UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉTUDE DE FAISABILITÉ D'UN SYSTÈME EXPERT POUR LA SPÉCIFICATION DES LOGICIELS DE CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

par

© NGUYEN DINH TAI

DÉPARTEMENT DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE MAÎTRISE ES SCIENCES APPLIQUÉES (M. Sc. A)

AVRIL 1989

Permission has been granted to the National Library of Canada to microfilm this thesis and to lend or sell copies of the film.

The author (copyright owner) has reserved other publication rights, and neither the thesis nor extensive extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her written permission.

L'autorisation a été accordée à la Bibliothèque nationale du Canada de microfilmer cette thèse et de prêter ou de vendre des exemplaires du film.

L'auteur (titulaire du droit d'auteur) se réserve les autres droits de publication; ni la thèse ni de longs extraits de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation écrite.

ISBN 0-315-50224-X

UNIVERSITE DE MONTREAL

ECOLE POLYTECHNIQUE

Ce mémoire intitulé :

Etude de faisibilité d'un système expert pour la spécification des logiciels de conception assistée par ordinateur

présenté par : NGUYEN DINH TAI

en vue de l'obtention du grade : M.Sc.A

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. FRED BASSAL	,B.Sc.,président
M. KALYAN GHOSH	,Ph.D.
M. LAURENT VILLENEUVE	,M.Eng.

SOMMAIRE

Cette étude est entreprise dans le but d'évaluer la faisabilité d'un système expert qui aidera les petites et moyennes entreprises (PME) à choisir les logiciels pour la conception assistée par ordinateur (CAO) appropriés à leurs besoins.

En premier lieu, on examine le marché de la CAO pour déterminer l'application du système expert à la CAO dans le monde industriel. Ensuite, la compréhension du processus de la conception mécanique donne une vue d'ensemble des travaux des ingénieurs et concepteurs. Une étude sur les logiciels est essentielle pour connaître les paramètres de logiciels qui peuvent entrer dans le système expert. Pour savoir si le système expert peut imiter les procédures de sélection des systèmes de CAO que les consultants utilisent habituellement, une étude est menée sur la méthode de sélection des systèmes de CAO. Nous réussissons à développer un interface écrit en Arity/Prolog qui est beaucoup mieux adapté à notre système expert.

Enfin, à partir de l'étude de faisabilité et des tests sur les prototypes, on déduit une nouvelle approche qui rend le projet réalisable. Nous trouvons que l'utilisation d'un système expert pour le choix de logiciels de CAO est une méthode qui aura beaucoup d'utilité dans la pratique. Une esquisse de la structure générale et la méthodologie pour réaliser le système expert est aussi présentée.

ABSTRACT

The purpose of this research is to investigate the feasability of an expert system to help small and medium-sized companies to choose CAD software appropriate to their needs. This expert system must work on personal computers. This project is sponsored by *ICAM Technologies Corporation*, which specializes in the CAD/CAM field. Most of this research concerns the knowledge acquisition and the understanding of different expert system shells that work on personal computers.

In order to attain the objectives of the present work, we have conducted interviews with CAD experts in a number of companies. Various CAD/CAM software packages in the mechanical area were examined.

First, we used the *INSIGHT 2* expert system shell and built a prototype expert system. It was determined that a more flexible and powerful shell was needed and the Arity/Expert system (based on PROLOG Language) was used. A prototype was constructed, incorporating a new interface that we developed.

Based on the tests of the prototypes, we conclude that the expert system is feasible.

The general structure and methodology for selecting CAD software using this expert system is presented.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement :

Monsieur Kalyan Ghosh, mon co-directeur de recherche et professeur agrégé à l'École Polytechnique, qui a eu la bonté de me présenter à la compagnie *ICAM Technologies Corporation*, m'a judicieusement conseillé et m'a encouragé chaque fois que cela était nécessaire.

Monsieur John Nassr, président de *ICAM Technologies Corporation* qui a financé le projet et avec qui j'ai passé de longues heures de discussion. Il m'a permis d'utiliser tous les équipements d'ordinateurs et les logiciels nécessaires pour réaliser le projet. Je l'en remercie vivement.

Monsieur Laurent Villeneuve, directeur du Département du génie industriel et mon co-directeur de recherche, qui m'a suivi tout au long de l'élaboration et la réalisation du projet et qui m'a donné de nombreux et précieux conseils.

Ce projet, de par sa nature, a nécessité plusieurs entrevues. Je tiens à remercier les personnes suivantes :

Madame Diane Isabelle, conseillère en technologie au *Conseil national de Recherches du Canada*.

Monsieur Gilles Génier, professeur de CAO à l'*École Polytechnique de Montréal*.

Monsieur Alain Pérocheau, spécialiste en méthodes d'analyse au *Centre québecois pour l'informatisation de production* (CQIP).

Monsieur Gaston Beaulieu, directeur technique du CQIP.

Monsieur André Richard, conseiller sénior en CFAO chez *Charette, Fortier, Hawey, Touche Ross Ltd*.

Monsieur Germain Richard, responsable du choix et de l'implantation de CFAO chez *Canadair Ltd*.

Mr. Stephen Thompson, directeur du département d'ingénerie chez *Hewitt Equipment Ltd*.

Monsieur Jean Dagenais, professeur en charge de la CAO au *Cégep Vanier*.

Monsieur Roberto Andréa, responsable du choix et de l'implantation de CFAO chez *Hymac Ltd*.

Mr. Dave Bonham, professeur à l'*Université du Nouveau Brunswick* et consultant en CFAO.

Enfin, à tous ceux et celles qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire et que je n'ai pas nommés, j'exprime ma vive reconnaissance.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE iv

ABSTRACT v

REMERCIEMENTS vi

LISTE DES TABLEAUX xiv

LISTE DES FIGURES xv

LISTE DES ANNEXES xvi

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION 1

1.1 Généralités

1.2 Travaux de recherche

CHAPITRE 2 - MARCHÉ DE CFAO 5

2.1 Tendances générales de CFAO dans le domaine mécanique

2.2 Situation de CFAO du Canada

CHAPITRE 3 - PROCESSUS DE CONCEPTION MÉCANIQUE 10

CHAPITRE 4 - LOGICIELS DE CAO 17

4.1 Description générale

4.2 Fonctions des logiciels de base

4.2.1 Données d'entré

4.2.2 Présentation des données
4.2.3 Gestion de base des données
4.2.4 Communication des données
4.2.5 Production des données
4.3 Logiciels graphiques
4.3.1 Logiciels graphiques de base
4.3.2 Logiciels de modélisation tridimensionnelle
4.4 Logiciels d'application
4.4.1 Logiciels d'analyse du processus de conception
4.4.1.1 Les logiciels de calcul des propriétés élémentaires
4.4.1.2 Les logiciels de développement de tôle
4.4.1.3 Les logiciels de simulation d'analyse
4.4.1.4 Les logiciels de conception de matrices
4.4.1.5 Les logiciels d'analyse d'éléments finis
4.4.2 Logiciels reliés aux procédés de fabrication
4.5 Paramètres des logiciels de CAO
4.6 Conclusion

CHAPITRE 5 - MÉTHODE DE SÉLECTION DE CAO 40
5.1 Rôle de l'administration
5.2 Sélection de CAO

5.3 Étapes de la sélection
5.3.1 Étude de faisabilité
5.3.2 Planification du projet et l'acquisition du système
5.3.3 Implantation
5.4 Étude détaillée des étapes
5.4.1 Étude de faisabilité
5.4.1.1 Étude du processus actuel de conception
5.4.1.2 Étude de possibilités offertes par la CAO
5.4.1.3 Analyse des besoins
5.4.1.4 Détermination des objectifs
5.4.1.5 Analyse de rentabilité du projet et justification
5.4.2 Planification du projet et l'acquisition du système
5.4.2.1 Le cahier des charges
5.4.2.2 La sélection su système
5.4.2.3 Le test de performance
5.4.3 Implantation
5.4.3.1 Plan d'implantation
5.4.3.2 Implantation du système
5.4.3.3 Évaluation du système
5.5 Conséquences d'implantation de CAO
5.6 Conclusion

CHAPITRE 6 - SYSTÈME EXPERT 56
6.1 Techniques de représentation de connaissances
6.1.1 Système de production
6.1.2 Réseaux sémantiques
6.2 Processus de construction d'un système expert
6.2.1 Processus de construction
6.2.2 Prototypes
6.3 Critères d'évaluation
6.3.1 Interface
6.3.2 Technicité
6.3.3 Fonctionnalité
6.4 Problèmes des squelettes de système expert basé sur le micro-ordinateur
6.5 Conclusion

CHAPITRE 7 - ÉTUDE DE FAISABILITÉ DU SYSTÈME EXPERT EN CAO 76
7.1 Critères de faisabilité
7.2 Discussion

CHAPITRE 8 - PROTOTYPE AVEC LE SQUELETTE D'INSIGHT 2 81
8.1 Description
8.2 Fonctionnement
8.3 Description du prototype sur *INSIGHT 2*
8.4 Avantages et désavantages
8.5 Conclusion

CHAPITRE 9 - CHOIX DU LANGAGE D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE 100

