCERTAIN

Il peut également être nécessaire de représenter des connaissances incertaines. En effet, les connaissances que nous utilisons habituellement ne sont pas toujours formellement exactes. Elles sont souvent entachées d'incertitude et d'imprécision.

Dans la plupart des cas, les experts font appel, dans leur processus de raisonnement et de décision, à des règles approximatives. C'est cette incertitude qui traduit leur expérience. Aussi, il est nécessaire de pouvoir représenter ces connaissances "incertaines".

Avant de donner la manière de représenter cette information incertaine, il est intéressant de définir les deux termes : incertitude et imprécision.

L'incertitude porte sur la vérité ou la fausseté d'une proposition qui n'est pas définitivement établie. [DUBO86]

En effet, un événement déclaré certain est considéré comme vrai. Un fait énoncé sous forme d'une proposition est incertain dès qu'on n'est pas en mesure d'établir la vérité de la proposition ou que l'on doute de sa conformité à la réalité. [PRAD85]. Cela peut être dû à l'appartenance du fait à un monde difficilement accessible à la vérification, comme à un manque de confiance dans la source d'information.

#### EXEMPLES DE PROPOSITIONS INCERTAINES:

- "La vie existe sur une planète de notre galaxie, autre que la terre."

- "Le cambrioleur mesurait plus de 1.80 m."

- "Il pleuvra demain à ORAN."

L'imprécision a trait au contenu d'une information exprimée à l'aide de prédicats ou de quantificateurs vagues. On tient alors compte du fait que les mots décrivant le savoir n'ont pas forcément une interprétation unique et précise, mais recourent à un ensemble de valeurs de paramètres sous jacents dont on ne connaît souvent qu'approximativement les limites.

#### EXEMPLES DE PROPOSITIONS IMPRECISES:

- "Ali a la quarantaine passée."

- "X et Y sont approximativement égaux."

remarque:

L'âge d'Ali n'est pas donné avec précision.

La relation exacte entre X et Y n'est pas connue

Si Les connaissances manipulées au cours des raisonnements sont susceptibles d'être imprécises ou incertaines, les raisonnements eux-mêmes peuvent être valides ou seulement plausibles.

Un raisonnement est dit valide quand il donne une conclusion certaine à partir de prémisses certaines.

Un raisonnement est dit plausible si la conclusion inférée à partir de prémisses certaines, peut être incertaine. [DUB086]

La théorie de la logique stricte ne nous permet pas de représenter les connaissances et raisonnement incertains.

Une nouvelle logique fut alors introduite pour y remédier: la logique floue, qui a conduit à la théorie des sous-ensembles flous. [DUPU89] (Annexe-D-)

La notion d'ensemble flou, élaborée par le Professeur L.A ZADEH, tente de dépasser les limites des ensembles de la théorie mathématique classique, quand il s'agit de représentation des phénomènes fortement teintés d'imprécision.

Les ensembles traditionnels présentent, en effet, une loi d'appartenance très stricte, puisqu'elle que soit sa nature, un élément ne peut que faire ou ne pas faire partie de n'importe lequel de ces ensembles.

Par contre, un ensemble flou, par définition, contient les éléments qui n'en feraient que plus ou moins partie, en plus de ceux qui en font ou n'en font pas partie (sans nuance).

La loi d'appartenance dans les ensembles classiques est strictement booléenne, alors que dans les ensembles flous elle est pondérée. Elle permet, alors, d'associer à tout élément un degré d'appartenance qui a des valeurs continues comprises entre 0 et 1. [FRED89]

EXEMPLE :

dans la théorie des ensembles classiques :

0 —————> n'appartient pas.

1 —————> appartient.

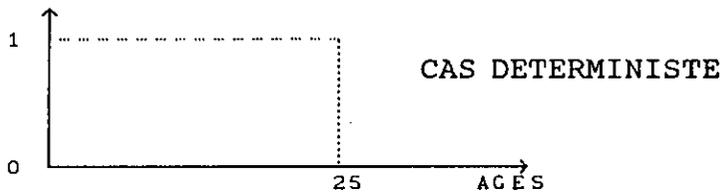
dans la théorie des sous-ensembles flous :

$X \in \mathbb{R}, X \in [0,1]$   
X —————> appartient à tel point.

La théorie des sous-ensembles flous nous permet de représenter les connaissances et le raisonnement incertain, afin de mieux représenter le raisonnement humain.

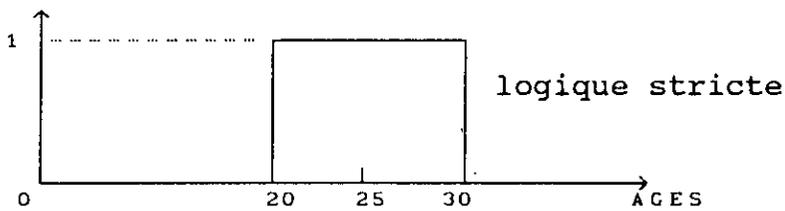
EXEMPLES : [DUPU89]

1/ Exemple de représentation déterministe de l'information:  
"LEILA a 25 ans"



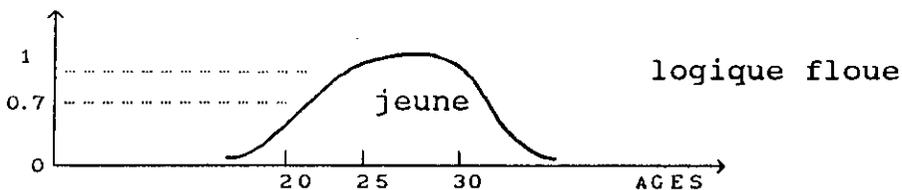
L'âge ne peut être que 25 ou non 25 ans.

2/ Exemple de représentation en logique stricte de  
l'information: LEILA a entre 25 et 30 ans.



L'âge prend des valeurs entre 20 et 30 ans.

3/ Exemple de représentation en logique floue de  
l'information: "LEILA est jeune"



Cet exemple illustre le fait de pouvoir représenter le  
concept flou "jeune".

## 4. S.A.D.I: SYSTEME EXPERT D'AIDE AU DIAGNOSTIC INDUSTRIEL

### 4.1. INTRODUCTION

De tout temps l'entreprise, quelle que soit sa branche d'activité, effectue des actions pour réduire ses coûts et améliorer sa productivité.

Elle a informatisé sa gestion ce qui a augmenté l'efficacité des tâches administratives, a acquis des machines plus performantes et augmenté sa productivité. De même, certaines tâches de production ont été améliorées par la mise en place de dispositifs automatisés de stockage, d'usinage et de manutention, etc...

Quel que soit l'effort déjà fourni, il s'avère aujourd'hui insuffisant. D'une part les concurrents de l'entreprise ont su fournir le même effort, et parfois même ils ont été plus rapides et sont allés plus loin. D'autre part, le progrès technologique est en perpétuelle évolution. Ceci oblige l'entreprise à se donner des moyens plus efficaces pour suivre et rattraper la concurrence afin de survivre.

[La maîtrise de la ressource informationnelle est le moyen le plus sûr et rapide pour maîtriser les problèmes de fonctionnement interne et les relations de l'entreprise avec son environnement [BOIS90].

Aussi, praticiens et chercheurs en sciences de gestion et d'administration se sont préoccupés de la qualité des décisions prises en milieu organisationnel. Ils ont vu qu'il était important et intéressant à toute entreprise de procéder à un diagnostic, en temps opportun, si ce n'est quotidiennement, pour avoir une bonne connaissance des points faibles et forts les plus caractéristiques de leur organisation, afin d'identifier les vrais besoins de l'entreprise. [THEO87]

La distribution de la connaissance et du savoir-faire relatifs à ce type d'analyse doit accroître l'efficacité et en réduire le coût. Cependant le capital informationnel nécessaire pour diagnostiquer les entreprises ne s'acquiert qu'au prix d'une longue expérience, et nécessite un effort de synthèse de longue haleine. Il est donc intéressant et utile de réaliser un système expert d'aide au diagnostic industriel, et ce, d'une part pour envisager une utilisation plus facile et aisée dans les entreprises et, d'autre part pour contribuer à l'intégration des connaissances théoriques et pratiques en diagnostic.

Dans cette perspective, nous avons réalisé un système expert qui offre ces possibilités. Il est développé sous le générateur de systèmes experts GURU<sup>(1)</sup>.

(1): \_\_\_\_\_

GURU est défini comme étant "Un maître spirituel Indou"  
définition LAROUSSE.

## 4.2. PRESENTATION DU SYSTEME S.A.D.I

La réalisation d'un système informatique permettant d'assister les dirigeants d'entreprises a été le but principal de notre étude. Le système a quatre objectifs de base:

- 1½)- La connaissance dont il dispose doit lui permettre de donner un avis comparable à celui d'un expert.
- 2½)- Le dialogue avec la machine doit se faire dans un langage quasi-naturel (aussi voisin que possible du langage naturel), afin d'éviter à l'utilisateur l'apprentissage d'un langage ou d'un code particulier.
- 3½)- Le système doit disposer de possibilités d'exploitation de ses conseils, en donnant les éléments sur lesquels il fonde son raisonnement.
- 4½)- Enfin pour améliorer ses conseils, évoluer en fonction des connaissances du domaine de la production et multiplier ses applications, le système doit être doté d'un module d'acquisition des connaissances.

Le fonctionnement du système est calqué sur l'attitude d'un expert face à un problème donné. Il doit donc être capable d'analyser les renseignements spontanément fournis par l'utilisateur, et pouvoir lui demander des précisions dans le cas où les éléments avancés orientent vers un diagnostic ou un ensemble de diagnostics possibles.

Pour réaliser un tel système, nous avons été amenés à nous poser un certain nombre de questions telles que:

- Comment représenter les connaissances de types différents? l'information incertaine? les données sûres ?...
- Comment rendre possibles les initiatives du système guidées par les données?
- Comment réaliser l'interaction système-utilisateur?
- Comment acquérir, gérer, contrôler les connaissances du système?

La réalisation de notre système s'appuie essentiellement sur l'activation des heuristiques<sup>(1)</sup> différentes en fonction de la symptomatologie présentée par l'entreprise, ce qui revient à définir un ensemble de diagnostics possibles, puis à partir de là recourir au diagnostic différentiel<sup>(2)</sup>.

Afin de montrer le principe et la méthodologie du système S.A.D.I trois points seront essentiellement développés, à savoir :

- Le choix du langage de programmation.
- L'univers de connaissances.
- La démarche diagnostic pour parvenir au but recherché.

Néanmoins, avant de développer ces derniers nous présenterons l'architecture générale de notre système. (fig.4.2.)

(1): \_\_\_\_\_

Consiste à essayer un chemin non prédéfini connaissant un point de départ et un objectif à atteindre, en gardant la possibilité d'en essayer d'autres si celui qui paraissait prometteur n'a pas conduit rapidement à une solution [BONN84].

(2): \_\_\_\_\_

Consiste à sélectionner un diagnostic parmi plusieurs.

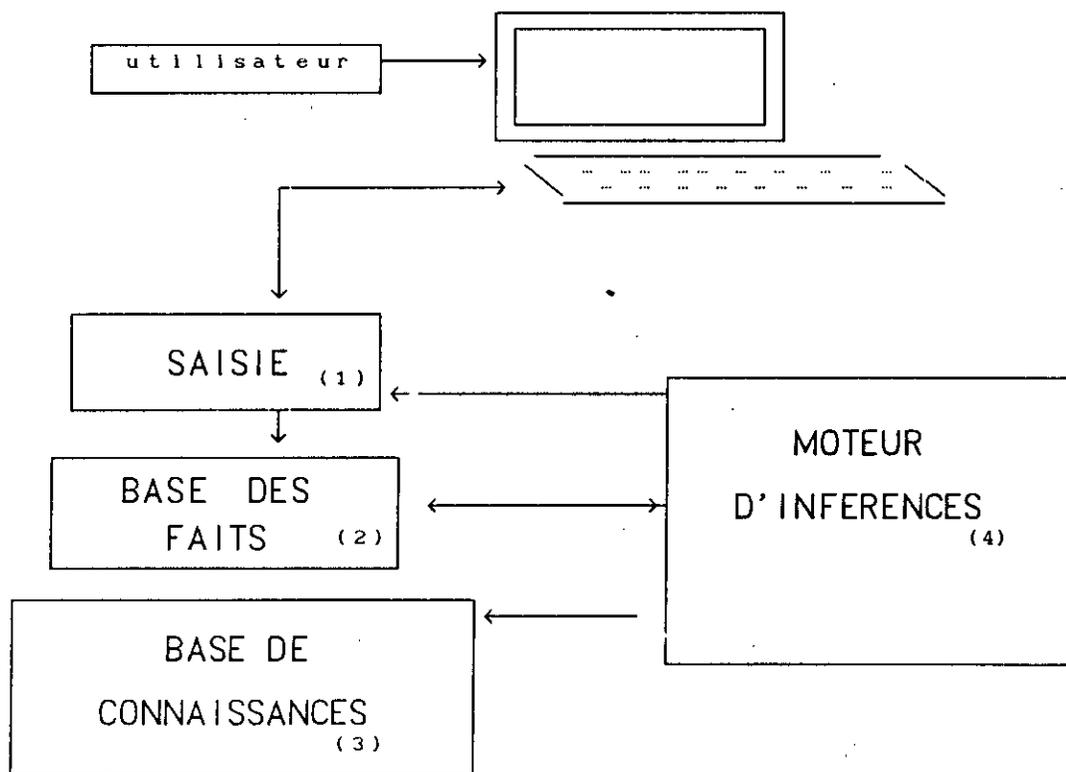


fig.4.2. STRUCTURE DU SYSTEME S.A.D.I.

Comme tout système expert classique, il comprend un moteur d'inférences, une base de connaissances, et une base des faits. Par ailleurs, il comprend un module de saisie de données sur l'entreprise. Celui-ci sert à récupérer les informations fournies par l'utilisateur en réponse aux questions posées par le système afin d'enrichir la base des faits.

(1) SAISIE : assure un dialogue cohérent à l'aide d'une connaissance qui lui est propre, et l'enregistrement dans la base des faits des informations concernant l'entreprise.

(2) BASE DES FAITS : c'est la mémoire de travail du système. Elle contient, en plus des informations de saisie, le ou les sous-problèmes à résoudre.

(3) LA BASE DE CONNAISSANCES : comme son nom l'indique, elle représente la mémoire permanente du système. C'est la connaissance de l'expert. Nous l'avons représentée par un ensemble de règles de production, vu les avantages des systèmes de production ( 2.4.2.). Elle est constituée actuellement de quatre sous bases à savoir:

- \* La base situation.
- \* La base coût.
- \* La base qualité.
- \* La base stock/délais.

(4) LE MOTEUR D'INFERENCE : c'est celui du générateur de systèmes experts GURU. Il traite les informations de la base des faits et tire des conclusions en utilisant les éléments de la base des connaissances.

### 4.3. LA DEMARCHE DIAGNOSTIC DU SYSTEME S.A.D.I.

La consultation du modèle commence par l'activation de la base "situation". L'utilisateur est amené à répondre aux questions posées par le système afin que ce dernier puisse déterminer le but à atteindre et établir les recommandations possibles.

L'exécution de la base "situation", la première base évoquée, conduit à initialiser un agenda des buts à considérer. Ensuite, le système utilise une structure de contrôle en chaînage arrière en invoquant la base adéquate, pour chaque but de l'agenda, afin de confirmer les buts à atteindre.

Le système procède en trois étapes (figure 4.2):

Dans un premier temps la consultation se base, essentiellement, sur le repérage des dysfonctionnements et de l'inefficacité affectant l'activité production au sein d'une entreprise. Chaque signe diagnostiqué (symptôme) fait l'objet d'une question. Selon les réponses obtenues, le système renvoie à un sous-ensemble de questions, et/ou de travaux à réaliser afin de préciser le problème.

Dans un deuxième temps, le système essaye de lier à chaque symptôme une cause. En examinant l'ensemble des causes, le système procède à un diagnostic différentiel pour déceler la (les) cause(s) fondamentale(s).

Dans un troisième et dernier temps, le système se base sur les causes retenues à la deuxième étape afin de donner les recommandations possibles.

Notons qu'à chaque étape le système consulte l'une des bases qualité, coût, ou bien stock/délais pour aboutir au résultat final.

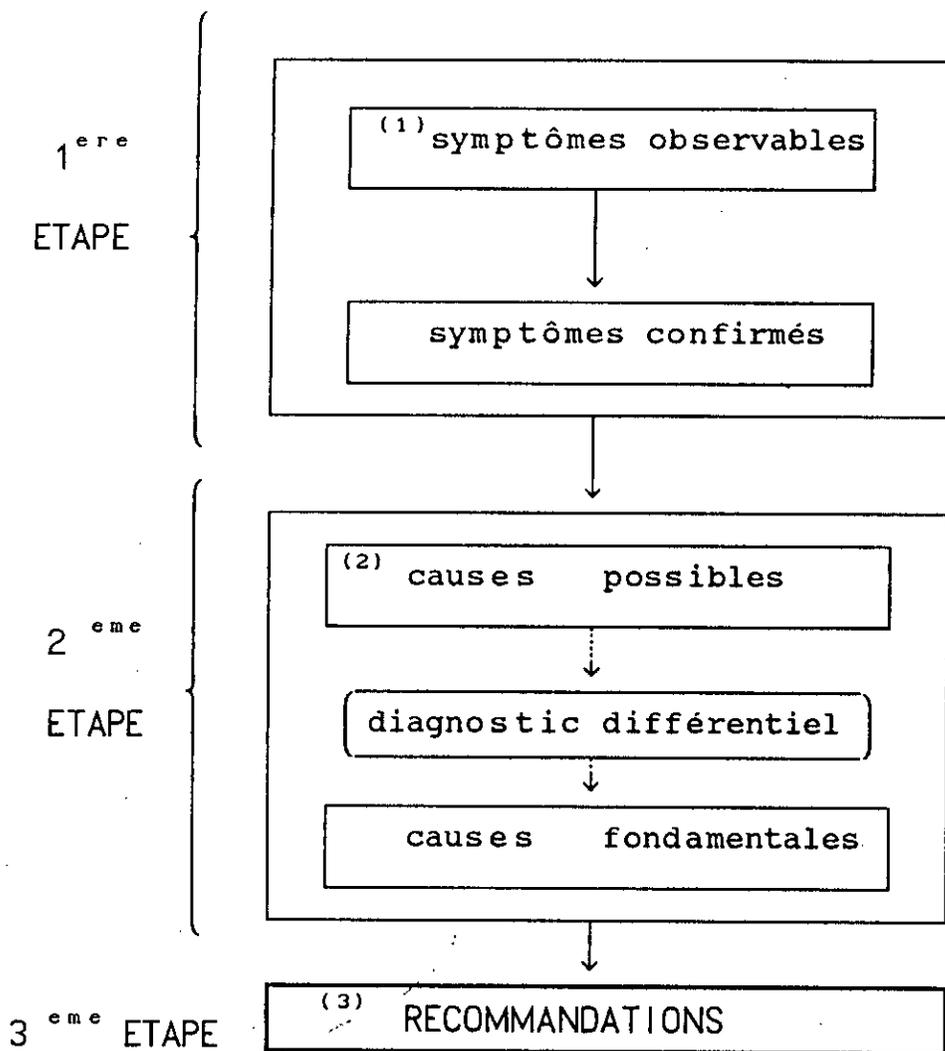


Figure 4.3. schéma de la démarche du système S.A.D.I.

(1) EXEMPLES DE SYMPTOMES:

- Dégradation des équipements et installations.
- Vieillesse des équipements.
- Rigidité des méthodes.
- Retard de livraison.
- Goulot d'étranglement.
- Augmentation du taux de rebut.

(2) EXEMPLES DE CAUSES:

- Production de mauvaise qualité.
- Planing mal fait.
- Difficulté financière pour remplacer les équipements.
- Qualité de matières premières irrégulière.
- Personnel peu qualifié.
- Faible productivité.
- Capacités inadaptées.
- Retard technique.

(3) EXEMPLES DE RECOMMANDATIONS:

- Revoir les méthodes de gestion.
- Revoir la maintenance.
- Revoir la politique d'investissement.
- Suivre l'évolution technologique sans attendre l'usure ou la casse des machines.
- Faire des simulations des charges de travail pour prévoir certaines situations.
- Vérifier l'éclairage des ateliers.
- Veiller sur l'hygiène des ateliers.
- Veiller sur le respect des instructions de sécurité.

Les symptômes sont les faits constatés. Les recommandations ou encore les propositions constituent l'objectif principal du diagnostic. En effet, comme nous l'avons déjà cité dans le chapitre 1, le diagnostic est un moyen d'action, d'amélioration et de progrès. Un symptôme peut être à son tour une cause.

EXEMPLE :

Soit les faits constatés suivant:

symptômes { \* les ventes baissent (en volume)  
                  \* on observe en même temps une augmentation du  
                  taux des "retours" pour défauts des clients.

La cause peut être identifiée au niveau de la qualité insuffisante des produits.

Notons que la mauvaise qualité peut être un symptôme, donc il faut que nous en cherchions la cause fondamentale. Cette mauvaise qualité est due à l'insuffisance de qualification du personnel aussi bien qu'à un vieillissement des moyens de production, ou à des matières premières de mauvaise qualité, voire même à une combinaison de ces différents facteurs.

Si nous considérons la qualification insuffisante comme étant la cause fondamentale dans un cas donné, il faut savoir que celle-ci aussi peut elle-même résulter de causes en amont, soit d'une absence de politique de formation et de qualification, soit d'une mauvaise gestion de la politique de recrutement.

Ainsi, à partir des faits constatés et de la mise en évidence de leurs causes, le système devra établir son diagnostic en recommandant une amélioration ou bien en proposant un quelconque changement.

#### 4.4. CHOIX DU LANGAGE D'IMPLEMENTATION .

Un système expert n'est pas seulement un moteur d'inférences, c'est aussi, et surtout, des connaissances que l'on doit pouvoir coder et transcrire, pour être introduites dans le système. En effet, celles-ci sont à la base de l'évaluation du système expert.

Il faut pouvoir comprendre et interpréter les résultats qui sortent du système. Ces fonctions (comprendre et interpréter) ne sont pas du ressort du moteur d'inférence, elles sont effectuées par des logiciels annexes dits utilitaires. Ceux-ci facilitent l'utilisation du système par un non informaticien. C'est dans cette perspective que le choix d'un générateur, plutôt que d'un langage de programmation, a été adopté.

Dans l'ensemble des progiciels disponibles sur le marché des générateurs de systèmes experts, GURU fut sélectionné pour la puissance de son moteur d'inférences et pour la qualité de son environnement de développement [FRED89], [LEP90].

GURU est destiné aux entreprises afin de résoudre les problèmes professionnels des gestionnaires et dirigeants dans différents domaines.

GURU est un outil classé entre les logiciels de génération de systèmes experts et les logiciels de gestion classiques. Il propose autour de son moteur d'inférences et de son éditeur de bases de connaissances un ensemble de logiciels intégrés, composé d'un gestionnaire de fichiers, d'un tableur, d'un traitement de texte, d'un logiciel graphique et d'un logiciel de traitement de langage naturel.

GURU possède un environnement de développement complètement autonome, grâce auquel un système expert peut être construit sans avoir besoin de recourir à un langage ou progiciel complémentaire.



Par ailleurs, différents types de représentations de connaissances sont possibles. En effet, les connaissances procédurales peuvent être écrites dans n'importe quel langage de programmation, laquelle sont exécutés à partir de GURU par simple appel. La représentation sous forme de réseaux sémantiques est modélisée par le gestionnaire de base de données relationnelle intégré à GURU. D'autre part, la représentation en formes (Frame) est simulée par les tableurs.

## (2) LE MOTEUR D'INFERENCE:

Le moteur de GURU peut être invoqué à tout moment, en chaînage avant ou en chaînage arrière, dans un environnement d'informatique de gestion, de manière inter-active. Le moteur peut être invoqué pour tester une base de règles, une règle ou une variable.

GURU dispose de plusieurs stratégies de sélection des règles et méthodes de calcul des facteurs de certitude (noté cf). Afin que le concepteur puisse donner un sens aux situations qui lui paraissent floues, GURU nous donne la possibilité de travailler avec des ensembles flous.

L'exploitation de GURU et de son environnement est beaucoup plus à la portée de l'utilisateur que les langages de programmation classique tels que PASCAL et d'autres. Sa modularité permet au développeur de définir ses propres fonctions de calcul d'incertitude et sa propre interface. Ainsi, le moteur peut être personnalisé suivant l'utilisateur.

Mais quelle que soit la qualité du moteur d'inférence et des supports techniques employés, l'opérationnalité d'un système expert dépend surtout de la qualité des connaissances et la justesse des appréciations que le système va apporter.

C'est donc aux contenus respectifs de la base de connaissances et de la base des faits qu'il importe de porter attention, en détaillant successivement l'univers des connaissances, ensuite la démarche diagnostic et la validation du système conçu.

UNIVERS DES CONNAISSANCES  
DU SYSTEME **S.A.D.I.**

## 5. L'UNIVERS DE CONNAISSANCES DE S.A.D.I.

### 5.1. LA COMPLEXITE DU DOMAINE ORGANISATIONNEL

L'univers de connaissances des entreprises est très vaste tant par la diversité des fonctions concernées que par la variété des secteurs d'activité et dimensions des entreprises à étudier. Ceci rend difficile la conception d'une base universelle de connaissances. Mais l'étude d'un domaine restreint des entreprises permet l'élaboration d'une telle base.

En effet, la connaissance nécessaire pour diagnostiquer les entreprises est non seulement étendue mais touffue, en ce sens qu'il est difficile d'en fixer un ordonnancement qui convienne à chacun des cas à traiter et qu'il n'est pas toujours évident de distinguer l'important de l'accessoire, dans la mesure où il s'agit d'un domaine très varié.

Si les entreprises sont toutes différentes, par les personnes qui les composent, par les marchés qu'elles alimentent, elles ont cependant de nombreux points communs. En effet, elles abritent:

- Les mêmes grandes fonctions (production, personnel, direction générale, finance ....)
- Des objectifs très voisins (réduction des coûts, augmentation de la productivité ...)
- Des attributions semblables (gérer le fichier fournisseurs, tenir la comptabilité ...)

Nous avons, pour cela, réduit le domaine d'application de notre système à la fonction production; le diagnostic adopté est de type fonctionnel.

Pourquoi la fonction production? Dans une époque caractérisée par l'intensité concurrentielle et la rapidité du progrès technique, l'entreprise qui veut assurer sa continuité et rester performante se doit d'accorder une attention toute particulière à son "outil" de production [THIB90].

Elle doit donc à tout moment vérifier:

- \* Ses résultats techniques.
- \* Ses techniques de fabrication.
- \* La performance de ses moyens de production tant matériels qu'humains.
- \* etc...

La mission de la fonction production comprend les tâches suivantes:

- \* La mise au point des produits : ils doivent répondre aux besoins du marché.
- \* La conception des procédés et méthodes de fabrication.
- \* La mise en place et l'organisation des moyens matériels et humains (nécessaires à la production).
- \* La fabrication des produits dans de bonnes conditions, à savoir:
  - La qualité des produits.
  - La quantité produite.
  - Le coût de fabrication.
  - Les délais de livraison.