CHAPITRE 10 - *ARITY I EXPERT ET ARITY I PROLOG* 103

10.1 Description des éléments

10.2 Base de connaissance

10.2.1 Partie de taxonomie

10.2.2 Partie des règles

10.3 Interface utilisateur - machine

10.3.1 Description de l'interface

10.3.2 Prédicats évaluables

10.3.2.1 Prédicats utilitaires

10.3.2.2 Prédicats principaux

10.4 Premier prototype

10.4.1 Taxonomie du premier prototype

10.4.2 Base de règles du premier prototype

10.5 Deuxième prototype

10.5.1 Taxonomie du deuxième prototype

10.5.2 Base de règles du deuxième prototype

10.6 Évaluation des prototypes

10.7 Avantages et désavantages

10.8 Conclusion

CHAPITRE 11 - SOLUTION DU PROBLÈME 156

11.1 Échec de l'ancienne approche

11.2 Nouvelle approche

11.3 Structure générale du système expert conseiller

11.3.1 Informations d'entrée

11.3.2 Informations de sortie

11.3.3 Schéma de la structure

11.4 Méthodologie pour réaliser le système expert proposé

CHAPITRE 12 - CONCLUSION 172

12.1 Résumé du travail accompli dans le cadre de ce projet

12.2 Recommandation à la Compagnie ICAM pour la solution du problème

BIBLIOGRAPHIE 176

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 7

RÉPARTITION DES PROVINCES UTILISATRICES DES SYSTÈMES DE CFAO

TABLEAU 2 7

RÉPARTITION DES UTILISATEURS DE CFAO DANS CHAQUE PROVINCE

TABLEAU 3 9

CLASSIFICATION DES ENTREPRISES PAR SECTEUR ET PAR PROVINCES EN 1982

TABLEAU 4 37

DESCRIPTION DES PARAMÈTRES DES LOGICIELS DE CAO

TABLEAU 5 145

SOUS-CLASSES DU RÔLE "COMPAGNIES" ET LEURS ÉLÉMENTS

TABLEAU 6 148

L'ÉTAT DU SYSTÈME DE CHAQUE PROTOTYPE

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 11

ÉTAPES POUR LA CONTRUCTION MÉCANIQUE POUR UN NOUVEAU PRODUIT

FIGURE 2 18

INTERACTION DE DIVERS LOGICIELS DE CAO

FIGURE 3 66

PROCESSUS ITÉRATIF DE CONSTRUCTION DE LA BASE DE CONNAISSANCE

FIGURE 4 82

SYSTÈME D'INSIGHT 2

FIGURE 5 86

HIÉRARCHIE DES BRANCHES

FIGURE 6 104

DIAGRAMME GÉNÉRAL D'ARITY/EXPERT ET PROLOG

FIGURE 7 109

CONCEPTS, RÔLES ET PROPRIÉTÉS

FIGURE 8 112

UN CONCEPT ET SES DEUX SOUS-CONCEPTS

FIGURE 9 133

INTERACTION ENTRE LA BASE DES RÈGLES ET LE PROGRAMME D'INTERFACE

FIGURE 10 161

STRUCTURE GÉNÉRALE DU SYSTÈME EXPERT CONSEILLER EN CAO

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 178

CAHIER DES CHARGES D'UN SYSTÈME DE CAO

ANNEXE 2 180

LES CRITÈRES DE SÉLECTION

ANNEXE 3 182

LA FORME D'ÉVALUATION DU SYSTÈME DE CFAO

ANNEXE 4 188

PROTOTYPES DU SYSTÈME EXPERT

ANNEXE 5 191

LANGAGE LISP

ANNEXE 6 193

LANGAGE PROLOG

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Généralités

Depuis quelques années, les systèmes de conception assistée par l'ordinateur (CAO) se retrouvent de plus en plus fréquemment dans l'industrie aéronautique, automobile et électronique.
Récemment, ils sont devenus de plus en plus populaires et se sont répandus dans toutes les entreprises où il y a un bureau de dessin et de conception. Les bénéfices escomptés de la CAO sont nombreux :

- le traitement de projets de plus en plus complexes
- l'augmentation de la qualité des produits (performance, fiabilité, maniabilité)
- la diminution des délais de conception et de dessin.

Toutefois, l'acquisition d'un système de CAO exige encore un montant d'investissement appréciable qui fait hésiter les investisseurs.

La CAO se développe à un pas accéléré depuis deux ou trois ans. Elle n'a pas le temps de s'imprégner à tous les niveaux et types d'industrie. La formation en CAO n'en est qu'à son début. Les spécialistes et les consultants en CAO manquent ou possédent une courte expérience pratique.

Malgré l'aide de quelques organismes gouvernementaux comme le *Centre de recherche industrielle du Québec* (CRIQ), le *Centre québecois d'infomatisation de production* (CQIP), l' *Ontario Centre for*

Advanced Manufacuturing (OCAM), les PME restent encore réticentes à adopter la nouvelle technologie et à prendre le risque d'investissement.

D'autre part, les entreprises sont confrontées à des publicités parfois trompeuses, venues d'un grand nombre de fournisseurs de matériels et de logiciels, ce qui place les responsables de l'entreprise dans l'embarras du choix.

Consulter les experts-consultants coûte cher. L'une des solutions de l'entreprise est de laisser aux employés d'entreprendre l'étude sur la sélection du système de la CAO. Quant aux PME, celles-ci font plus ou moins appel aux consultants gouvernementaux ou privés.

Quant à la sélection du système, l'expert utilise une méthodologie longue et minutieuse qui demande beaucoup de synthèse et d'analyse. Même l'estimation préliminaire qu'un expert en CAO fait avant de s'engager définitivement dans le projet, exige au moins quelques journées d'études.

1.2 Travaux de recherche

La compagnie *ICAM Technologies Ltd.*, spécialisée dans la conception des logiciels de CFAO, propose une solution pratique pour faciliter l'introduction et la propagation des systèmes de CAO aux PME.

Elle a l'idée d'utiliser la technologie du système expert pour la spécification des logiciels en mécanique. Autrement dit, le projet est de développer un système expert qui remplace le consultant afin de définir les caractéristiques des logiciels pour les PME. Le système expert doit fonctionner sur un micro-ordinateur.

Le projet comporte deux travaux de recherche d'égale importance :

1) la recherche axée sur le domaine de CAO;

2) la recherche axée sur le nouveau domaine de système expert.

Dans les trois premiers chapitres, les fondements du système de CAO sont présentés. La CAO est considérée comme l'ensemble des programmes informatiques tandis que le système de CAO inclut les matériels informatiques. Le processus de la conception mécanique conventionnelle est abordé afin de comprendre les étapes de conception, connaître l'apport de CAO dans le processus et dégager les paramètres qui aident à formuler les données d'entrée au système expert.

Dans le chapitre 4, les types de logiciels et leurs applications sont décrits en détail.

Dans le chapitre 5, les méthodes actuelles de sélection de système de CAO sont abordées. Ce chapitre fait connaitre la complexité du travail de sélection et permet de trouver quelles étapes de sélection sont applicables à un système expert.

Le chapitre 6 est consacré à la connaissance des techniques de représentation de connaissance et la méthodologie pour réaliser le système. Grâce à ces connaissances, on peut maîtriser aisément le langage du squelette du système expert et son fonctionement.

Dans le chapitre 7, une étude de faisabilité pour déterminer la validité du projet proposé est réalisée.

Dans le chapitre 8, grâce aux tests des prototypes réalisés avec un squelette du système expert, la capacité et la performance du squelette, l'étendue et la difficulté du projet et le degré de compatibilité du squelette s ont connus.

Le chapitre 9 est consacré au choix d'un langage d'intelligence artificielle qui est basé sur les résultats trouvés dans le chapitre 8.

Dans le chapitre 10, le choix d'un squelette et d'un langage d'intelligence artificielle est fait. On a fait un grand effort de recherche pour maîtriser le squelette d'*Arity/Expert* puisque celui-ci exige des connaissances approfondies en langage Prolog, en méthode hybride de représentation de connaissances et en micro-ordinateur.

Enfin, dans le dernier chapitre, la solution du problème est décrite. Les raisons de l'échec de l'ancienne approche sont présentées. Une nouvelle approche qui sera plus réalisable est formulée. Une esquisse d'une structure générale du système expert et une méthodologie pour le réaliser sont essayées.

CHAPITRE 2

MARCHÉ DE CFAO

2.1 Tendances générales de CFAO dans le domaine mécanique

La CFAO appliquée au domaine mécanique occupe 1/3 du marché mondial de la CFAO, 50% du marché francais et 70% du marché canadien. D'après la direction des industries électroniques et de l'informatique en France, la France est la plus grosse utilisatrice de systèmes de CFAO avec un taux de croissance annuel de l'ordre de 20%.

Quant à la CFAO appliquée à l'ingéniérie, elle occupe, au début, une part modeste de 20% du marché (le 80% restant est appliqué au dessin). Par contre, elle croît à un rythme de 60%. Cela montre que la CAO n'est plus un outil de dessin et de conception ordinaire. Elle veut aider les concepteurs et les ingénieurs pour la création et l'analyse des objects de plus en plus complexes.

Quant à la part du logiciel dans le marché de CFAO, elle connaît une hausse remarquable. De 7% en 1977, elle est passée à 17% en 1983. Les experts estiment qu'elle atteindra 25% en 1989 et 35% en 1995.

Actuellement, on assiste à un véritable décalage entre la vitesse de développement des matériels (en moyenne trois mois) et celle des logiciels (de six mois à deux ans).

2.2 Situation de CFAO au Canada

Le Canada se met à la CAO avec un retard de cinq ans par rapport aux États-Unis et aux pays européens. Il essaie de faire un gros effort de rattrapage. Cependant l'hésitation des PME freine encore la propagation des systèmes de CAO.

Le Canada n'a pas une situation reluisante tant sur le plan de l'utilisation que sur celui de la production de matériel.

On remarque que l'utilisation de CAO a doublé au Canada depuis 1979. Les installations de systèmes de CAO ont augmenté de cent en janvier 1979 à plus de deux cents à la fin de septembre 1981.

D'après *Evans Research de 1985*(13) les applications de CAO en génie mécanique n'occupent que 37% du total des applications, celles en cartographie 10%, celles en architecture et en génie civil 25% et celles en électronique 28%.

Cependant les applications de CFAO au génie mécanique et commande numérique atteignent 70% du total de CFAO. Cette différence prouve que les industriels s'intéressent plus à automatiser leurs machines-outils qu'à améliorer leurs bureaux d'études. Cela s'explique aussi par le fait qu'au Canada, les équipements en opération à commande numérique connaissent une hausse considérable de 400 machines en 1973 à 3 500 en 1984.