La base de connaissances du système S.A.D.I. portera essentiellement sur les points cités ci dessus.

La construction d'un système expert "d'aide au diagnostic industriel, tel que S.A.D.I. évoque deux grandes catégories de problèmes, l'un lié à l'acquisition des connaissances, l'autre à leur modélisation.

## 5.2. LA PRISE D'EXPERTISE

Qu'elle soit extraite directement auprès d'un expert ou tirée des travaux de recherches et des livres, le problème central de l'acquisition des connaissances est celui du transfert de l'expertise dans la base de connaissances.

La prise d'expertise, ou encore l'acquisition des connaissances, est le point d'entrée de la phase de réalisation d'un prototype système expert [GROS88].

En effet, il faut "capturer" la connaissance possédée par l'expert, pour la faire "rentrer" sous une certaine forme dans la base de connaissances.

Le processus d'acquisition (d'extraction) est souvent conduit par un spécialiste appelé généralement Ingénieur de la connaissance ou encore cogniticien. [BOIS90]

Le rôle du cogniticien est d'observer l'expert et de l'écouter, en vue de détecter les noeuds de raisonnements, d'identifier les objets de travail, et de déterminer le ou les fils conducteurs. Dans ce but, il faut faire parler l'expert qui doit pouvoir s'exprimer le plus librement possible. [TALI88]

Pour cela, tous les moyens sont bons: dessins, graphiques, écriture, magnétophone, etc ... Ce qu'il est important de noter, ce sont ses retours arrières, ses errements, ses hésitations, car derrière eux peut se cacher une représentation évolutive du problème que l'on doit prendre en considération. [GANA85]

La prise d'expertise consiste, donc, à comprendre le raisonnement (savoir-faire) d'un expert afin d'en tirer des indications qui permettront de tracer une représentation et une manipulation de ces connaissances.

Plusieurs méthodes d'extraction de connaissances existent, telles que: l'entretien, l'observation, l'analyse, le questionnaire, etc...

La connaissance peut être extraite directement auprès de l'expert (un ou plusieurs) ou bien des livres. Cependant, le but de cette extraction reste toujours le même, à savoir l'écriture de la base de connaissances.

La figure 5.2. schématise le processus d'extraction des connaissances afin de préparer l'étape de représentation des connaissances.

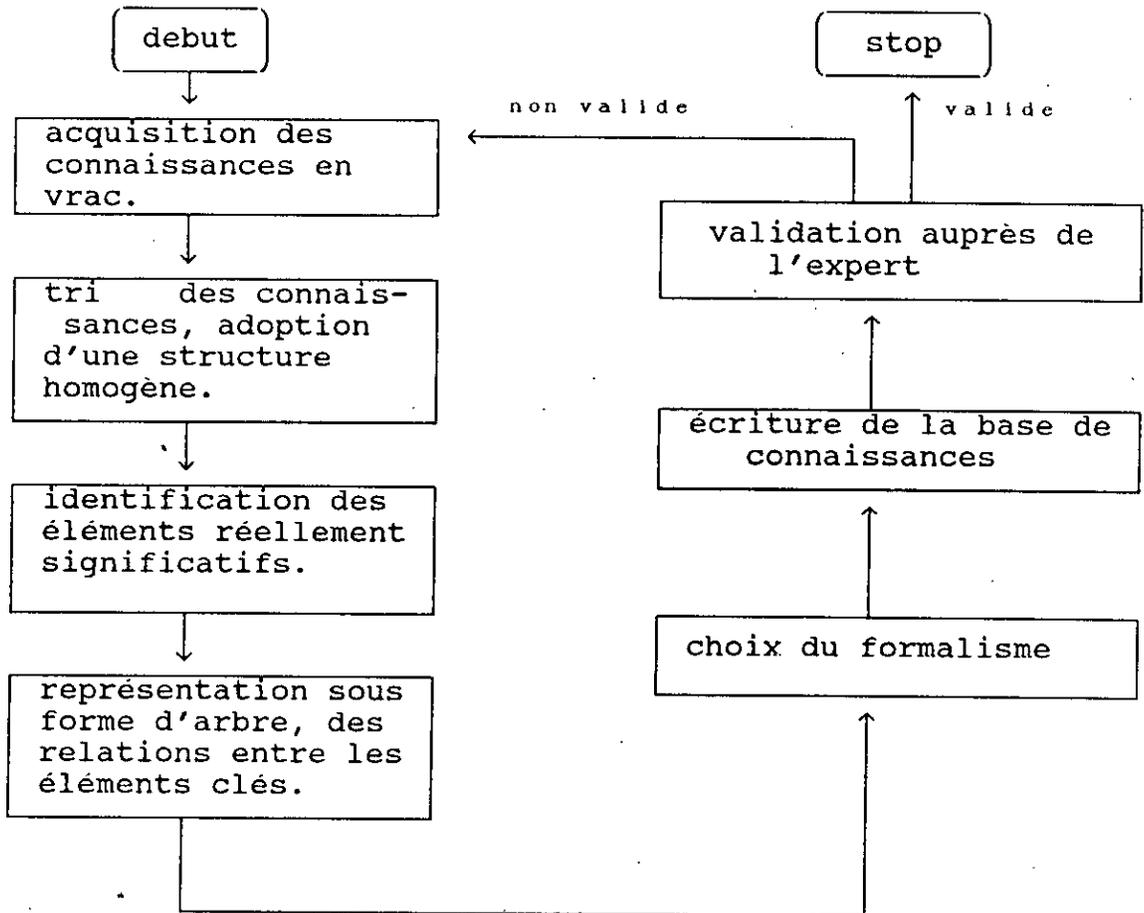


Figure 5.2. le processus d'extraction de connaissances

Vu le manque et la non disponibilité d'experts en diagnostic dans notre pays, nous avons été contraints d'extraire l'expertise à partir de livres et documents de recherche, du moins pour une première écriture de la base, que nous soumettrons par la suite pour validation à différents experts.

Nous nous sommes surtout basés sur les travaux d'équipe des professeurs FREDOUET de l'institut de gestion de RENNES (FRANCE), THEORET de l'université de SHERBROOK (CANADA), et NAVARRE de l'université de LILLE (FRANCE).

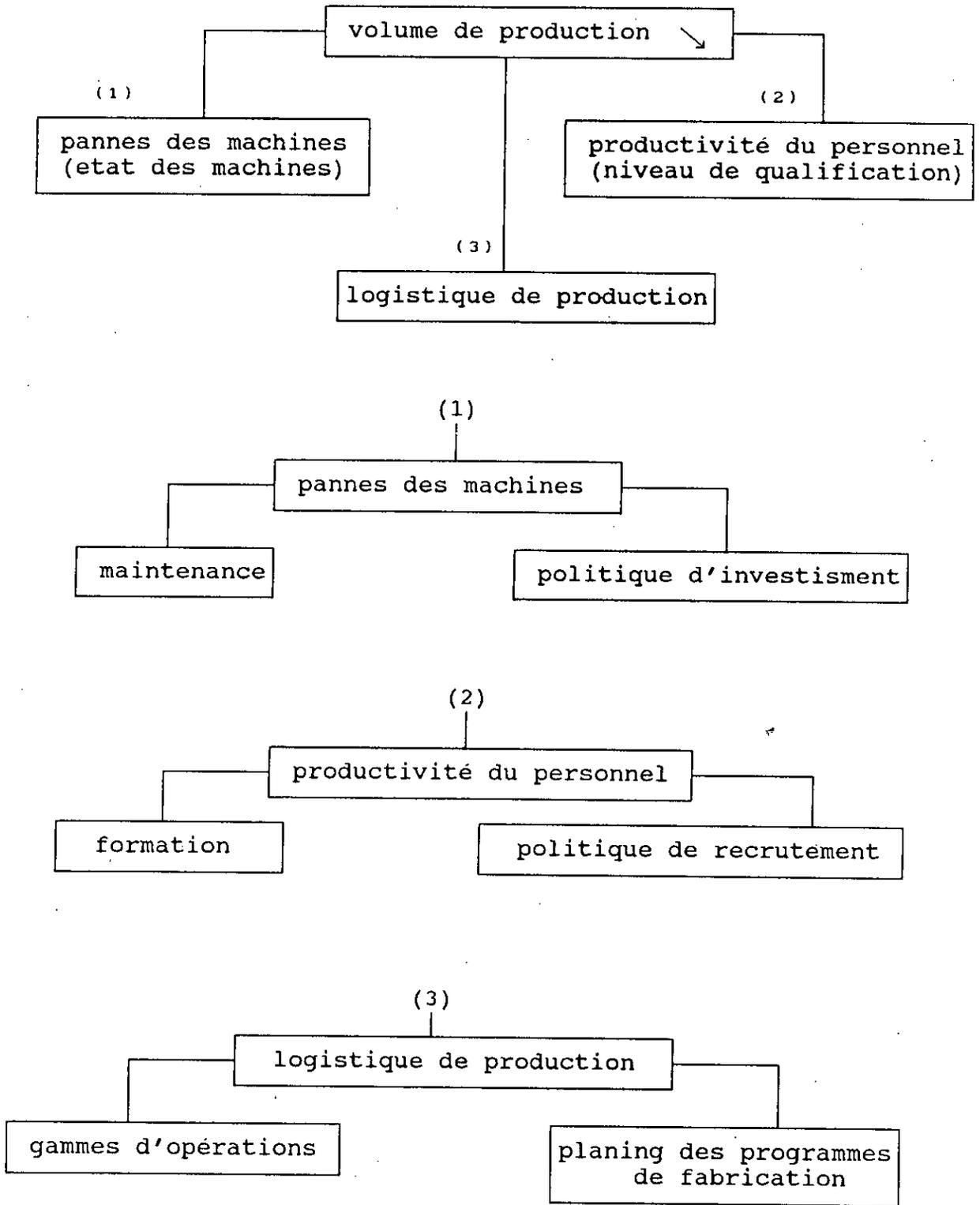
Les études faites, par ces équipes ont montré que les spécialistes en diagnostic d'entreprise fondent leur diagnostic sur des données extraites des états financiers et autres documents d'entreprises, de banques de données et publications spécialisées du secteur, de même que sur des entretiens avec les dirigeants et cadres de l'entreprise.

Pour analyser et interpréter ces données, les spécialistes font appel à des règles inédites et souvent implicites développées au fil du temps. Ce sont ces règles que nous avons essayé d'extraire et de modéliser.

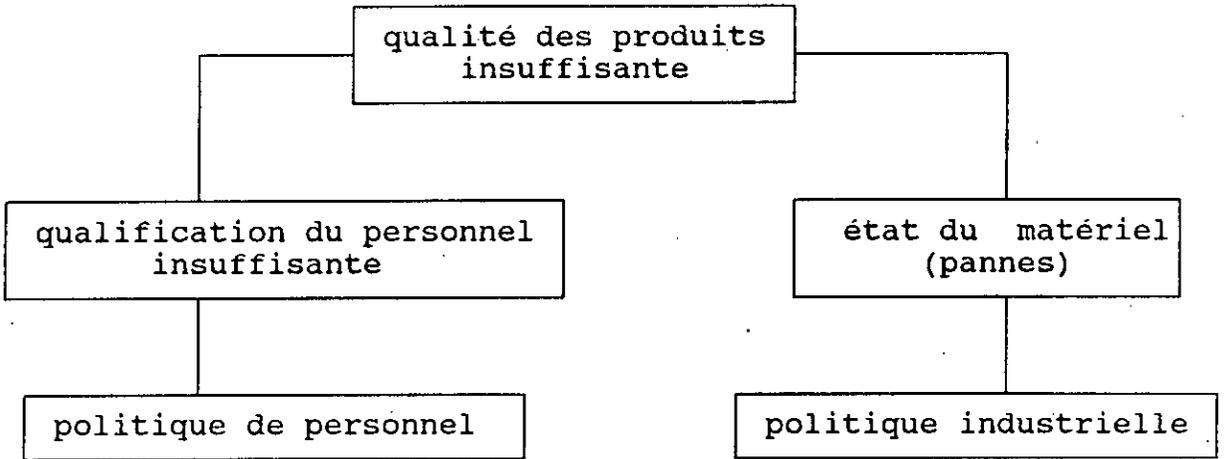
Dans un premier temps, nous avons dégagé les variables clés de la fonction production, à partir des objectifs de celle-ci. Ces variables clés concernent la qualité, les coûts, les stocks et les délais. S'agissant des deux dernières nous les avons regroupées en une seule. En effet, les stocks ne peuvent baisser sans une réduction des délais, et réciproquement pour que les délais puissent diminuer, il faut pouvoir enchaîner plus rapidement les opérations de production [BARA87].

Dans un deuxième temps, nous avons cherché les causes et effets d'inefficacité de chacune des variables clés. Enfin, et par l'aide des travaux déjà entrepris par les chercheurs nous avons représenté les relations entre les différentes variables sous forme de branches d'arborescence avant de les transcrire dans la base de connaissances.

EXEMPLE 1:



EXEMPLE 2:



### 5.3. ORGANISATION ET UTILISATION DE LA CONNAISSANCE.

[La connaissance de S.A.D.I est exprimée sous forme de règles de production propres à GURU.

Une règle de production GURU est de la forme:

RULE: <nom de la règle>

COMMENT :<commentaire> (il est en option)

READY :<instructions>  
(elle spécifie les actions à exécuter avant l'évaluation de sa condition)

IF :<prémisse>

NEEDS :<vars>  
(cette clause, reliée à la prémisse, est en option. Vars est une collection d'une ou plusieurs variables qui sont nécessaires à l'évaluation de la prémisse.)

TEST :<code>  
(cette clause est en option, elle indique la stratégie à employer pour tester la prémisse).