Voici la répartition des systèmes de CFAO au Canada, d'après le *Ministère de l'Industire et du Commerce du Québec* (MICQ) (10) (dans "Bienvenue à CAO / FAO '86" de Jeannot Fecteau) :

TABLEAU 1

RÉPARTITION DES PROVINCES UTILISATRICES DES SYSTÈMES DE CFAO

Ontario	67%
Québec	25%
Autres	8%

TABLEAU 2

RÉPARTITION DES UTILISATEURS DE CFAO DANS CHAQUE PROVINCE

Ontario	
Industrie	80%
Éducation	15%
Québec	
Industrie	55%
Éducation	40%

Le Canada est en arrière par rapport aux autres pays développés puisque seulement 37% des entreprises mécaniques possédent un système de CAO. Donc comment faire pour motiver les 63% restants des entreprises à accéder, avec succès, à la CAO.

Notre système expert contribue à trouver une solution pour ce problème. Il vise le marché des non-utilisateurs de système de CAO qui occupent une grande part au Québec.

Voici le tableau des types et du nombre d'entreprises au Canada classés par secteur et par province en 1982, d'après *Statistique Canada* (dans "L'automation industrielle, une obligation autant qu'un défi" de MICQ, préparé par Gilles Delisle) (9) :

TABLEAU 3
CLASSIFICATION DES ENTREPRISES PAR SECTEUR ET PAR PROVINCES EN 1982

Types d'entreprises	Nombre d'entreprises		Rang des types d'entreprises par rapport au	
	Ensemble du Canada	Québec	Ensemble du Canada	Québec
Fabrication des machines	5123	1339	1	1
Emboutissage et matricages	3208	682	2	4
Quincaillerie et outillage	963	860	4	3
Revêtement des métaux	360	242	6	6
Ateliers d'usinage	1183	644	5	2
Produits métalliques divers	1412	569	3	5

Le système expert en domaine mécanique est divisé en six sous-domaines correspondants à chaque type d'entreprises, qui aura un système expert propre. Comme le nombre d'entreprises de fabrication des machines est au premier rang au Canada et au Québec, le développement du système expert orienté vers la fabrication des machines est prioritaire.

CHAPITRE 3

PROCESSUS DE CONCEPTION MÉCANIQUE

Le processus de création classique d'un produit est un processus fastidieux dont les principales tâches sont la conception, la simulation, l'itération, l'optimisation, la réalisation de dossiers de fabrication et d'outillage et la fabrication (voir la figure 1).

Pour concevoir des produits mécaniques plus performants, les bureaux d'étude doivent rechercher sans cesse amélioration et nouveauté. Pour atteindre ces objectifs, ils doivent répondre à des critères tels que :

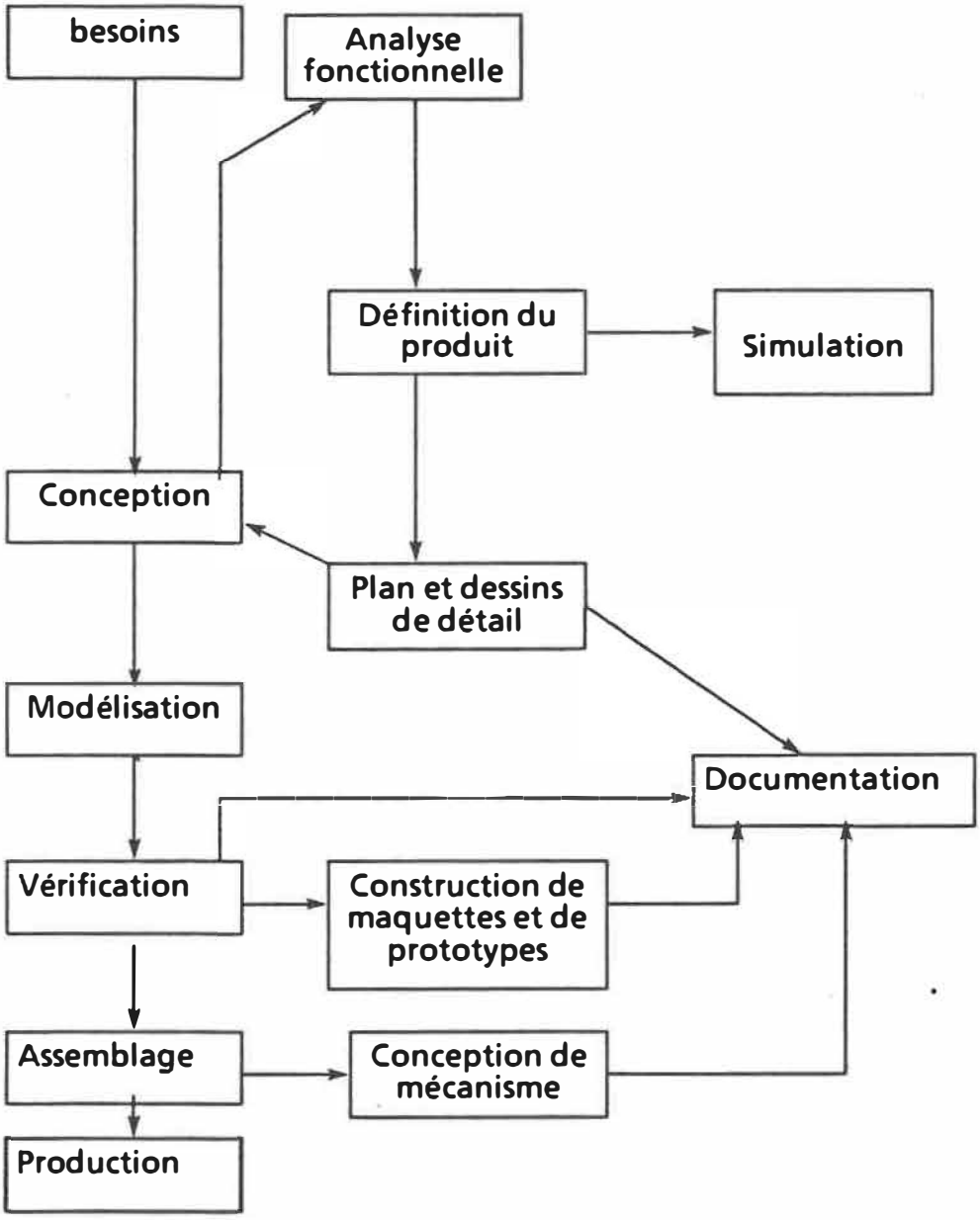
- l'innovation les contraintes plus élevées des pièces, l'encombrement plus réduit;
- la sécurité les garanties de résistance aux contraintes des pièces, le produit sécuritaire dans l'emploi;
- la rapidité la conception des nouveaux produits doit être assez rapide et flexible pour répondre aux exigences du marché et à la compétition;
- l'économie moins de matière, moins d'opération d'usinage, plus grande facilité de montage.

Le système de CAO représente une avance importante sur la méthode conventionnelle de conception dans les trois parties suivantes :

- la construction géométrique,
- la modélisation tridimensionnelle,
- l'analyse structurale ou de contrainte.

FIGURE 1

ÉTAPES POUR LA CONTRUCTION MÉCANIQUE POUR UN NOUVEAU PRODUIT



La méthode traditionnelle de conception mécanique consiste à des étapes suivantes :

A) **La conception**

La conception mécanique est divisée en trois phases successives :

1) Analyse fonctionnelle

Le projet commence avec la spécification conceptuelle d'un produit qui est le résultat d'une recherche du marketing ou l'idée du concepteur. Il demande de l'innovation créatrice et des prises de décision. Cette phase appartient encore au domaine humain.

2) Définition du produit (ou analyse du projet)

Le concepteur essaie de chercher les paramètres importants du produit grâce à la simulation, l'analyse de la valeur, etc. Quant aux objets complexes, la méthode conventionnelle consiste à :

- soit définir les spécifications, niveau par niveau, de l'objet jusqu'aux constituants élémentaires,
- soit élaborer, à partir des composants élémentaires, les blocs plus importants pour arriver aux spécifications désirées.

3) Plan et dessins de détail

C'est la phase où l'on définit et dessine en détail tous les composants nécessaires, les assemblages et les sous-assemblages du produit. Cette phase peut être

complètement automatisée grâce à l'ordinateur. Toutefois, dépendant du volume de production, le travail sur le dessin est différent :

- bas volume de production :

  Le concepteur travaillera plus avec les graphiques primitifs. Si le produit se ressemble, il travaillera avec les éléments de forme ou les variantes. Habituellement, dans ce cas, le produit est gros, compliqué, long à concevoir et a besoin des machines-outils.

- moyen volume de production :

  L'utilisation des éléments de forme ou des variantes est prédominante. Le concepteur travaillera plus avec les familles des pièces et la communalité des composants.

B)La modélisation

Le but de la modélisation d'un système est d'exposer son fonctionnement interne et de la présenter sous la forme utile à l'étude d'ingénierie.

Les moyens sont :

- la maquette pour le test en laboratoire,
- les prototypes pour le test réel,
- les modèles mathématiques pour l'étude analytique,
- les modèles aproximatifs pour l'évaluation générale du comportement du système.

C)La documentation d'ingénierie

La production conventionnelle de la documentation a les lacunes suivantes :

- les graphiques sont préparés manuellement,
- ils ne contiennent pas de textes,
- les corrections ou les changements à un dessin doivent être faits manuellement,
- la tâche la plus fastidieuse est la création des vues avec l'enlèvement ou le marquage des lignes cachées.

Le système graphique de CAO réduira le temps de production de documents. Il peut créer facilement :

- les images ombrées, très utiles pour la révision de la conception ou pour la présentation aux clients,
- les dessins d'assemblage,
- l'explosion de l'assemblage pour montrer l'interrelation entre les pièces et comment les pièces s'attachent ensemble,
- la documentation technique
- la documentation de fabrication,
- l'illustration pour la présentation et la révision .

Le système de CAO génère les dessins en 2D ou 3D. Par contre, ceux-ci sont différents des illustrations techniques à cause des raisons suivantes :

- les illustrations techniques consistent en dessins en 2D plutôt qu'en dessins en 3D,
- elles doivent avoir des lignes cachées enlevées,
- souvent, elles sont une combinaison de textes et de graphiques.

Donc, les dessins techniques de CAO seront transformés, grâce à un logiciel spécial, à des illustrations techniques. Le système de CAO haut de gamme produit une excellente base de dessins complexes pour les illustrations techniques.

D) **La conception de mécanismes**

Elle est composée de deux parties :

1) *Synthèse de mécanisme* :

C'est la conception de mécanismes pour accomplir une tâche spécifique. Sa principale fonction est de choisir le type de mécanisme à concevoir et déterminer ses dimensions.

2) *Analyse de mécanisme* :

Elle est faite sur les mécanismes existants ou proposés afin de découvrir comment ceux-ci se comportent. Il y a différentes analyses de mécanismes placées par ordre de complexité croissante :

- l'analyse statique :

c'est l'analyse de la géométrie qui ne tient compte d'aucun mouvement .

- l'analyse cinétostatique :

  elle inclut l'effet de masse et de moment d'inertie. L'ordinateur est efficace pour simplifier les tâches répétitives et pour éliminer les erreurs graphiques .

- l'analyse de réponse temporelle :

  elle utilise le temps comme une variable indépendante. Les équations différentielles sont requises car les positions, les vitesses et les mouvements sont des inconnus. L'ordinateur est indispensable dans cette catégorie d'analyse à cause de la complexité des calculs.

Quant à la géométrie des mécanismes, le système de CAO a trois fonctions principales :

- la définition de la conception,
- le stockage de données et la récupération,
- le calcul de propriétés de masse.

Il permet d'analyser les mécanismes et de les valider sans recourir à la construction de maquettes.

Conclusion

Ce chapitre aide à comprendre la méthode traditionnelle de la conception mécanique. Cette compréhension aide à préparer les questions utiles que le système expert posera aux utilisateurs.

CHAPITRE 4

LOGICIELS DE CAO

Ce chapitre est consacré à l'analyse des types de logiciels de CAO dans le domaine mécanique, à leurs fonctions et à leur interaction (voir la figure 2). Il se termine par la déduction des paramètres essentiels de sortie qui peuvent être considérés comme des buts à atteindre dans un système expert.

4.1 Description générale

Les logiciels de CAO sont classés en trois catégories de base :

1) les logiciels pour le dessin,
2) les logiciels pour la conception,
3) les logiciels pour l'ingénierie.

Si les logiciels sont utilisés seulement pour le dessin, on les appelle le dessin assisté par l'ordinateur (DAO). Dans le CAO (conception assistée par l'ordinateur) on inclut aussi le DAO.

L'expression générale "logiciel de CAO" conduit souvent les non-experts à des confusions. On croit souvent que :

- le logiciel de CAO ressemble à d'autres logiciels tels le Lotus, Database III, etc... pour créer des dessins.
- le logiciel de CAO et les logiciels d'applications sont les mêmes.
- le logiciel de CAO fonctionne indépendamment des autres logiciels ou des caractéristiques de l'ordinateur.
- le logiciel de CAO sert seulement à produire des graphiques.

En réalité, le logiciel de CAO est une combinaison structurée de divers logiciels qui concordent aux caractéristiques de l'ordinateur.

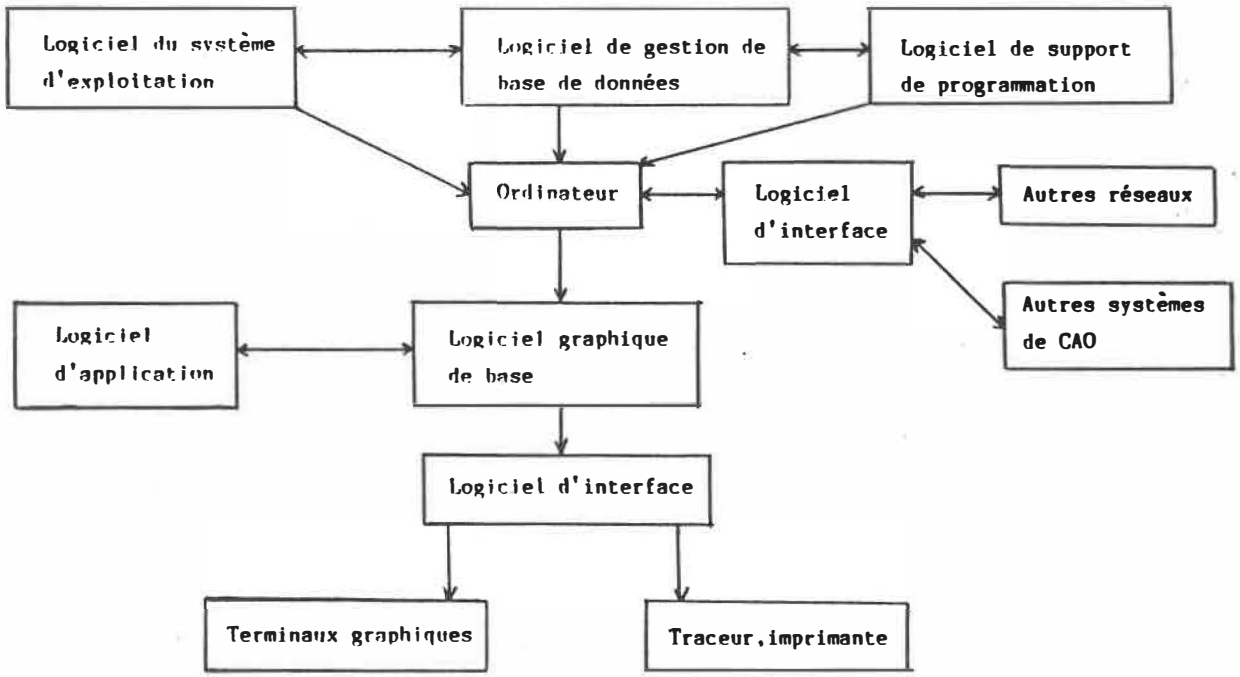


FIGURE 2 : L'interaction de divers logiciels de CAO

Chaque logiciel mentionné a son importance relative, dépendant des besoins de l'application. Il est étroitement lié à d'autres. La performance de l'un dépend de celle des autres.

Tous les logiciels donnent l'efficacité et la fiabilité maximale quand les matériels choisis comme ordinateur, console graphique, tablette à numériser, traceur, etc. qui les supportent sont appropriés.

Par conséquent, les logiciels de CAO et les matériels doivent former un ensemble interrelié pour atteindre un système optimal.

4.2 Fonctions des logiciels de base

Les logiciels graphiques de base de CAO (voir la figure 2) forment un' ensemble de logiciels qui supportent les cinq fonctions suivantes :

4.2.1 Données d'entrée

L'entrée est composée de :

1) Données graphiques :

Elles comprennent :

- la position, les coordonnées, les angles, les distances, les échelles, les directions, les blocs géométriques de base (points, cercle, plan).
- les outils pour faire entrer, positionner, éditer, modifier les blocs géométriques.

2) Données non-graphiques :

Les logiciels de données non-graphiques permettent de créer ou de traiter :

- les mots, les étiquettes, les textes formatés, les types de ligne, les dimensions (linéaire, angulaire, radial, diamétrique).

- les classes de données associées avec les groupes géométriques.
- les rapports sommaires sur les listes de matériaux, les listes des pièces, l'analyse de coût, etc...

4.2.2 Présentation des données

La présentation des données, des vues, des listes, des données graphiques est générée par les logiciels graphiques. Dépendant de la sophistication du logiciel, elle possède les caractéristiques suivantes :

- la possibilité de créer plusieurs vues actives simultanément,
- la flexibilité et le contrôle sur la création des vues,
- le meilleur temps de réponse du système de présentation de vues,
- le catalogue des présentations déjà présentées.

4.2.3 Gestion de base de données

Le logiciel de gestion de base de données a plusieurs fonctions :

- la gestion physique des données : stratégies d'accès aux données, gestion de mémoire, le temps pour dessiner, le nombre de révision de dessins, la comptabilité de l'usage du système;

- la manipulation des données : associer, classifier, garder, retirer les fichiers de dessin, les bibliothèques de fichiers, les descriptions de dessins, etc;
- déterminer et gérer les relations entre les informations graphiques (courbes, surfaces, solide) et les informations non-graphiques (propriété des matériaux, informations sur la structure du produit, sur le contrôle de fabrication);
- l'établissement de la sécurité : les mots de passe, la protection des données-clés.

Sa performance est basée sur les principaux critères suivants :

- la vitesse :

  Elle est influencée par le nombre d'accès pour garder ou pour chercher une donnée. Plus le temps de stocker les données est rapide, plus le temps de recherche de données est lent et vice-versa .
- l'espace-mémoire :

  Il est influencé par la vitesse d'exécution, le degré d'associativité, le nombre de classification.

4.2.4 Communication des données

La communication des données entre les différents terminaux graphiques, les différents réseaux, les différents ordinateurs est assurée par les logiciels d'interface machine - machine.

Il y a deux types de logiciels d'interface :

- l'interface entre les réseaux :

  Exemple : ıEthernet, IBM Bisync, DDMP, UNIVAC 1004/RJE.

- l'interface entre les matériels :

  Exemple :

  les logiciels qui aident l'ordinateur à accepter les données d'entrée qui proviennent de machines d'autres marques.

  les logiciels qui convertissent les données à des formats acceptables pour le traceur.

Normalement, les logiciels d'interface sont inclus dans les bibliothèques de logiciels graphiques puisque la plupart des données communiquées sont graphiques.

4.2.5 Production des données

Ce type de logiciels aide à produire des dessins, des plans, des coupes, des chartes, des graphes, des tableaux, sur les traceurs, destinés à permettre à d'autres services de prendre la suite du travail.