THEN :<actions>

CHANGES :<vars>  
( cette clause est en option et reliée à la clause THEN. "Vars" est un ensemble d'une ou plusieurs variables dont les valeurs changent, si la règle est tirée.)

PRIORITY :<num>  
(elle est en option. L'entier "num" prend des valeurs entre 1 et 100. Il indique la priorité de la règle. Il sert à fixer l'ordre des parcours.)

COST :<num>  
(Comme la clause précédente, l'entier "num" indique le coût relatif de la règle exemple : temps d'exécution).

REASON: :<Text>  
(Elle est en option. "Text" est la raison qui sera affichée pendant ou après la consultation.)

D'une manière générale, une règle GURU a la forme d'une règle classique:

SI < PREMISSE >                    ALORS            < ACTION >

Chaque prémisses est une conjonction de variables exprimant une condition à la réalisation des actions figurant dans la règle.

Une variable est un fait qui, à un instant donné du raisonnement, caractérise l'état de l'entreprise. Elle peut être une donnée de l'interrogatoire, un symptôme déduit au cours du raisonnement, ou encore un diagnostic établi (une recommandation). Au cours du dialogue (de saisie), les valeurs des variables sont fixées afin de permettre au système de mener son raisonnement.

Une action peut être soit une mise à jour d'une variable, soit une mise à jour de la base de faits, soit une mise à jour de l'agenda des buts, soit une consultation d'une autre base de règles.

#### EXEMPLES DE REGLES:

RULE: SR3

IF:            (tcv>10) and /  
              ( (tvib="en baisse") or (tvib="stagne")) and/  
              ( tveff="en hausse")

THEN:        etat = "Satisfaisante, sauf pour la /  
              productivité des équipements"  
              Ecas =2

REASON:

Si le taux de croissance des ventes est supérieur à 10%, et l'évolution du rapport "ventes/immobilisations" est en baisse, et l'évolution du rapport "effectifs/ventes" est en hausse ou bien stagne, Alors la situation de l'entreprise est satisfaisante, sauf pour la productivité de l'équipement.

RULE: QU011

IF: matériel="mauvais"  
THEN: symptôme=("Production de mauvaise qualité,/  
"augmentation du taux de rebut")

REASON:  
Si le matériel est en mauvais état alors on a les  
symptômes suivants: production de mauvaise qualité et  
une augmentation du taux de rebut.

RULE: QU12

IF: symptôme=("goulot d'étranglement",/  
non respect des délais",/  
perturbation des chaînes de/  
productions")  
THEN: recom+=("-Faire le contrôle de qualité avant  
que les pièces ne passent par les goulots",/  
"-Améliorer la productivité des goulots",/  
"-Localiser les ouvriers ou les postes de /  
travail qui ont un excédent de capacité")  
NEEDS: symptôme  
CHANGES: recom

RULE: CR1

IF: Efinance=true and rfinance=false and Ecas=0 /  
and erentabilité= false  
THEN: Diag=("Défaillance d'un client",/  
"Mauvaise rentabilité", "capacité  
d'emprunt réduite", "problème financement")  
Sit=" entreprise vulnérable"

REASON:  
Si l'entreprise fait appel aux financements externes et  
ne dispose pas de réserves financières, elle risque  
d'avoir des pertes sur le marché ou bien la défaillance  
d'un client.

## 5.4. LA BASE DE CONNAISSANCES DU SYSTEME S.A.D.I.

La base de connaissances S.A.D.I. est représentée par un ensemble de règles de production. Ce dernier est divisé en quatre sous-bases (figure 5.4.).

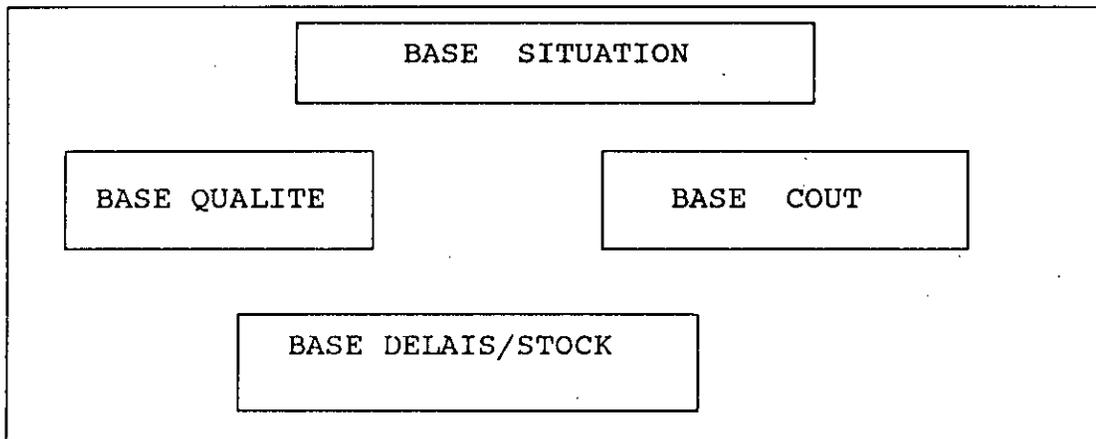


Figure 5.4. BASE DE CONNAISSANCES S.A.D.I.

Les quatre sous-bases seront invoquées par le moteur d'inférences GURU en chaînage arrière afin d'établir le diagnostic.

### 5.4.1 LA BASE SITUATION :

C'est la première base consultée par le moteur. Elle porte sur l'évaluation de l'activité production au sein d'une entreprise. Cette évaluation se base sur les variations de trois éléments [FRED89]:

- Taux de croissance des ventes (dont le seuil est de 10%).
- Ratio VENTES/IMMOBILISATION BRUTES.
- Ratio VENTES/EFFECTIFS.

Pour chaque valeur prise, une appréciation possible sur l'état de l'entreprise, en termes d'activité de la fonction production, est donnée par le système.

EXEMPLE:

SI le Taux de croissance des ventes > 10%  
et  
l'évolution du ratio (Ventes/Immobilisation  
brutes) est croissante  
et  
l'évolution du ratio (Ventes/effectifs) est  
croissante  
ALORS  
La situation est globalement satisfaisante.

SI le taux de croissance des ventes > 10%  
et  
l'évolution du ratio (Ventes/Immobilisation  
brutes) est croissante  
et  
l'évolution du ratio (Ventes/effectifs) est  
stagnante ou décroissante  
ALORS  
La situation est satisfaisante sauf pour la  
productivité des effectifs.

5.4.2 LA BASE QUALITE :

Nous avons regroupé deux types de règles: les règles  
symptômes et les règles recommandations.

Les règles symptômes représentent les causes et effets  
d'une mauvaise qualité dans la production.

EXEMPLES DE REGLES SYMPTOMES:

REGLE : SI le niveau de qualification n'est pas bon  
ou machines en mauvais état  
ALORS  
symptôme=( production de mauvaise qualité )

REGLE : SI il y a constatation d'une augmentation de  
consommation des matières premières  
ALORS  
symptôme=(- contrôle de qualité insuffisant  
à la réception des marchandises;  
- Qualité de matière première livrée  
est irrégulière;  
- Equipement en mauvais état )

#### EXEMPLE DE REGLES RECOMMANDATIONS:

REGLE : SI la production est de mauvaise qualité  
et  
Il y a constatation d'augmentation du taux de  
rebut  
ALORS  
Recommandations:  
- Revoir les méthodes de gestion;  
- Revoir la maintenance;  
- Suivre l'évolution technologique sans  
attendre l'usure ou la casse des machines.

#### 5.4.3. LA BASE COUT :

Nous ne pouvons dire qu'elle constitue une base d'analyse financière de tous les coûts. En effet, elle ne regroupe que quelques règles qui touchent la production directement à savoir: des règles sur l'équilibre de la trésorerie et de rentabilité.

Les règles de trésorerie portent essentiellement sur l'analyse du fonds de roulement (FR) et les besoins en fonds de roulement (BFR).

Les règles de rentabilité portent sur les coûts variables d'activités et sur les frais de stockage.

#### EXEMPLE DE REGLES:

REGLE : SI les charges fixes s'accroissent  
et les pertes s'accumulent  
ALORS  
Le FR diminue  
Les fournisseurs exigent d'être payés plus  
rapidement d'où une augmentation du BFR.

REGLE : SI FR est élevé  
et l'entreprise est en cas de récession  
ALORS  
l'entreprise dispose d'une sécurité financière  
notable.

Les figures 5.4.3.a et 5.4.3.b schématisent le contenu de la base coût, dans le cas d'une constatation d'une baisse de trésorerie ou de rentabilité.

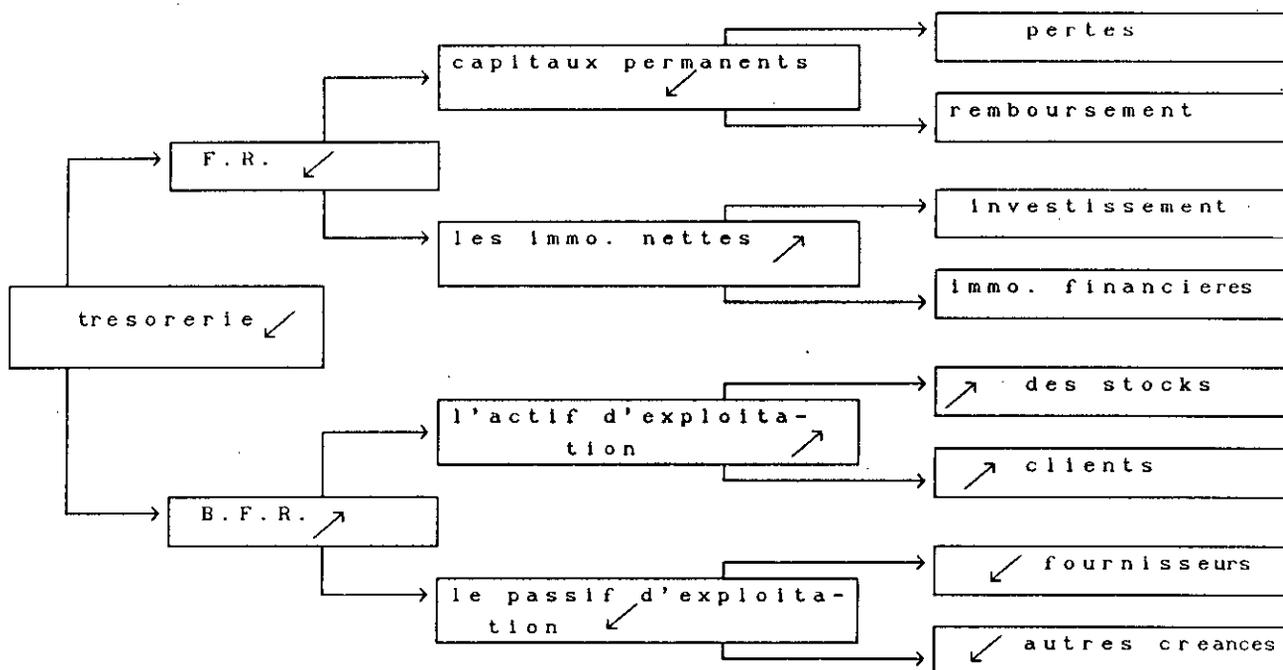


Figure 5.4.3.a diagnostic d'une baisse de trésorerie

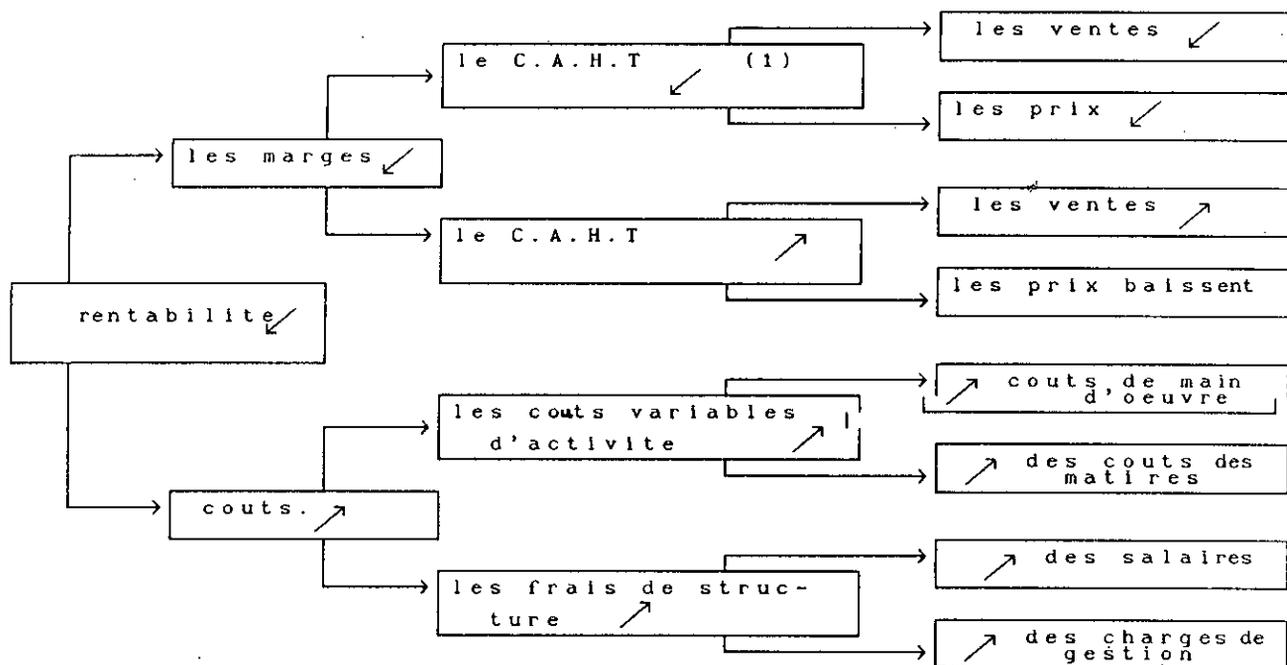


Figure 5.4.3.b Diagnostic d'une baisse de rentabilité

(1) C.A.H.T. : Chiffre d'Affaire Hors Taxe

#### 5.4.4. LA BASE STOCK/DELAIS :

Comme pour les autres bases, nous avons regroupé les indicateurs de l'évolution des stocks, tels que le taux de rotation des stocks, le niveau de stock et les délais de production.