4.3 Logiciels graphiques

Ces logiciels permettent au dessinateur de créer et de manipuler

les entités graphiques sur l'écran en 2D ou 3D. Ils sont divisés en deux catégories :

4.3.1 Logiciel graphique de base

Le logiciel graphique de base affiche sur l'écran les informations qui lui sont transmises (à partir du clavier, de la tablette à numériser) et permet de recueillir les données graphiques destinées au programme d'application.

Dans les logiciels avancés, il existe :

- les blocs de construction géométrique supplémentaire (pour la courbe, la surface, le solide);
- les outils additionnels pour produire la documentation technique;
- l'extension du traitement de données non-graphiques et semi-graphiques telle que :
  - la conversion métrique,
  - la vue automatique ou manuelle de perspective,
  - l'extraction des informations non-graphiques,
  - le transfert de textes au graphiques,
  - la liste de composants et de matériaux.

4.3.2 Logiciel de modélisation tri-dimensionnelle

On distingue trois types de modèle tridimensionnel :

1. le modèle "fil de fer" (*wire frame model*)
2. le modèle "surface"
3. le modèle "solide"

1) Le modèle "fil de fer"

C'est une description des bords d'un objet grâce à une séquence de primitifs (lignes, cercles, arcs) en 2D.

Le modèle "fil de fer" de la première génération basé sur 2D est efficace dans :

- les calculs de surface, de périmètre et de diamètre,
- les dessins d'ingénierie,
- la programmation des pièces plates pour les machines à CN.

2) Le modèle "surface"

Généralement, c'est le modèle "fil de fer" auquel on ajoute la surface définie mathématiquement. Il est utile pour la génération du trajet de l'outil.

3) Le modèle "solide"

Avec la modélisation solide, le calcul des propriétes de masse (surface, volume, poids...) est possible. Il permet de réduire le coût de matériaux et le produit fini aura moins de poids, plus de fiabilité et sera économique en énergie.

La modélisation solide est l'une des méthodes de conception mécanique la plus précise.

Ses avantages :

- la création des images ombrées en couleur et des catalogues des pièces,
- la visualisation de l'apparence du produit,
- elle est utilisée pour l'étude des positions des composants dans un assemblage complexe,
- la continuité des surfaces connectées peut être étudiée,
- la modélisation solide est utilisée dans les études cinématiques pour vérifier les mouvements des composants en 3D,
- elle sert de base pour faciliter la production des modèles avec les éléments finis,
- elle est la clé pour intégrer la CAO et FAO,
- les concepteurs peuvent créer ou modifier, plus vite et avec moins d'erreurs, les composants et assemblages complexes,
- ils peuvent concentrer sur l'analyse plutôt que sur les opérations de génération de mailles,
- la vérification possible de l'interférence des composants,
- le composant peut être coupé pour exposer les détails intérieurs.

Les analystes d'éléments finis peuvent utiliser les données de la modélisation solide pour :

- faire la description des composants et la vérification géométrique,
- les programmes générateurs de mailles qui préparent le modèle pour l'analyse finale,
- Par rapport à l'analyse cinématique, l'utilisation de la modélisation solide augmente la productivité du concepteur par un facteur 4.

Ses désavantages sont :

- 90% de logiciels de modélisation solide ont besoin des logiciels graphiques en 2 D pour produire des dessins de détail,
- c'est plus long de développer les dessins en 2D à partir des modèles en 3D,
- la modélisation solide ne peut pas représenter toutes les formes de pièces. Par contre, quelques unes représentent plus de formes que d'autres.

Les deux approches pour lier la modélisation solide et le graphisme sont :

- le transfert de fichiers entre les deux : la méthode prédominante est l'utilisation du format de l'*International Graphic Exchange Standard* (IGES),
- l'utilisation d'une base commune.

4.4 Logiciels d'application

Les logiciels d'application sont d'une grande variété en raison de la diversité des applications. Comme ils sont souvent vendus séparément et qu'ils ne sont pas toujours disponibles chez le même fabricant, l'utilisateur doit faire des efforts pour les intégrer à son système de CAO ou développer elle-même les programmes pour résoudre ses problèmes spécifiques.

Il y a deux principaux types de logiciels d'application :

4.4.1 Les logiciels d'analyse du processus de conception

Ils sont indispensables pour les différentes étapes de conception telles que l'analyse fonctionnelle, la définition du produit, la simulation, la modélisation et la conception de mécanisme. Ils comprennent :

4.4.1.1 Les logiciels de calcul des propriétés élémentaires de :

- masse (le calcul de surface, de volume, de masse,de moment d'inertie, de centre de gravité, de rayon de gi ration...).
- géométrie (le déplacement, la vitesse et l'accélération).

4.4.1.2 Les logiciels de développement de tôle.

Les logiciels permettent :

- les dépliages des tôles pour créer une maquette en trois dimensions,
- de remodeler la maquette en fonction des informations rentrées,
- de tenir compte des tolérances et des contraintes du pliage (comme l'épaisseur de tôle, la position, le volume).

4.4.1.3 Les logiciels de simulation d'analyse

Les anciennes méthodes de simulation sont :

- la modélisation des mécanismes par une série de corps rigide,
- la partition d'une structure flexible en petits composants,
- l'utilisation des données d'éléments finis pour modéliser les structures flexibles.

Toutefois, elles s'avèrent inexactes ou approximatives ou fausses. Les logiciels de simulation les remplacent efficacement. Ils se concentrent plus sur :

a) l'analyse cinématique, dont les caractéristiques sont :

- une analyse de mouvements sans la force, dont le calcul est axé sur les propriétés de géométrie (déplacements, vitesse, accélération). Son objectif est de déterminer ou confirmer la géométrie appropriée du mécanisme.

- le contrôle des degrés de liberté du système analysé

Dans l'ancienne méthode, les ingénieurs utilisent des dessins en 2D et des calculs mathèmatiques pour faire la simulation. Avec l'ordinateur qui utilise le graphisme interactif, il y a trois éléments nécessaires :

- les consoles de visualisation graphique;

- la base de données géométriques (contenant la géométrie des pièces, des joints et les propriétés de masse) et la base de données cinématiques (contenant les types de joint et leur position, les géométries de joint, ...);

- les programmes d'analyse cinématique qui génèrent les données numériques pour la description des mouvements des pièces;

- l'analyse cinématique a besoin d'une bibliothèque de joints et des blocs de construction graphique (par exemple, pour construire des joints cylindriques, universels, à vis, à engrenage).

La sélection des logiciels de simulation est basée sur :

- la disponibilité de la capacité en 3D,

- la facilité du langage d'utilisation,

- l'adaptabilité du logiciel à des applications graphiques.

Les avantages des logiciels d'analyse cinématiques sont :

- l'analyse cinématique est plus appropriée que l'étude dynamique notamment dans les premières étapes du cycle de conception.

- l'animation de simulation sauve davantage de temps car la construction des prototypes pour les tests n'est plus nécessaire.

- il permet de réaliser un montage d'assemblage correct avant que les composants du mécanisme soient réalisés.

Les désavantages sont :

- il ne règle qu'une certaine classe de problémes,
- chaque logiciel courant de simulation cinématique a une fonction spécialisée.

b) l'analyse dynamique, les caractéristiques sont :

- elle traite les corps flexibles;
- elle tient compte des propriétés de masse et des forces extérieures pour le calcul de la vitesse et l'accélération;
- l'analyse dynamique peut être faite en 2D ou 3D. Toutefois, l'analyse en 3D permet un contôle facile d'interférence.

Les avantages de l'analyse dynamique sont :

- il est plus réaliste que la simulation cinématique,
- ses résultats fournissent des données plus réalistes à l'analyse d'éléments finis,
- l'analyse dynamique peut être intégrée à la base de données de CAO,

- les logiciels d'analyse dynamique des fabricants "clé en main" s'intégrent bien au systéme de CAO,
- il existe des logiciels d'interface qui chargent automatiquement les données de sortie de l'analyse dynamique à l'analyse d'éléments finis,
- grâce à l'analyse dynamique, l'animation de la simulation en temps réel est possible.

4.4.1.4 Les logiciels de conception de matrices

Les anciennes méthodes de conception de matrices sont coûteuses et longues. Elles exigent de nombreux cycles de tests et de mises au point et donnent des interprétations subjectives. Les facteurs tels que le volume de la cavité, les contraintes de la pièce, l'écoulement du fluide et le refroidissement sont habituellement déterminés par des expériences.

Avec la CAO et la FAO, la conception des matrices a besoin de la création de la pièce en 3D. On peut utiliser le modèle "fil de fer", "surface" ou "solide" pour la représentation.

Avec les logiciels de conception des matrices, on peut :

- déterminer le facteur de rétrécissement à partir des modèles;
- déterminer l'écoulement du métal liquide (ferreux, non-ferreux et plastique);
- définir les paramètres pour optimiser le temps de refroidissement;
- montrer la distribution des pressions du fluide dans les cavités;
- visualiser l'écoulement du fluide dans les cavités afin d'optimiser la position des portes;
- concevoir, en parallèle avec la conception de la matrice, l'assemblage qui tient la matrice.

4.4.1.5 Les logiciels d'analyse d'éléments finis

Ils sont appliqués à l'analyse des contraintes mécaniques, l'analyse du transfert de chaleur et l'analyse de la mécanique des fluides.

Il y a deux types d'analyse :

a) *L'analyse linéaire*

Elle occupe environ 80 pour cent du travail de conception.

Ses caractéristiques sont :

- il suppose que les caractéristiques des matériaux sont constantes ;
- il tient compte seulement de petits déplacements par rapport à la taille de la structure;
- il comprend deux sortes d'analyse linéaire :
- l'analyse linéaire statique qui tient compte de la description de la force, la combinaison des charges, la pression hydrostatique, l'effet du poids, l'accélération linéaire et angulaire;
- l'analyse linéaire dynamique qui informe sur les réponses temporelles ou fréquentielles, les fréquences propres, les formes de mode et la superposition modale.