##### EXEMPLES DE REGLES:

REGLE : SI La rotation des stocks  $\geq$  24  
ALORS Les délais de production sont respectés

REGLE : SI Stock très élevé  
ALORS  
- Trop d'ouvriers ou ouvriers travaillent beaucoup.  
- Mauvaise gestion des stocks.

REGLE : SI machines non harmonisées  
ALORS Goulot d'étranglement.

REGLE : SI Goulot d'étranglement  
ALORS Accroissement des stocks et des délais.

#### 5.4.5. LES META-CONNAISSANCES :

Les méta-connaissances sont des connaissances sur la manière d'utiliser les connaissances. Elles ne forment pas une classe à part; elles sont données en vrac avec les autres connaissances sous formes de règles de production. Elles diffèrent généralement des autres règles par la présence de méta-operations.

Exemple:

SI la situation financière de l'entreprise  
est peu satisfaisante  
Alors Consulter(la base coût)  
↑  
Méta-opération

Un ensemble de méta-connaissances écrite sous formes de règles de production est appelé "Meta-rgles".

Les méta-règles permettent d'exprimer le fait que nous voulons que certaines règles soient considérées en premier lieu, en dernier lieu, avant une autre classe de règles ou pas du tout.

La base situation de notre système S.A.D.I. constitue un ensemble de méta-règles. En effet, suivant la valeur de la variable "ECAS", le système consultera l'une des bases coût, qualité, ou stock/délais.

Une autre manière d'écrire les méta-règles est offerte par GURU. Pour cela, GURU dispose d'un ensemble de variables d'environnement, et des options pour chaque règle, pour que l'utilisateur puisse écrire ses méta-règles.

Ci-dessous les clauses qui permettent la transcription d'une règle en une méta-règle :

PRIORITY :<num>  
(elle est en option. L'entier "num" prend des valeurs entre 1 et 100. Il indique la priorité de la règle. Elle sert à fixer l'ordre des parcours.)

COST :<num>  
(Comme la clause précédente, l'entier "num" indique le coût relatif de la règle exemple : temps d'exécution).

Par exemple nous pouvons donner aux règles qui produisent les commentaires généraux une priorité supérieure que celles qui produisent les commentaires de détail. Et à coefficient égal c'est l'ordre de création chronologique des règles dans la base qui sera pris en compte.

## 5.5. LE MODULE D'ACQUISITION DES CONNAISSANCES :

Le module d'acquisition des connaissances permet à notre système S.A.D.I d'améliorer ses conseils, d'évoluer en fonction du domaine d'étude, et multiplier ses applications.

Le générateur GURU nous fournit un moyen de gérer la base des règles, à savoir acquérir de nouvelles règles, enlever certaines et mettre à jour d'autres. Pour ce faire deux approches sont possibles.

La première approche est la gestion des règles par traitement de texte, la seconde approche permet la gestion de la base des règles par menu.

### 5.5.1. GESTION DE LA BASE DES REGLES PAR TEXTE :

Pour écrire une base des règles ou bien la modifier, GURU dispose d'un traitement de texte propre à lui. Pour y accéder il suffit de taper la commande suivante:

```
GURU> TEXT <NOM DE FICHER.RSS>
```

Où NOM DE FICHER représente le nom de la base des règles.

Une fois dans l'éditeur le développeur peut écrire ses règles en respectant la syntaxe des règles propre à GURU (Cf 5.3.).

### 5.5.2. GESTION DE LA BASE DES REGLES PAR MENU :

Cette approche, différente de la précédente, présente au concepteur une interface par menu. Ce dernier, pour écrire sa base des règles doit appeler ce menu en tapant la commande suivante:

```
GURU> BUILD
```

[En exécutant cette commande un menu apparait à l'écran et le développeur sera guidé pour l'écriture de sa base. Notons que dans cette approche la connaissance de la syntaxe des règles n'est pas nécessaire.

Une fois l'écriture de la base est achevée le développeur est appelé a compiler sa base dans le but de générer une version qui puisse être traitée par le moteur. La compilation de la base des règles se fait en tapant la commande suivante :

**GURU> COMPILE <NOM DE FICHER>**

L'effet de la compilation donnera une nouvelle version de la base, cette dernière aura pour extension ".RSS".

[La compilation est obligatoire quelque soit l'approche adoptée. En effet, lors de la compilation GURU détecte certaines incohérences, ainsi que les erreurs de syntaxe et de logique.

[La seconde approche est plus appropriée aux développeurs non programmeurs.

## 5.6. L'INCERTAIN DANS S.A.D.I :

Dans la plupart des cas, les experts font appel, dans leur processus de raisonnement et de décision à des règles approximatives entachées d'un coefficient de certitude.

GURU permet au développeur de représenter cette information incertaine au moyen des variables d'environnement. Ces variables sont : E.CFJO, E.CFCO, E.CFVA.

Les deux premières variables concernent le selectionnement de l'algèbre dont fera usage le moteur pour calculer les facteurs de certitude d'expressions. Cette certitude dépend de trois choses :

- Facteurs de certitude des valeurs de variables utilisées pour évaluer l'expression.
- Type des opérateurs spécifiés dans l'expression (ou/et).
- L'algèbre de facteurs de certitudes utilisée.

### 5.6.1. ALGEBRE DE FACTEURS DE CERTITUDE COMMUNE :(ET)

Elle concerne l'opérateur "et". Elle est contrôlée par la variable "E.CFJO", qui prend les valeurs suivantes:

"M": methode du minimum	⇒ $\text{Min}(X, Y)$
"P": methode du produit	⇒ $P = (X * Y) / 100$
"A": methode de la moyenne	⇒ $(\text{Min}(X, Y) + P) / 2$
"B": methode de Bonczek-Eagin	⇒ $(P) * (2 - \text{Max}(X, Y) / 100)$

Cette Variable est utilisée pour calculer la certitude de deux premisses commune c'est-à-dire reliées par la conjonction "ET". Le facteur de certitude globale de la prémisses n'excède pas celui de la condition la moins certaine. Par défaut la valeur de la variable E.CFJO est "M".

## 5.6.2. ALGEBRE DE FACTEURS DE CERTITUDE CONFIRMATIVE :(ou)

Dans ce cas il suffit qu'une condition soit vraie pour que la prémisse le soit. La certitude globale de la prémisse est au moins aussi grande que celle de la plus certaine des deux conditions vraies.

Comme pour le cas de la certitude commune, le moteur calcule automatiquement au cours de la consultation les facteurs de certitude confirmative.

La variable d'environnement "E.CFCO" contrôle le choix des méthodes de calcul des facteurs.

"M": maximum  $\Rightarrow \text{Max}(X, Y)$   
"P": probabilités  $\Rightarrow (X+Y)-(X*Y)/100$   
"A": moyen  $\Rightarrow (\text{Max}(X, Y) + (X+Y)-(X*Y)/100)/2$   
"B": Bonczck-Eagin  $\Rightarrow \text{Max}(X, Y) + ((X*Y)/100 * (1 - \text{Max}(X, Y)/100))$

Par défaut c'est la méthode du maximum qui est prise en compte c'est-à-dire la valeur "M".

Les règles de notre système S.A.D.I ne sont pas toutes entachées d'un facteur de certitude. Par défaut la valeur du facteur de certitude est de 100.

### EXEMPLE DE REGLES ENTACHEES DE CERTITUDE:

Si

l'entreprise est rentable et  
n'augmente pas son FR en plus elle s'appuie sur les  
concours bancaires à court terme pour assurer sa  
trésorerie

Alors

toute restriction de ces concours ou allongement des  
délais de recouvrement de ses créances la contraint à  
déposer son bilan. CF 80

Si

L'entreprise est placée sur un marché en déclin ou bien elle n'a pas renouvelé sa gamme de produit

Alors

elle risque d'avoir un déséquilibre financier. CF 60

Si

L'entreprise est jeune et elle a une croissance très rapide du CA

Alors

risque d'un déséquilibre financier. CF 90

Notons que les facteurs de certitudes de toutes les règles du système S.A.D.I peuvent changer au cours des tests de validation auprès de l'expert. Aussi pour une première écriture des règles les facteurs certitudes étaient tous fixés à 100, mais après la première validation certaines des règles ont eu leur CF diminué. De plus chaque expert à son propre degré de certitude qu'il juge juste.

MISE-EN-OEUVRE DE  
S.A.D.I.

## 6. MISE EN OEUVRE DE S.A.D.I

### 6.1. INTERFACE DE COMMUNICATION AVEC L'UTILISATEUR :

Un système expert n'est pas seulement un moteur d'inférences, c'est surtout les connaissances dont il dispose et son environnement, à savoir le module d'acquisition des nouvelles règles (cf 5.5) et le module de dialogue.

Le module de dialogue est l'intermédiaire entre la base de connaissances, le moteur et l'utilisateur. Il doit permettre des échanges aussi proches que possibles du langage naturel pour que l'utilisateur ne soit pas obligé de suivre une syntaxe prédéfinie.

Aussi, par l'intermédiaire de son interface notre système S.A.D.I. va alors au fur et à mesure du déroulement de la session de consultation, demander à l'utilisateur les faits demandables qui lui seraient utiles pour développer son raisonnement et prouver le but cherché.

Pour l'écriture de l'interface de notre système S.A.D.I., nous avons utilisé le langage de programmation intégré de GURU comme outil de construction de cette interface. Nous avons inclus également dans notre programme d'interface certaines commandes de GURU: telles que la gestion des formes, et des fonctions de construction de menus.

L'exécution de ce programme d'interface invoquera l'une des bases suivant le choix de l'utilisateur. Cette invocation des bases se fait suivant des stratégies de raisonnement fixées par des variables d'environnement, propres à GURU, au sein même de la base des règles.

## 6.2. LES STRATEGIES DE RAISONNEMENT

GURU permet plusieurs types de stratégies de raisonnement telles que:

- La rigueur du raisonnement.
- L'ordre de sélection de règles.
- La stratégie d'évaluation de la prémisse.

### 6.2.1. LA RIGUEUR DE RAISONNEMENT :

Un expert humain peut, lors de son raisonnement sur un problème, utiliser rigoureusement toute l'expertise dont il dispose pour aboutir à une recommandation. En revanche, le même expert pourra fournir moins d'efforts pour résoudre un autre problème, en s'arrêtant dès qu'il est capable de donner un avis.

Le contrôle de la rigueur du moteur de GURU, lors de la prise en considération des règles, se fait par le biais de la variable d'environnement "E.RIGR". Suivant la valeur que nous lui associons, le moteur peut décider du moment où il cessera de considérer de nouvelles règles. [HOLS86]

Trois valeurs de choix sont permises pour la variable "E.RIGR":

- "A": Rigueur absolue. Le moteur tire toutes les règles pertinentes qui peuvent être tirées.
- "M": Rigueur minimale. Le moteur ne tire plus de règles lorsque le degré de certitude de celles-ci dépasse une valeur seuil.
- "C": Rigueur réfléchie. Le moteur considère les règles restantes lorsque le degré de certitude excède la valeur seuil et tire toutes les règles ayant une prémisse vraie.

Dans le cas du système S.A.D.I, la variable de contrôle de rigueur a la valeur "A".

### 6.2.2. L'ORDRE DE SELECTION DES REGLES :

Lors de son raisonnement sur un problème donné, le moteur d'inférences doit sélectionner et traiter les règles dans un certain ordre. Cet ordre peut avoir un effet sur la vitesse avec laquelle l'avis est donné et sur la nature effective de cet avis.

Le moteur d'inférences GURU examine les règles concurrentes suivant un ordre de sélection spécifique contrôlé par la variable d'environnement "E.SORD".

La valeur que prend cette variable est composée d'un ou plusieurs codes. Chacun indique un critère particulier de sélection. Si l'on spécifie plus d'un code à "E.SORD", c'est le premier qui a la priorité puis le second et ainsi de suite.

Les différents codes sont comme suit:

F: Sélectionner la première règle dans l'ordre de la base des règles.

P: Sélectionner la règle qui a la plus haute priorité.

C: Sélectionner la règle dont l'action est la moins coûteuse.

U: Sélectionner la règle ayant le moins de variables inconnues dans la prémisse.

H: Sélectionner la règle dont l'action donnera le plus grand facteur de certitude.

R: Sélectionner une règle aléatoirement.

Le code "U" a été choisi pour l'ordre de sélection des règles de notre système.

### 6.2.3. LA STRATEGIE D'EVALUATION DE LA PREMISSE :

GURU traite les inconnues d'une prémisse de gauche à droite. Si le développeur désire utiliser une autre séquence d'évaluation, GURU met à sa disposition pour chaque règle une clause NEEDS (besoin) qui lui permet de spécifier l'ordre d'évaluation des variables.

La stratégie d'évaluation de la prémisse est spécifiée à l'aide de la variable d'environnement "E.TRYP".

Les différentes valeurs que peut prendre cette variable sont comme suit:

S: Strict. Le moteur abandonne l'évaluation dès que la valeur d'une variable ne peut être déterminée.

P: Patient. Le moteur essaie de déterminer les valeurs de toutes les variables inconnues.

E: Pressé. Le moteur évalue les conditions après que chaque variable inconnue soit devenue connue et cesse de tester dès que la prémisse est fausse ou connue.