- L'inconvénient, c'est que les logiciels d'analyse linéaire n'offrent pas toutes les caractéristiques d'analyse statique et dynamique.

b) *L'analyse non linéaire*

Elle s'occupe de l'élastoplasticité, le fluage, la haute température, et le flambement .

4.4.2 Logiciels reliés aux procédés de fabrication

Ces logiciels utilisent le graphisme interactif pour répondre efficacement aux problèmes posés par les machines à CN (tours, poinçonneuse et grignoteuse).

Ils servent à :

- la préparation de la séquence d'usinage des pièces et des programmes pour les machines à CN,
- la vérification graphique visuelle du trajet de l'outil,
- la présentation graphique du matériel, des montages d'usinage et de l'outil.

4.5 Les paramétres de logiciels de CAO

Après avoir étudié, en général, les caractéristiques, les avantages et les désavantages de différents logiciels de CAO, nous essayons

maintenant de dégager les paramètres qui peuvent représenter les conclusions d'un système expert (voir la figure 3).

La prise en compte des caractéristiques détaillées de chaque type de logiciels est impossible dans un système expert à cause des raisons suivantes :

- les caractéristiques de chaque type de logiciel sont nombreuses;
- à cause des progrès technologiques incessants, elles doivent subir constamment des changements. L'une des caractéristiques jugée merveilleuse aujourd'hui, sera désuète demain;
- les logiciels de différentes marques tendent à avoir les mêmes caractéristiques;
- la prise en compte des caractéristiques détaillées crée une explosion des cas à étudier, ce qui rend le système expert irréalisable.

Donc, on ne tient compte que des paramètres généraux (ou des conclusions générales). Ici, nous supposons que l'entreprise n'a pas encore de système d'ordinateur pour éviter les cas complexe d'adaptabilité des futurs logiciels à des matériels existants.

4.6 Conclusion

Ce chapitre dégage les paramètres qui peuvent entrer dans les conclusions d'un système expert. Sans ces paramètres, le système expert ne peut donner aucun conseil sur le choix des caractéristiques des logiciels de CAO.

NIVEAU 1	NIVEAU 2	NIVEAU 3	NIVEAU 4	NIVEAU 5
1) Logiciel pour le dessin	a) Entrée de données	a1) axée sur les données graphiques a2) axée sur les données non graphiques		
	b) Présentation des données c) Gestion de la base de données d) Communication de données e) Production de données			
2) Logiciel pour la conception	a) Logiciels graphiques	a1) Logiciel graphique de base	a11) Logiciel graphique standard a12) Logiciel graphique avancé	
		a2) Logiciel de modélisation tridimensionnelle	a21) Modèle "fil de fer"	a211) Modèle "fil de fer" en 2D a212) Modèle "fil de fer en 3D

TABLEAU 4 : Description des paramétres des logiciels de CAO

NIVEAU 1	NIVEAU 2	NIVEAU 3	NIVEAU 4	NIVEAU 5
			a22) Modèle "surface"	a222) surface de révolution a223) surface sculptée
			a23) Modèle "solide"	
	b) Logiciel d'application	b1) Logiciel de calcul des propriétés élémentaires		
		b2) Logiciel de dépliage de tôle		
		b3) Logiciel de simulation	b31) Analyse cinématique	
			b32) Analyse dynamique	b321) en 2D b322) en 3D
		b4) Logiciel de conception de matrices	b41) avec le modèle "fil de fer"	
			b42) avec le modèle surfacique	
			b43) avec le modèle "solide"	

TABLEAU 4 (suite)

NIVEAU 1	NIVEAU 2	NIVEAU 3	NIVEAU 4	NIVEAU 5
		b5) Logiciel d'analyse d'éléments finis	b51) Analyse linéaire	b511) Analyse linéaire statique b512) Analyse linéaire dynamique
			b52) Analyse non linéaire	
		b6) Logiciel relié aux procédés de fabrication		

TABLEAU 4 (suite)

CHAPITRE 5

MÉTHODES DE SÉLECTION D'UN SYSTÈME DE CAO

Dans ce chapitre, nous abordons en détail les étapes de sélection d'un système de CAO Il est clair que la sélection des matériels et logiciels ne peut être séparée.

Cependant, vouloir s'équiper en CAO appartient au degré de volonté de l'entreprise.Le rôle de la haute direction est crucial.

5.1 Rôle de l'administration

La forte volonté de la haute direction de l'entreprise détermine grandement le succès d'intégration de la CAO dans la PME. Une attitude totalement nouvelle de la part de la direction est requise. Elle doit être capable de :

- saisir les points essentiels pour se concentrer seulement sur les problèmes réels malgré l'étrangeté de la terminologie de la CAO et sa publicité.
- développer un plan cohérent qui aide à dégager les besoins réels de l'entreprise.
- préparer une organisation adéquate pour confronter l'impact de l'arrivée de la CAO.
- amener son organisation à mener une analyse adéquate de l'ancienne méthode de travail et à définir les besoins de l'entreprise.

En réalité, les responsables de l'entreprise sont lents à agir bien qu'ils vivent dans un monde de concurrence croissante. Ce n'est pas parce qu'ils manquent de volonté mais parce qu'il existe plusieurs facteurs négatifs tels que :

- le changement trop rapide de la technologie, ce qui laisse le décideur dans l'embarras et dans la méfiance,
- la résistance au changement du personnel,
- le manque d'implication de différents niveaux d'organisation,
- la peur du risque,
- la planification basée sur le court terme,
- le manque de communication entre les dirigeants,
- l'ignorance des nouvelles technologies de la part de la haute direction.

5.2 La sélection des logiciels de CAO

Le système de CAO est considéré comme une réunion :
- d'utilisateurs (concepteurs, ingénieurs, dessinateurs),
- de matériels (ordinateur, système de communication, de stockage, dispositif graphique),
- et de logiciels (programme pour les calculs, d'archivage, de présentation graphique).

Il concourt à la résolution d'un problème (conception d'un objet) en tenant compte de contraintes (de coûts, de technologie, de marché). La sélection du système sous-entend qu'il faut savoir trouver les meilleurs côtés du mariage entre les besoins, les matériels et les logiciels. On cherche un compromis qui s'avère le plus rentable.

La sélection du système doit tenir compte des facteurs suivants :

- la fiabilité du système

- l'interface homme-machine

- le temps de réponse du système

- les performances du système dans le dessin et la conception mécanique, l'analyse d'ingénierie
- les possibilités des logiciels
- la modularité et souplesse possible en cas d'extension éventuelle
- la garantie, le service après-vente du fournisseur
- la qualité de la maintenance
- le soutien du vendeur pour les matériels et les logiciels
- la crédibilité du fournisseur dans le marché de CAO

Il pourra être :

a) système "à tout faire" versus système "à bon marché", spécialisé seulement en dessin.

b) système basé sur le mini-ordinateur versus système basé sur le micro-ordinateur.

c) système autonome versus système partagé.

d) système clé en main versus système spécialisé.

e) l'acquisition immédiate d'un système complet versus l'acquisition d'un système minimal puis l'expansion dans les années à venir.

Plusieurs consultants comme : Charles S.Knox "*CAD/CAM system planning and implementation*", MBC Group "*CAD/CAM corporateplanning strategic guide*", S.H. Chasen and J.W.Dow "*The guide for the evaluation and implementation of CAD/CAM*", le centre de CFAO d'Ontario (OCAM) (voir (6)) ont proposé les méthodologies pour l'évaluation et la sélection de CAO. Heureusement, toutes les méthodes et les stratégies sont similaires.

5.3 Étapes de sélection

Voici le résumé de différentes étapes de processus de sélection du système de CAO que l'équipe pluridisciplinaire de responsables techniques va suivre :

5.3.1 Étude de faisabilité

a) Étude du processus actuel de conception

b) Étude de possibilités offertes par la CAO

c) Analyse des besoins

d) Détermination des objectifs

e) Analyse de rentabilité du projet et justification

5.3.2 Planification du projet et l'acquisition du système

a) Cahier des charges fonctionnel, détaillé du système de CAO

b) Sélection du système

c) Évaluation de performance

5.3.3 Implantation

a) Plan d'implantation

b) Implantation du système

c) Évaluation du système

Ces 3 grandes étapes ont chacune une importance égale. S'il y a une faiblesse dans l'une de ces 3 étapes, la réussite d'un système de CAO sera compromise.

5.4 Étude détaillée des étapes

5.4.1 Étude de faisabilité

L'étude de faisabilité permet de connaître la situation actuelle, de proposer des changements et élaborer un ensemble d'actions appropriées. Elle nous conduit à différentes alternatives comme :

a) le statut-quo

b) l'amélioration de la méthode conventionnelle de travail

c) l'utilisation fréquente du sur-temps

d) l'emploi du personnel supplémentaire

e)l'augmentation de la sous-traitance

f) l'acquisition d'un système de CAO qui est sous forme de :

- l'achat direct
- l'achat par étapes
- la location
- l'achat d'un système usagé
- le temps partagé

5.4.1.1 Étude du processus actuel de conception

L'analyse du processus actuel de conception doit identifier et faire ressortir :

- les lacunes et les problèmes à remédier comme :
  - le manque de qualité des produits fabriqués
  - le temps de réponses aux appels d'offres trop long
  - le coût d'études élevé
  - les devis n'utilisant pas les études antérieures
- les informations quantitatives sur chaque étape de processus :
  - le nombre d'opérations sur l'objet conçu
  - la proportion de temps consacrée à la création, aux dessins, à la conception, aux documentations et aux mises à jour
  - l'appel à la sous-traitance
  - les outils informatiques déjà utilisés
  - l'existence ou l'inexistence de normes
  - le nombre de dessins
- les informations qualitatives :
  - la nature des informations échangées, reçues ou élaborées
  - le degré de couplage production-conception
  - la gestion des nomenclatures

-la complexité des dessins

- les relations entre les personnes concernées telles que :

  les ingénieurs, les concepteurs et les dessinateurs

  leur nombre

5.4.1.2 Étude de possibilités offertes par la CAO

L'équipe de sélection commence avant tout les recherches sur :

- les matériels et logiciels des systèmes commerciaux pour comprendre les possibilités technologiques et leur limite.
- les vendeurs, fabricants avec leurs points forts et faibles (réputation, référence, garantie, service après- vente, documentation, formation...).