La stratégie d'évaluation de la prémisse de notre système a la valeur "S".

Les variables de contrôle du raisonnement peuvent être fixées de manière interactive. Ainsi GURU donne une certaine liberté dans la mise au point du comportement de son moteur au cours de son raisonnement. Ceci permet au développeur d'étudier les effets de différents choix de paramètres au cours de la validation.

De tels ajustements peuvent aider le développeur à construire un système dont les conseils seraient plus proches de ceux d'un expert humain. Ils peuvent également lui permettre, à un stade avancé de validation, de régler le moteur d'inférences de façon à maximiser la vitesse des consultations.

### 6.3. LA CAPACITE D'EXPLICATION DE SON RAISONNEMENT

La capacité d'expliquer son raisonnement est une des qualités généralement souhaitées d'un système expert. En effet comme les experts humains, un système expert devrait pouvoir s'expliquer (expliquer son raisonnement).

Le fait de disposer d'une représentation des connaissances sous forme de règles de production , permet aisement au système "S.A.D.I" de montrer les inférences qu'il a faites successivement pour aboutir aux conclusions qu'il donne. Il puise les informations nécessaires de sa mémoire de travail (base des faits).

En vue de donner des explications sur son raisonnement, le système "S.A.D.I" peut à tout moment (de la phase de consultation) être interrompu par l'utilisateur. Les explications consistent généralement à montrer les règles utilisées et à expliquer le pourquoi des questions posées.

Le langage de programmation GURU, permet au système de s'expliquer pendant une consultation ou bien après une consultation.

#### 6.3.1. EXPLICATION AU COURS DE LA CONSULTATION:

Au cours d'une consultation le système peut demander à l'utilisateur une donnée d'un certain type. Ce dernier avant de répondre peut à son tour demander au système pourquoi il a demandé telle ou telle donnée.

Ainsi le système sera interrompu provisoirement pour fournir plus d'explications.

### 6.3.2. EXPLICATION APRES UNE CONSULTATION :

L'utilisateur peut, s'il veut le savoir, demander au système comment il est parvenu à l'avis rapporté.

GURU dispose de deux commandes à cette fin:

COMMENT : Pour voir comment a été déterminée la valeur trouvée. Le système répond qu'elle a été déterminée par la suite du déclenchement d'un certain ensemble de règles dont il donne le nom.

POURQUOI : L'utilisateur peut demander pourquoi l'une des règles a été déclenchée (utilisée), ou bien pourquoi telle donnée a été utilisée ou demandée.

#### EXEMPLE D'EXPLICATION DU RAISONNEMENT DU SYSTEME "S.A.D.I.":

GURU> Diagnostic: La situation de l'entreprise est peu satisfaisante quant à la productivité des ressources mises en oeuvre.

GURU> Comment (\* utilisateur \*)

GURU> Règle utilisée SR7

GURU> POURQUOI "SR7" (\* utilisateur \*)

GURU> La règle SR7 a été tirée car :

Le taux de croissance des ventes est supérieur à 10%, et l'évolution des rapports V/IMM et V/eff est en baisse ou en hausse, de là on peut déduire que la situation est peu satisfaisante quant à la productivité des ressources mises en oeuvres.

variable	valeur
(1) % taux de croissance des vente	12
(2) V/IMM	stagne
(3) V/eff	baisse

GURU> pourquoi (2) (\* utilisateur \*)

GURU> (2) valeur donnée

...  
etc

## 6.4. LA VALIDATION DU MODELE.

### 6.4.1. INTRODUCTION :

En phase d'acquisition de connaissances c'est la compétence de l'expert que nous avons analysée afin de la modéliser. Au stade de la validation, c'est l'expertise du modèle qui est analysée, et non celle du spécialiste.

La validation a pour but de faire en sorte que les connaissances modélisées respectent le contenu réel de l'expertise tel qu'il a été recueilli auprès des experts consultés et des documents de recherches utilisés.

La validation d'un système expert de diagnostic, telle que décrite par le Professeur C.H.FREDOUET [FRED89], se mesure d'une part par la concordance entre l'expertise qu'il contient et celle des spécialistes. De nature expérimentale, cette concordance entre l'expertise modélisée et l'expertise réelle consiste à présenter à différents experts les résultats de diagnostics pratiqués par le système sur des cas d'entreprises qu'ils connaissent bien. Ensuite, il leur est demandé de faire ressortir les différences entre ce que le modèle fait et dit, et ce qu'eux mêmes auraient fait et dit sur le même cas. Suivant les différences signalées, la base de connaissances du système est corrigée et ajustée. Le processus est réitéré jusqu'à ce que les deux résultats (du système et de l'expert) concordent entre eux.

L'expert peut également corriger et valider la base de connaissances avant de procéder à la concordance des résultats théoriques ou réels.

D'autre part, le processus de validation doit mesurer l'aptitude du système à fournir une juste évaluation de la situation réelle d'une entreprise ou bien d'une de ses activités. Il s'agit de constituer deux échantillons d'entreprises, les unes en bonne santé et les autres en difficulté.

Le processus de validation consiste alors à calculer le nombre d'entreprises détectées par le modèle comme appartenant à chacun des deux échantillons. Ensuite, il recquiert d'établir les pourcentages d'entreprises en bonne santé ayant été classées par le système comme étant en mauvaise situation, et celui d'entreprises en mauvaise santé ayant été classées en bonne santé. Une représentation graphique de ces différentes valeurs donnera le profil de validation du système.

#### 6.4.2. VALIDATION DE "S.A.D.I.":

Dans le cas de notre système S.A.D.I. l'opération de validation a eu lieu une première fois auprès Mr BELAID de L'I.S.G.P (Institut Supérieur de Gestion et de Planification), et une deuxième fois par l'intermédiaire du Professeur C.H.FREDOUET de l'institut de gestion de Rennes. Des ajustements et corrections ont eu lieu, donc, au niveau de la base de connaissances.

Cette validation a eu lieu sur la base de connaissances de notre modèle S.A.D.I. avant l'exécution. D'autres étapes de validation sont envisagées, cette fois en mesurant les résultats donnés par le système avec ceux des spécialistes.

Avant la validation le nombre total des règles était de 130 règles répartis comme suit:

- Base situation                   ⇒ 59 règles
- Base qualité                    ⇒ 19 règles
- Base coût                        ⇒ 41 règles
- Base délais/stock               ⇒ 11 règles

Après validation, certaines règles ont été regroupées en une seule, d'autres ont été supprimées. La base délais/stock a été réduite à "3 règles" du faite qu'elle n'apporte pas grand chose à la maîtrise des problèmes de production. Aussi, nous avons envisagé de substituer la base stock/délais par une nouvelle base qui est la base "type de production". Cette nouvelle base est actuellement composée de 15 règles. Néanmoins cette dernière n'a pas encore été validée.

Nous avons donc réorganisé les bases, ce qui a donné un nombre total de règles de 50.

Une consultation d'un nombre important et varié de situations d'entreprise, augmente la validité du système. Celle-ci tente de détecter d'éventuelles lacunes, incohérences ou inexactitudes dans le processus de diagnostic modélisé.

Aussi, une phase de test intensif et extensif est nécessaire. Elle permet de faire la part des inévitables imperfections du processus d'acquisition des connaissances.

En effet, le spécialiste peut ne pas transmettre toute son expertise, volontairement ou non; il peut également mal formuler son savoir. Le cogniticien peut, lui aussi, mal enregistrer et/ou mal comprendre ce qui lui est dit ou écrit ou montré par l'expert.

## CONCLUSION ET SUGGESTIONS

A tout moment et intervalles plus ou moins longs et réguliers, l'entreprise a besoin de s'évaluer et de se situer, que ce soit vis à vis d'elle même ou vis à vis de son environnement, pour pouvoir assurer sa survie et décider de son avenir.

Le diagnostic d'entreprise constitue la phase clé du processus d'évaluation, dans la mesure où il doit aboutir à l'identification des problèmes qui sont à l'origine de toutes les difficultés. Compte tenu de son importance, il doit être soutenu par des techniques d'analyse aussi performantes que possible.

A cet égard, les systèmes experts ont été mis au service de l'aide au diagnostic d'entreprise afin de tenter d'élever le niveau des prestations offertes par les techniques classiques.

Nourris de la connaissance de plusieurs spécialistes dans un même domaine, des modèles experts ont ainsi été conçus, capables d'exploiter le contenu de leurs bases de connaissances afin d'analyser toute situation concrète susceptible d'être rencontrée dans l'entreprise.

Les systèmes experts de diagnostic permettent de représenter des processus d'évaluation d'entreprise dont l'évolutivité peut être facilement prise en compte. De tels systèmes regroupent des paramètres qualitatifs et quantitatifs. Ils peuvent être enrichis au gré et par la simple consultation des experts. Ainsi l'introduction de l'approche système expert dans le monde industriel nous mène à penser qu'il est possible de construire de véritables robots preneurs de décision. Cependant, la réalité de la vie organisationnelle et la complexité de l'univers des entreprises montrent que la gamme des décisions susceptibles d'être prises par ces robots est étroite. De plus, les processus décisionnels de type stratégique dépendent de la capacité intellectuelle de l'homme.

Aussi, nous pensons que la manière la plus efficace de pouvoir reproduire et représenter cette capacité humaine est l'amélioration des systèmes experts en permanence. A cet effet, il est important de dire que tout système expert doit être capable d'accroître ses connaissances et les mettre à jour, en d'autres termes capable de s'auto-informer de façon régulière, afin de modéliser le raisonnement humain d'une manière aussi fidèle et directe que possible. Ces propriétés définissent la raison d'être des systèmes experts, en particulier dans le domaine de la gestion des organisations.

Le travail que nous avons présenté nous a permis d'une part d'aborder un domaine d'actualité, à savoir l'Intelligence Artificielle, à travers l'une de ses applications les plus prometteuses que sont les systèmes experts. D'autre part, les entrevues avec les dirigeants et spécialistes de diagnostic nous ont été d'un apport très bénéfique.

Ainsi, nous avons, par le biais de notre travail voulu introduire au sein des entreprises Algériennes une nouvelle technique tant qualitative que quantitative qui permettra aux dirigeants et chercheurs, d'une part de transmettre le plus efficacement possible leur savoir à l'ensemble du personnel de l'entreprise, et ceci dans les délais les plus courts possibles. D'autre part, de se libérer de certaines tâches devenues routinières afin de consacrer plus de temps à enrichir leur savoir par de nouvelles connaissances.

Notre système S.A.D.I. présente les avantages d'un système de règles de productions concernant la modularité de l'expression de la connaissance et la facilité d'explication de sa démarche. De plus, l'interface en jargon des entreprises et le temps de réponses du système, laissent à penser que celui-ci pourrait être utilisé en routine. Toutefois, cette phase n'est envisageable qu'après avoir évalué de manière approfondie la compétence du système. Ce qui nécessite une période d'essai afin de valider totalement les choix qui ont été faits.

A cet égard, nous ne pouvons prétendre avoir réalisé un système expert performant sur tous les plans. Toutefois, sans remettre en cause les principes de base qui nous ont guidé dans l'écriture de S.A.D.I. il est possible d'envisager un certain nombre d'extensions et d'améliorations à apporter telles que:

- l'introduction de facteur de certitude (CF) pour rendre la représentation des connaissances plus puissante,
- un module d'aide au maintien de la cohérence de la connaissance,
- une interface en langage naturel, plus performant, en introduisant un dictionnaire propre au système,
- l'implémentation des métarègles, afin d'améliorer le temps de réponse (temps de calcul),
- un module d'auto-apprentissage automatique.

Ce module vise plusieurs objectifs pour en dériver un outil pédagogique de formation. Tout d'abord, disposant d'une base de données et d'un système de règles déjà assez performant on veut que le système soit à même de juger si l'apport d'une nouvelle règle est bénéfique ou pas. Un autre objectif est de donner au système la possibilité d'engendrer automatiquement des règles.