Puisque la technologie de CAO est toujours en évolution, il doit être en état de revision permanente de ses connaissances, surtout dans toute la période de sélection.

Une connaissance superficielle sur la CAO entraînera des décisions néfastes et une mauvaise sélection.

5.4.1.3 Analyse des besoins

C'est l'étape importante pour connaître ce que veut l'organisation. L'analyse doit être fait minutieusement et objectivement. Il faut tenir compte des besoins locaux (à un département) et des besoins généraux (à toute l'organi-

sation). Ces derniers sont connus grâce aux questionnaires, entrevues, études et analyses des documents.

Habituellement, les besoins d'une entreprise sont multiples, tels que :

1) L'amélioration de l'organisation
   - mise en mémoire des pièces déjà dessinées
   - classement des dessins
   - standardisation des pièces mécaniques
2) L'amélioration de la performance dans :
   - les calculs et analyses de pièces et de structures
   - la conception des pièces
   - l'élaboration des devis
   - la préparation du travail de l'atelier
3) La préparation à l'informatisation
   - formation et perfectionnement pour toutes les opérations du bureau d'études.

5.4.1.4 Détermination des objectifs

L'analyse des besoins permet de déterminer les objectifs à atteindre.

Les objectifs doivent être absolument clairs, découlant d'une stratégie ferme, d'une ligne de conduite exempte d'hésitation. Il y a 3 objectifs principaux.

- Les objectifs financiers sont :

- le retour sur l'investissement
- l'augmentation de productivité individuelle et générale
- la réduction des coût de conception
- la réduction du temps de conception qui accélère la mise du produit sur le marché

- les objectifs techniques :
  - Ils se confondent avec les besoins définis par l'étape précédente.
- les objectifs ergonomiques :
  - Ils concernent un bon environnement pour les travailleurs. Les facteurs ergonomiques tels que le niveau de lumière, la fatigue des yeux, les heures de travail, l'espace de travail, la largeur de l'écran, la résolution des images doivent être considérés pour optimiser la performance des travailleurs.

5.4.1.5 Analyse de rentabilité du projet et justification

C'est l'étape la plus importante et la plus difficile dans l'étude de faisabilité. On peut la subdiviser en deux parties principales :

- l'analyse économique

Le projet accepté est le projet qui offre le plus grand retour d'investissement et qui répond aux besoins stratégiques de l'entreprise.

- l'analyse des besoins, désirs et risques

  Il faut trouver un compromis équilibré entre ces 3 éléments. Le système de CAO choisi doit répondre primordialement aux besoins spécifiés dans l'étape précédente. Cependant, il faut aussi tenir compte des désirs venus de l'organisation et des individus. Donc, la prise en compte d'une certaine souplesse entre les besoins et les désirs est inévitable.

Enfin, le risque tel que le rejet du système par les utilisateurs, l'excès des coûts, le marché changeant, doivent être aussi bien jugés.

5.4.2 Planification du projet et l'acquisition du système

L'objectif de cette étape est d'abord d'organiser et de classifier les informations détaillées reçues de l'étape précédente pour les spécifications du projet et la sélection du système.

5.4.2.1 Le cahier des charges

Il y a un cahier des charges, comportant la description des différents besoins ainsi qu'une définition des moyens. Il est

utilisé dans les appels d'offres qui sont envoyés aux fournisseurs potentiels (voir l'annexe 1).

5.3.2.2 La sélection du système

Les critères du cahier des charges vont servir à évaluer les propositions offertes par les fournisseurs (voir l'annexe 2).

Etant donné la multitude de propositions évaluées à travers une cinquantaine de paramètres, une approche matricielle comportant l'attribution de coefficient d'importance à chaque paramètre et ensuite une note de satisfaction du paramètre par chaque proposition est utilisée. Cette méthode d'évaluation permet de choisir deux ou trois systèmes lesquels seront soumis à un test de performance.

On note que les comparaisons entre les systèmes de CAO sont relatives car on compare les systèmes de techniques similaires et dans la plupart des cas, ne tient pas compte des implications organisationnelles et d'application.

5.4.2.3 Le test de performance

C'est l'étape finale du choix de système de CAO. Les tests de performance chez les vendeurs axés sur :

- les tests fonctionnels prouvant le fonctionnement réel des fonctions souhaitées,

- les tests de productivité qui précisent la vitesse et la facilité d'utilisation du système.

Voir l'annexe 3 pour avoir l'idée de la comparaison de performance de différents systèmes.

5.4.3 Implantation

L'implantation du système de CAO est un processus long et évolutif qui nécessite l'engagement et la patience des gestionnaires et des programmes de formation. Elle dépend du contexte de chaque entreprise et de l'importance des applications envisagées.

5.4.3.1 Plan d'implantation

Le plan d'implantation doit tenir compte des points suivants :

- la préparation des sites :

  L'environnement des sites (température, humidité, pollution, besoin d'énergie) doivent être correctement contrôlés. L'emplacement des matériels (ordinateurs, périphériques), la préparation des salles pour l'unité centrale de processeur et pour l'usager doivent aussi être bien étudiés.

- les tests d'acceptation :

  Les sites seront vérifiés et testés par l'ingénieur responsable avant l'installation du sytème.

- le plan de formation :
  - choix du type de formation (formation interne des opérateurs ou engagement des opérateurs en CAO)
  - les méthodes et calendriers de formation
  - les moyens d'évaluer l'efficacité de formation
  - le changement dans la description des tâches
  - la création de nouveau poste de travail
- les procédures d'opération :
  - les procédures techniques (grandeur de dessins, format, pièces standards, bibliothèques des composants)
  - l'établissement des mots de passe, de la protection de
  - la base de données
  - les procédures pour faire le rapport sur le système
  - les procédures de sauvegarde des fichiers
  - les procédures d'utilisation d'imprimante et de traceur
  - les listes de "faire" et "ne pas faire" pour l'usager.

5.4.3.2 Implantation du système

5.4.3.3 Évaluation du système

5.5 Conséquences d'implantation de CAO

D'après "CAD/CAM CAE Survey, review and buyers guide" de

Daratech (3), l'utilisation de la CAO apportera, inéluctablement, les conséquences suivantes :

- des nouvelles perceptions de la compagnie de la part des clients et du public,
- au niveau organisationnel, un changement profond de la structure de l'entreprise telle que :
  - les circuits d'information de l'entreprise
  - les méthodes de contrôle de l'information
  - les procédés de fabrication
  - les stratégies de marketing, de vente et de distribution
- au niveau technique, des changements majeurs dans :
  - la standardisation de dessins, des pièces et des outils
  - la numérotation des pièces
  - la structuration et la mise à jour de la nomenclature
  - le travail en sous-traitance
  - la méthode de conception
- au niveau humain :
  - des modifications dans les contenus des tâches, les habitudes
  - de travail, les formes de travail (par exemple, travail à l'écran),
  - la mise en question des rôles, des responsabilités et les pouvoirs du personnel
  - la nécessité de la présence de personnel qualifié

- la nécessité de formation et de recyclage des concepteurs et des dessinateurs.
- au niveau financier :
  - un coût élevé d'achat et d'installation
  - un coût de formation

Dépendant du degré d'intégration de CAO, ces conséquences bouleversent plus ou moins l'organisation traditionnelle de l'entreprise et engagent cette dernière à adopter une nouvelle voie qui pourra être irréversible. Elles varient suivant le type de l'entreprise. Puisque la CAO est une nouvelle expérience, les experts ne connaissent pas encore en détail les conséquences pour chaque champ d'activité de l'entreprise.

Souvent, les équipes de sélection de CAO ignorent ou sous-estiment ou évaluent mal ou planifient mal les conséquences parcequ'ils perdent leurs efforts dans l'étude des besoins et l'évaluation de différents systèmes de CAO.

Même les consultants concentrent leurs travaux dans la sélection du système et de logiciels idéaux et ne font pas d' études détaillées sur les conséquences directes et indirectes de l'arrivée de la CAO. Dans la plupart des cas, les responsables de l'entreprise les confrontent seulement après l'implantation du système. Donc, il arrive des imprévus

qui causent des dommages à l'entreprise ou l'échec même du système de CAO.

Bref, le problème d'implantation de CAO n'est pas technique par nature. Mais il est plutôt organisationnel. Les responsables de l'entreprise doivent être avertis de ce problème dès le début du projet. La partie "Implantation" est aussi importante que les deux premières étapes. Or la réalité est que les PME manquent des ressources humaines et financières pour mener une étude valable sur la troisième étape.

En conclusion, un système expert sur la CAO doit nécessairement inclure une partie d'avertissements et de conseils sur les conséquences de l'implantation de la CAO.

5.5 Conclusion

Ce chapitre concentre sur la compréhension de la méthode de sélection des logiciels de CAO utilisée souvent par les consultants. Cette compréhension nous aide à trouver si le système expert peut remplacer cette méthode traditionnelle de sélection des logiciels de CAO. Le chapitre 11 répondra à cette question.

CHAPITRE 6

SYSTÈME EXPERT

Ce chapitre résume les différentes méthodes de représentation de connaissances, le processus de construction d'un système expert et les critères d'évaluation. de performance de systèmes experts.

6.1 Technique de représentation de connaissances

Les méthodes de représentation de connaissances comprennent les méthodes de base et les méthodes hybrides.

Chaque méthode de base (système de production, logique des prédicats, réseaux sémantiques, cadre, dépendence conceptuelle, scénario, logique floue, logique modale) a ses avantages et ses lacunes.