## BIBLIOGRAPHIE

## BIBLIOGRAPHIE

- [ALLE89] ALLEN M.K.  
"Intelligence Artificielle et logistique futur",  
l'entreprise logistique, Nx5, Hiver 88/89,  
Pages 9-17,
- [BAGL88] BAGLIN G., GARREAU A.,  
"Le diagnostic Industriel",  
HEC / ISA , 1988,
- [BASS83] BASSAL F.,  
"L'autodiagnostic détaillé de votre entreprise:  
La production",  
INP, CANADA, 1983,
- [BASS83] BASSAL F.,  
"L'autodiagnostic détaillé de votre entreprise:  
La direction générale",  
INP, CANADA, 1983,
- [BEDO85] BEDOIN N.,  
"Formalisme-objet et psychologie cognitive",  
L.E.A.C.M, Laboratoire d'Enregistrement et d'Analyse  
des Comportements et Messages,  
1985,
- [BENC86] BENCHIMOL G.,  
"Les systèmes experts dans l'entreprise",  
HERMES, 1986,
- [BHTN86] BONNET A., HATON J.P., TROUNG NGOC J.M.,  
"Systèmes experts vers la maîtrise technique",  
INTER-ÉDITION, 1986,
- [BOIS90] BOISANGER P., CORKSI D., ESTRANGIN B.,  
"Systèmes experts: pour qui ? Pourquoi",  
DIRECTION ET GESTION DES ENTREPRISES,  
Nx125 / 1990, Pages 29-38,
- [BONN84] BONNET A.,  
"L'intelligence Artificielle promesse et réalisation",  
INTER-ÉDITION, 1984,

- [BRAV86] BRAVARD J.,  
*"L'évaluation des entreprises"*,  
DUNOD, 1986,
- [BRIL88] BRILMAN J., MAIRE C.,  
*"Manuel d'évaluation des entreprises"*,  
EDITIONS D'ORGANISATION, 1988,  
DON DU CODESRIA
- [BROW78] BROWN G.,  
*"Le diagnostic d'entreprise"*,  
EDITION MODERNE D'ENTREPRISE (E.M.E), 1978,
- [BUIS87] BUISINE L.,  
*"Intelligence Artificielle et Diagnostic d'entreprise"*,  
Université de LILLE 1, 1987,
- [CAPE86] CAPET M.,  
*"Diagnostic, Organisation, Planification d'Entreprise:  
D.O.P.E."*, TOME 1,  
EDITION ECONOMICA, 1986,
- [CHAT88] CHATAIN N.,  
*"Introduction aux systèmes experts"*,  
C.I.R.I.L.L.E., AFCET LYON, 1988,  
Pages I-1, I-26
- [DARB88] DARBELET M.,  
*"Les méthodes du diagnostic"*,  
LES CAHIERS FRANCAIS, Nx234, Jan-Fév, 1988,  
Pages 5-9,
- [DUBO86] DUBOIS D., PRADE H., TESTEMALE C.,  
*"Traitement des informations incertaines et imprécises  
en raisonnement approché"*, Document de cours,  
E.N.S.E.E.I.H.T., TOULOUSE, 1986,
- [DUPU89] DUPUIS S.L.,  
*"Les systèmes experts dans le champ de l'intelligence  
Artificielle"*,  
L'ENTREPRISE LOGISTIQUE, Nx5, Hivers 1988/1989,  
Pages 20-38,

- [FABB89] FABBE-COSTES N.,  
"Les systèmes experts de diagnostic technique:  
Opportunité d'utilisation et contraintes de  
ralisation",  
L'ENTREPRISE LOGISTIQUE, Nx5, Hivers 1988/1989,  
Pages 63-84,
- [FARR85] FARRENY H.,  
"Les systèmes experts principes et exemples",  
CEPADUES-EDITIONS, 1985,  
DON DU CODESRIA
- [FEIG84] FEIGENBAUM E.,  
"La cinquième Génération: Le pari de l'intelligence  
Artificielle l'aube du 21è siècle",  
INTER-EDITION, 1984,
- [FREC88] FRECON L.,  
"La représentation des connaissances",  
C.I.R.I.L.L.E., AFCET LYON, 1988,  
Pages II.1-II.40,
- [FRED89] FREDOUET C.H.,  
"Le diagnostic d'entreprise: La solution système expert"  
INSTITUT DE GESTION DE RENNES, 1989,
- [GALL85] GALLAIRE H.,  
"La représentation des connaissances",  
LA RECHERCHE SPECIAL Intelligence Artificielle,  
Nx 170, Octobre 1985, Volume 16,  
Pages 1240-1251,
- [GAN85] GANASELS J.G.,  
"La conception des systèmes expert",  
LA RECHERCHE SPECIAL Intelligence Artificielle,  
Nx170, Octobre 1985, Volume 16,  
Pages 1142-1151,
- [GHAL89] GHALEB M., FARRENY H.,  
"Eléments d'Intelligence Artificielle",  
HERMES, 1989,  
DON DU CODESRIA
- [GOLD86] GOLDRATT E.M., COX J.,  
"Le but: L'excellence en production",  
AFNOR GESTION, 1986,  
DON DU CODESRIA

- [GOND84] GONDRAN M.,  
"Introduction aux systèmes experts",  
EYROLLES, 1984,
- [GOUB89] GOUBLIN G., MATHE E.,  
L'entreprise Logistique, N°5, Hivers 1988/1989,
- [GROS88] GROSS L.,  
"Extraction des connaissances",  
C.I.R.I.L.L.E., AFCET, LYON, 1988,  
Pages VIII-1, VIII-10,
- [HOLS86] HOLSAPPLE C.W., WHINSTON A.B.,  
"GURU, L'utilisation des systmes experts dans  
l'entreprise",  
COLLECTION HOMMES ET TECHNIQUE, 1986,
- [JACO86] JACOTEY C.L.,  
"Principes et techniques d'évaluation des entreprise",  
DELMAS & CIE, 1986,
- [KAYS85] KAYSER D.,  
"Examen de diverses méthodes utilisées en représentation  
des connaissances",  
E.R.A., Laboratoire de recherche en informatique,  
Paris, 1984/1985,
- [KOEI85] KOEING G.,  
"des symptômes aux remèdes",  
REVUE FRANCAISE DE GESTION, Jan-Fév 1985,  
Pages 85-92,
- [LAUR82] LAURIERE J.L.,  
"Représentation et utilisation des connaissances",  
TSI, Volume 1, Nx1 et Nx2, DUNOD, 1982,
- [LAUR86] LAURIERE J.L.,  
"Intelligence Artificielle: Resolution de problèmes  
par l'homme et la machine",  
EYROLLES, 1986,
- [LEP 90] LEP B.,  
"Dossier L'intelligence Artificielle",  
PC Informatique, Nx1, MARS 1990,  
Pages 103-114,

- [LES085] LESOURNE J.,  
"Analyse microéconomique", TOME 1,  
EDITION E.S.T, 1985,
- [MATH87] MATHE J.C.,  
"Politique générale de l'entreprise:  
Analyse et management stratégique",  
EDITION ECONOMICA, 1987,
- [MEYE72] MEYER J.,  
"Objectifs et stratégie de l'entreprise",  
DUNOD, 1972,
- [MINZ82] MINTZBERG H.,  
"Structure et dynamique des organisations",  
EDITIONS D'ORGANISATION, 1982,  
DON DU CODESRIA
- [NAVA78] NAVARRE C.,  
"Contribution à une étude théorique du diagnostic  
d'entreprise",  
THESE D'ETAT SCIENCES DE GESTION,  
Université de LILLE, GRENOBLE, 1978,
- [PAIL85] PAILLUSEAU I., PETITEAU G.,  
"Les difficultés des entreprises",  
COLLECTION U, 1985,
- [PRAD85] PRADE H.,  
"Comment prendre en compte les aspects approximatifs  
du raisonnement humain dans les systèmes experts",  
E.N.S.E.E.I.H.T., Université Paul SABATIER,  
TOULOUSE, 1985, (Note de cours)
- [PINS81] PINSON S.,  
"Représentation des connaissances dans les systèmes  
experts",  
R.A.I.R.O. Informatique, Volume 15, Nx4, 1981,  
Pages 343-367,
- [QUIB87] QUIBEL J.,  
"Etre un décideur avec les nouvelles technologies",  
INTER-EDITION, 1987,

- [QUIB89] QUIBEL J.,  
"Les systèmes experts dans l'entreprise :  
pourquoi, comment?"  
LES EDITIONS D'ORGANISATION, 1989,
- [RICH87] RICH E.  
"L'Intelligence Artificielle",  
MASSON, 1987,  
DON DU CODESRIA
- [SOLV89] SOLVING,  
"L'entreprise performante",  
EDITIONS D'ORGANISATION, 1989,  
DON DU CODESRIA
- [STRASS] STRATEGOR,  
"Stratégie, Structure, Décision, Identit,  
Politique Générale d'entreprise",  
INTER-EDITION, 1988,  
DON DU CODESRIA
- [TALI88] TALI MAAMAR D., REMAKI Z.,  
"Realisation d'un système experts d'aide au  
diagnostic médical",  
Projet de fin d'étude d'ingénieur d'état,  
U.S.T.H.B., Institut d'informatique, 1988
- [THEO87] THEORET A.,  
"Le diagnostic d'entreprise: de l'expertise aux  
systèmes experts",  
Université de Sherbrooke, CANADA, 1987,
- [THIB89] THIBAUT J.P.,  
"Le diagnostic d'entreprise: Guide pratique",  
SEDIFOR, 1989,
- [YVRA89] YVRAI F.,  
"Approche informatique de l'évaluation d'entreprise",  
MASTER HEC-EBTREPNEUR, 1988/1989,

# ANNEXES

ANNEXE A : - CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES  
METHODES DE DIAGNOSTIC.

ANNEXE B : - LE SCORING STATIQUE.

ANNEXE C : - RECAPITULATION DES SYSTEMES  
EXPERTS EXISTANTS.

- OUTILS POUR SYSTEMES EXPERTS.

ANNEXE D : - LA LOGIQUE DES PROPOSITIONS.

- ENSEMBLES FLOUS ET LOGIQUE FLOUE.

ANNEXE A

CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES METHODES DE DIAGNOSTIC  
[NAVA78]

	G. BROWN	BOYCE & REID	RAZEL & REID
Finalité du diagnostic	Points forts Points faibles	Découverte des dysfonctionnements latents.	Prise de conscience du chef d'entreprise.
Caractéristiques	Analogie avec la médecine	Analogie implicite avec la médecine	Psychologie individuelle
Domaine d'application	Toute l'entreprise, passé, présent, fonctions	Toute l'entreprise	Toute l'entreprise & sa relation avec le chef d'entreprise
Modèle de référence	Statique comparative- Equilibres successifs	Modèle biologique	Entreprise individuelle comme patrimoine
Qui met en oeuvre la méthode ?	Un mélange de consultants & de cadres	Les cadres	Le chef d'entreprise seul
Pour qui?	Direction Générale	Direction Générale	Pour lui-même
Méthodes d'investigation	Un questionnaire linéaire	Un questionnaire non linéaire à niveaux	Réflexion personnelle
Le résultat	Un rapport	Une grille nosologique	Une liste d'actions

	B. I. M	C. N. I. P. E	CEGOS
Finalité du diagnostic	Mettre en oeuvre des systèmes de planification	Recherche des dysfonctionnements	Points forts Points faibles
Caractéristiques	Aide au transfert de techniques nouvelles	Analogie avec la médecine	Diagnostic de développement
Domaine d'application	Les méthodes de gestion	Toute l'entreprise	La stratégie de l'entreprise
Modèle de référence	L'entreprise planifiée	Entreprise organisme vivant en croissance	L'entreprise créatrice
Qui met en oeuvre la méthode ?	Les cadres	La direction de l'entreprise	Cadres + Consultants
Pour qui?	Direction Générale	Direction Générale	Direction Générale
Méthodes d'investigation	Un questionnaire à deux niveaux	Canevas d'analyse standardisé -questionnaire-	Questionnaire linéaire & session de groupes
Le resultat	Réformes dans les méthodes de gestion	Corriger les dysfonctionnements	Un bilan

	P.S.A	MALHER	VARDAMAN & HALTERMAN
Finalité du diagnostic	Auscultation de l'entreprise	Aide au Manager	Renforcer le contrôle
Caractéristiques	Analogie implicite avec la médecine	Résolution de problèmes	Théorie du contrôle
Domaine d'application	L'entreprise réduite à ses dimensions comptables & financières	Le manager et ses difficultés	Le contrôle
Modèle de référence	Axiomatique de l'entreprise libérale	Le manager est un problème à résoudre	L'entreprise, ensemble de réseaux & de systèmes sous contrôle des managers
Qui met en oeuvre la méthode ?	Entreprise et Consultants	Le manager client du consultant	Le manager
Pour qui?	Direction Générale	Le manager "client"	Pour lui-même
Méthodes d'investigation	Analyse des limites	Techniques d'enquête	Questionnaire à niveaux
Le résultat	Un bilan	Résolution de conflits	Renforcement ou contrôle

	LAWRENCE ET LORSCH	MARK III	L.P.T.
Finalité du diagnostic	Préalable au changement planifié	Aide au manager	Préalable au changement planifié
Caractéris- tiques	Diagnostic d'organisation	Résolution de problèmes	Diagnostic d'organisa- tion
Domaine d'application	Principalement structurés & comportements	Toute l'activi- té d'un service	Un service client
Modèle de réf- érence	Théorie de contingence	Résolution de problèmes	A construire par les dirigeants concernés
Qui met en oeuvre la méthode ?	Consultants et groupes	Consultants internes à la demande "client"	Consultants internes ou externes + groupes
Pour qui?	Direction Générale	Demandeur	Service client
Méthodes d'investiga- tion	Un question- naire linéaire	Un question- naire non linéaire à niveaux	Réflexion personnelle
Le résultat	Les axes d'intervention	Les axes d'intervention	Les axes d'intervention

ANNEXE B

LE SCORING STATIQUE  
[FRED89]

Le scoring statique diffère de la méthode d'analyse des données, qui permet de sélectionner et de combiner les plus significatives des différences de comportement observées entre deux échantillons donnés.

Différentes solutions sont disponibles à cet effet. Les plus importantes sont: L'analyse discriminante (la plus diffusée) et l'algorithme de partition récursive (d'introduction plus récente).

A) L'analyse discriminante:

Il s'agit d'une forme d'analyse multidimensionnelle, et plus particulièrement d'analyse factorielle.

Cette analyse permet de définir:

-Une fonction linéaire, dont les valeurs ont la propriété de caractériser deux sous-ensembles homogènes d'une même population.

-Un axe sur lequel les projections d'un nuage de points différencieront les deux sous-ensembles.

Elle a été appliquée initialement à l'étude du risque financier par E.I. ALTMAN, et au développement de fonctions-scors, comme celles de CONAN et HOLDER ou de la Banque de France.

La méthode consiste, au départ, à observer deux groupes d'entreprises:

-Le premier comporte des entreprises à problèmes financiers,

-Le second comporte des entreprises saines,

Pour chacun des deux groupes, on calcule une série de ratios ensuite on détermine une fonction mathématique qui permette de classer, avec la meilleure probabilité, une entreprise donnée dans l'un ou l'autre groupe.

Cette fonction notée "C" sera appelée "Fonction discriminante multiple". C'est une somme algébrique pondérée de ratios, de la forme:

$$C = a_1 r_{11} + \dots + a_i r_{i1} + \dots + a_n r_{nn} + / - b$$

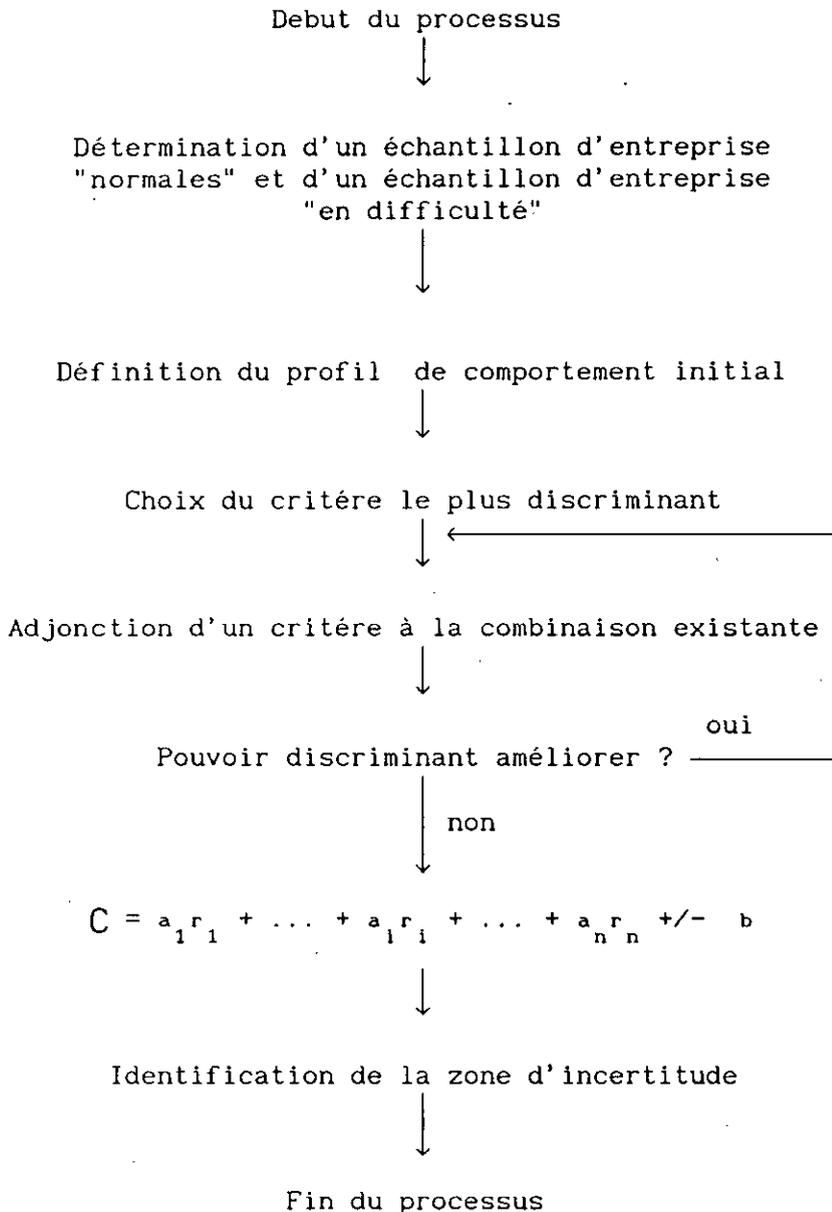
C : Classement de l'entreprise dans un groupe  
(entreprise normale ou entreprise défailante),

$a_i$  : Coefficient de pondération affecté au ratio  $r_i$ ,

$r_i$  : Ratio  $i$  de la combinaison retenue,

$b$  : Constante,

Le choix des ratios  $r_i$  se fait suivant le processus suivant:



### B) L'algorithme de partition récursive:

Cette méthode a déjà été utilisée en médecine. Son emploi n'en donne pas moins le même type d'information que l'analyse discriminante.

Dans cette méthode, les ratios choisis pour le diagnostic sont appliqués l'un après l'autre, suivant un ordre préétabli.

Cette méthode prend la forme d'un processus arborescent, qui identifie une entreprise saine ou en danger à partir d'un nombre variable de critères différents.

L'algorithme de partition récursive comprend trois étapes:

1ère étape:

Déterminer les probabilités, a priori, de voir une entreprise rangée dans l'un ou l'autre des deux groupes (Bonnes ou mauvaises).  
Déterminer les coûts élémentaires d'erreur de classement (entreprise saine classée en danger et réciproquement).

2ème étape:

Définir un arbre à faible risque de mauvaise classification.  
Pour ce faire, elle suppose d'abord de ventiler l'ensemble des entreprises constitutives des deux échantillons de départ en deux sous-groupes, à l'aide d'une règle de partage univariée de la forme:

Si	pour l'entreprise considérée
	tel ratio prend une valeur $\leq$ à tel seuil,
Alors	l'entreprise est affectée à tel groupe,
Sinon	l'entreprise est affectée à l'autre groupe,

Le ratio choisi pour servir de base à cette règle est défini comme celui entraînant la plus forte réduction entre l'impureté de l'ensemble initial et la  $\sum$  des impuretés des 2 sous-groupes obtenus.

L'impureté d'un ensemble peut être assimilée au coût total d'erreur de classement dans cet ensemble.

Elle est fonction des coûts élémentaires d'erreur de classement et des situations BONNE ou MAUVAISE des entreprises de l'ensemble.



ANNEXE C

RECAPITULATION DES SYSTEMES EXPERTS EXISTANTS

Le tableau suivant regroupe un bon nombre de systèmes experts, déjà réalisés ou en voie de réalisation, dans différents domaines. [BONN84]

Domaine	Thème	Nom	Auteurs
Chimie	.Interprétation de données de spectrographie de masse, .Avec apprentissage .Synthèse organique .Synthèse organique	DENDRAL	Feigenbaum
		META-DENDRAL	Buchanan
		SECS SYNCHEM	Wipke Gelernter
Physique	.Résolution de problèmes de mécanique .Analyse de circuits électrique, .Mécanique, .Electronique, .Découverte de lois, .Résistance des matériaux,	MECHO	Bundy
		SOPHIE	Brown
		EL	Novak
		BACON SACON	Brown Langley Bennett
Géologie	.Minérale, .Pétrolière, .Pétrolière, "	PROSPECTOR	Duda
		LITHO DIPMETER ADVISOR	Bonnet Davis "
Mathématique	.Découverte de concepts, .Résolution des : intégrales, équations différentielles, etc. .Résolution d'intégrales,	AM	Lenat
		MACSYSMA	Moses
		SNARK-INTEGRATION,	Laurière
Ordinateur	.Configuration de VAX  .Diagnostic de panne,	R1, XSEL, XCON,	McDermott
		DART,	Bennet

Domaine	Thème	Nom	Auteurs
Fabrication	.Conseils en conception de gammes d'usinage,	GARI,	Descotte
Militaire	.Interprétation des signaux,	HASP/SIAP	Nii
Médecine	.Infection du sang et méningite, .Médecine interne, " " .Cancer, .GLAUGOME .Maladies rénales, .Infections pulmonaire .Hypertention artérielle, .Régulation du Ph, .Cardiologie .Ophtalmologie	MYCIN  INTERNIST CADUCEUS  ONCOCIN CASNET PIP PUFF SAM  ABEL DIGITALIS IRIS	Shortliffe  Pople Pople  Shortliffe Weiss Pauker KUNZ Gascuel  Patil Gorry Trigoboff

## OUTILS POUR LES SYSTEMES EXPERTS

Nous avons essayé de regrouper, un certain nombre de langages dans lesquels on peut exprimer les connaissances d'un système expert. Ils sont classés ci-après suivant le type de représentation. [BONN84]

### - A partir de règles de production:

Langages	Auteurs
EMYCIN	Van melle
OPS	Forgy
EXPERT	Weiss
KAS	Reboh
RAINBOW	Hollander
ARGOS-II	Farreny

### - A partir de logique des prédicats:

Langages	Auteurs
PROLOG	Roussel, Colmerauer
SNARK	Warren,
TANGO	Laurière Cordier

### A partir de réseaux sémantiques:

Langages	Auteurs
KRL	Bobrow
OWL	Szolovits
UNITS	Stefik
FRL	Roberts
AIMDS	Sridharan
ORBIT	Steels
KEE	Kehler

ANNEXE D

LA LOGIQUE DES PROPOSITIONS

En logique propositionnelle, nous nous intéressons aux phrases déclaratives, aux assertions qui peuvent être soit VRAIES soit FAUSSES (mais jamais les deux à la fois).

Une proposition est une déclaration, un jugement, ou l'expression d'une pensée.

EXEMPLE:

L'atelier est propre  
Les stocks sont élevés  
L'entreprise est saine

Ces déclarations sont des propositions. IL s'attache à ces déclarations, la possibilité de les accepter ou de les refuser. Elles sont a priori VRAIES ou FAUSSES.

Dans le langage de la logique propositionnelle, nous représentons le propositions par les symboles P, Q, R, etc. que nous appellerons les atomes.

Soit G une formule propositionnelle et  $A_1, A_2 \dots A_n$  les atomes dont les occurrences forment G.

Une interprétation de G est une assignation des valeurs de vérité à  $A_1, A_2 \dots A_n$ , c'est à dire à chacun des atomes qui compose la formule G.

S'il y a n atomes dans une formule, il y a  $2^n$  interprétations possibles pour cette formule.

EXEMPLE: interprétation des formules logiques:

$$P \wedge Q, P \vee Q, P \Rightarrow Q$$

Chaque atome doit être affecté de son "interprétation": soit V ou F (V: VRAI, F: FAUX)

P	Q	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$
V	V	V	V	V
V	F	F	V	F
F	V	F	V	V
F	F	F	F	V

Une formule fausse sous toutes ses interprétations est

une formule inconsistante, on dit qu'elle est insatisfaisante ou encore que c'est une contradiction.

EXEMPLE:  $P \wedge \neg P$  est toujours faux

Une formule toujours fautive se note :  $\perp$  c'est la formule propositionnelle vide qui n'est satisfaite par aucune interprétation.

Une formule vraie sous toutes ses interprétations est une formule valide. On dit aussi que c'est une tautologie.

EXEMPLE:  $P \vee \neg P$  est toujours vraie

## ENSEMBLES FLOUS ET LOGIQUE FLOUE

Les modèles logiques, en général, donnent une représentation idéalisée de nos connaissances, ce qui les rend parfois inaptes à modéliser certains de nos raisonnements. Par exemple, devant une situation donnée, nous sommes amenés à évaluer le contexte avant d'entreprendre toute action.

Cette évaluation, qui permet de faire évoluer notre opinion en fonction des informations reçues, ne s'effectue pas sur une échelle à deux valeurs: VRAI ou FAUX. Elle fait apparaître la nécessité de disposer d'une échelle plus fine pour évaluer ces opinions, pour prendre en compte des concepts imprécis.

En effet, plusieurs solutions ont été proposées: la logique floue de ZADEH, Les facteurs de certitude de SHORTLIFFE, Les plausibilités de KAYSER [BONN84], [PRAD85]. Nous présentons la première de ces approches, les ensembles flous et la logique floue.

### Les ensembles flous:

La nécessité de disposer d'une échelle plus fine qu'une échelle à deux valeurs, pour manipuler les concepts imprécis, ou des concepts où interviennent la subjectivité de l'observateur, a amené ZADEH à introduire et à définir les ensembles flous.

Un sous-ensemble flou A du référentiel E (univers du discours) est caractérisé par sa fonction d'appartenance  $\mu_A$  qui indique si un élément e de E appartient plus ou moins à A.

$$\mu_A: E \longrightarrow [0,1]$$

$\mu_A(e)$  représente le degré d'appartenance de  $e$  à  $A$ .

Ainsi, par exemple, pour a-t-on écrire Si  $X$  et  $Y$  désignent deux entreprises:

$$\mu_{\text{saine}}(x) = 0.9 \quad \text{et} \quad \mu_{\text{saine}}(y) = 0.1$$

[Le concept de "saine" est ici une notion floue, chaque entreprise "appartient" plus ou moins à la classe des entreprises saines.

[La transition entre l'appartenance et la non appartenance ne se fait pas de manière brutale, mais graduelle: on définit ainsi un sous-ensemble flou.

[De même que l'on définit des opérations d'union, d'intersection, d'inclusion sur les ensembles usuels, on définit ces opérations sur les ensembles flous.

Une relation floue  $R$  d'un univers du discours  $E$  vers un univers  $E'$  est un sous-ensemble flou du produit cartésien  $E \times E'$ . Elle est définie par sa fonction d'appartenance  $\mu_R$

$$\mu_R: E \times E' \longrightarrow [0,1]$$

#### LES OPERATIONS SUR LES SOUS-ENSEMBLES FLOUS: [PRAD82], [DUB085]

[Les opérations entre sous-ensembles flous s'expriment par des opérations sur leurs fonctions d'appartenance.

On définit:

INCLUSION : Le sous-ensemble flou  $A$  est inclus dans le sous-ensemble flou  $B$  si et seulement si:

$$\forall e \in E, \mu_A(e) < \mu_B(e)$$

L'inclusion est une relation d'ordre.

INTERSECTION : L'intersection de deux sous-ensembles flous  $A$  et  $B$  est défini par le plus grand

sous-ensemble flou contenu dans A et B et caractérisé par sa fonction d'appartenance  $\mu$ .

$$\forall e \in E, \mu_{A \cap B}(e) = \text{Min}[\mu_A(e), \mu_B(e)]$$

UNION : L'union de deux sous-ensembles flous A et B est le plus petit sous-ensemble flou contenant à la fois A et B. Sa fonction d'appartenance  $\mu_{A \cup B}$  est égale à:

$$\forall e \in E, \mu_{A \cup B} = \text{Max} [\mu_A(e), \mu_B(e)]$$