Quant à la méthode hybride, amalgame de différentes méthodes de base, il cherche à atteindre les objectifs idéaux :

- l'application du formalisme à une grande diversité de domaines,
- l'amélioration de la performance du sytème de représentation,
- la réduction des lacunes des formalismes,

- la rapidité et la facilité d'expression de connaissances
- la représentation plus exacte, plus proche à la pensée humaine qui doit inclure l'action, le temps, la causalité, l'état du monde, l'objet, la possession, le cas typique, la responsabilité, l'autorité et le changement de situation.

Dans cette partie, nous abordons le système de production et les réseaux sémantiques.

6.1.1 Système de production

Dans un système de production, les deux constituants classiques de la base de connaissance sont une base de règles et une base de faits. Ils sont contrôlés par les stratégies de recherche du moteur d'inférence qui se situe souvent dans l'interpréteur.

Sa base logique provient soit de la logique propositionnelle, soit de la logique du prédicat du 1er ordre dans laquelle il y a la considération de variable (Par exemple, le squelette de M.1).

Les règles de production ne sont pas limitées par la clause de Horn comme les règles de PROLOG. Elles peuvent avoir un ou plusieurs antécédents liés par les opérateurs ET, OU et une ou plusieurs conclusions liées par ET. Elles sont sous les formes suivantes :

- couple situation-action, couple condition-action,
- couple prémisse-conclusion, couple antécédent-conséquence.

  Exemple : Si "situation" alors "action".

Elles sont indépendantes l'une de l'autre au point de vue de connaissances. Cependant, elles sont reliées entre elles par une chaîne d'inférence dont la conséquence d'une règle est l'antécédent d'une autre règle. Ces réseaux d'inférence créent la structure d'arbres avec les noeuds et les feuilles terminales.

Les avantages du système de production sont la modularité, la déclarativité des règles, la clarté conceptuelle, la facilité de développement incrémental, l'accessibilité aisée à la base de connaissance.

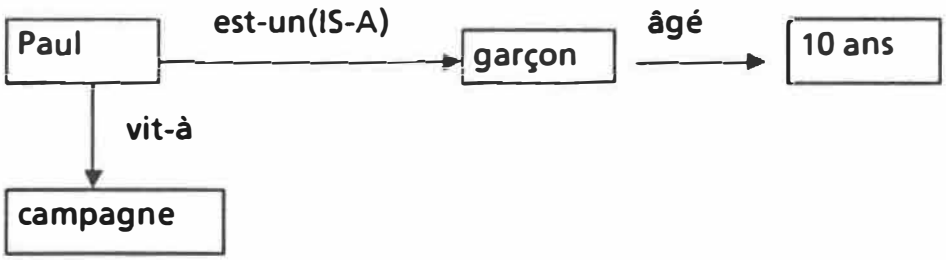
Toutefois, la méthode des règles de production est plus approprié à un certain domaine que d'autres.

6.1.2 Réseaux sémantiques

Le système de production est insuffisant pour décrire des faits à propos d'objets du monde réel. La méthode de réseaux sémantiques comble cette lacune.

Les connaissances dans le réseau sémantique sont codées sous forme de noeuds reliés entre eux par des ensembles d'arcs étiquetés. Les noeuds représentent les concepts, les objets, les circonstances et les arcs, les relations, l'association, etc...

Exemple :



Ils sont représentés, dans la mémoire, par la paire attribut-valeur. Avec l'exemple précédent, on a, en PROLOG :

- est-un (Paul, garçon)
- âgé (garçon, 10 ans)
- vit-à (Paul, campagne)

a) Ses avantages sont :

- la capacité de représenter les sous-classes et les différents éléments de la taxonomie.

- le réseau sémantique possède les puissances de la logique du prédicat du premier ordre comme la quantification, la négation, l'implication et la conjonction.

- Il y a l'héritage de propriétés des noeuds les plus élevés vers des noeuds fils.

b) Son désavantage est :

- Il manque un mécanisme d'inférence.

En résumé, le système de production et le réseau sémantique ont chacun leurs lacunes. Les systèmes de représentation de connaissances actuels s'orientent de plus en plus vers des systèmes hybrides qui sont la combinaison de système de production et du réseau sémantique.

Les avantages du système hybride sont :

- il garde la modularité des règles de production et une description structurée de données.

- Il offre à l'usager, plus d'un langage d'expression de connaissances.

- Il peut traiter simultanément les connaissances assertionnelles (faits, croyance) et terminologigues (déclaration des éléments de la taxonomie).

6.2 Processus de construction d'un système expert

6.2.1 Processus de construction

Le processus de construction du système expert est un processus interactif, basé sur plusieurs étapes à suivre. Aucune construction n'échappe à ces étapes. Chaque intération apporte une amélioration du prototype. L'inconvénient est que le processus est toujours long.

La construction d'un système expert est un travail patient, emmêlé de l'acquisition de connaissance et l'essai de prototype.

Sa principale difficulté est reliée à la méthode pour acquérir les connaissances. Il y a deux méthodes principales :

1) la réalisation rapide des prototypes dans lesquels le travail de l'acquisition de connaissance et l'implantation de prototype est mélangé. Cette méthode est appliquée au

squelette d'*INSIGHT 2* que nous décrirons dans les prochains chapitres.

2) l'acquisition de connaissance structurée. Cette méthode sépare l'acquisition de connaissance de l'implantation du prototype.

Le cogniticien conçoit d'abord l'architecture de connaissance qui fait ressortir les concepts, les objects et leurs fonctions, la classification des objets, les catégories de problèmes, les sous-classes, les relations entre les classes, entre les objets etc. Cette structure de connaissance sera ensuite evaluée par un expert.

La différence est que l'évaluation de cette structure sera portée plus sur le processus de la résolution de problèmes. Tandis qu'avec le prototype, on concentrera plus sur la performance du système.

C'est seulement après avoir obtenu une structure valable de connaissance que l'on procèdera à construire le prototype.

Cette méthode sauve du temps puisque modifier une structure conceptuelle demande moins d'efforts que de corriger le prototype. Cette méthode d'acquérir les connaissances est utilisée par *Arity 1 Expert*.

Voici les importantes étapes du processus de construction du système expert (voir la figure 3) :

A) Identification du problème

Le cogniticien mène une étude sommaire du domaine pour identifier l'applicabilité.

Si ce dernier est facile, utiliser la programmation conventionnelle peut être préférable. S'il est complexe, ambigu, ou ne peut pas être bien défini, il est préférable d'abandonner le projet. L'évaluation de l'applicabilité à un domaine doit être soigneusement examinée.

Cette étape est cruciale pour savoir s'il faut s'engager ou non dans un projet qui deviendra très coûteux.

B) Acquisition de connaissance

B.1) Étude du domaine

Le cogniticien approfondit le domaine grâce à des livres, des articles, des revues, des entrevues avec les experts, etc. Cette période produit des critères généraux pour la sélection de la méthode de représentation de connaissance, les langages de programmation et le squelette du système expert.

B.2) Analyse du domaine

En analysant et en catégorisant le domaine de connaissance, celui-ci peut être décomposé en sous-domaine. On essaie de le limiter le plus possible.

À partir de l'analyse du problème, le cogniticien doit définir les objectifs, puis procéder à une recherche des solutions possibles et à l'étude de faisabilité des solutions trouvées.

C) Conception de la base de connaissance

Le cogniticien doit définir clairement les concepts, les objets, les propriétés, les attributs et leur relation. Cette étape est assez difficile en pratique puisqu'il ne collecte pas encore assez les connaissances du domaine. Par conséquent, la définition des concepts, des paramètres est encore vague, manquante et simpliste.

C'est seulement après avoir réalisé plusieurs prototypes qu'il peut concevoir une base de connaissance solide, bien structurée, logique et proche de la réalité.

L'interface avec l'utilisateur, l'un des éléments importants du système expert commercial, doit être aussi étudié pendant cette période. S'il est laissé à la fin du projet, on perdra plus de temps pour le réaliser parce qu'on doit corriger ou modifier le programme déjà fait. Donc, pour éviter ce double travail,

l'interface est étudié, conçu et testé en parallèle avec la construction de la base de connaissance.

Bref, une idée générale des éléments importants comme la connaissance du domaine, la technique de représentation de connaissance, le squelette du système expert, la grandeur approximative du projet, l'interface avec l'usager doit être définie avant de passer à la prochaine étape.

D) Développement et implantation

Le cogniticien codifie les connaissances avec le langage du squelette du système expert choisi. L'objectif est de rendre le prototype d'essai opérationnel.

E) Test, évaluation et raffinement

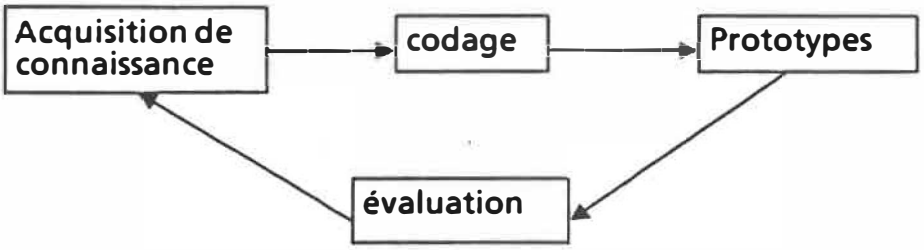
Le prototype sera évalué par différents experts et il sera vérifié, corrigé en conséquence. Si c'est nécessaire, il faut reconcevoir un nouveau prototype,.changer soit le formalisme, le langage de programmation ou l'expert.

Le premier prototype sert aussi à juger la faisabilité du domaine et la performance du squelette du système expert. On peut prévoir les stratégies à prendre et la grandeur du projet.

Quant au prototype final, il est courant qu'on réécrive le système dans un langage de programmation plus performant.

FIGURE 3 :

LE PROCESSUS ITÉRATIF DE CONSTRUCTION DE LA BASE DE CONNAISSANCE



6.2.2 Prototypes

Il existe actuellement un grand nombre de système experts d'application. Chaque jour, naissent sans cesse de nouveaux systèmes. Toutefois, seulement un petit nombre atteint le stade commercial. Ils sont décrits exclusivement dans les articles ou les revues spécialisées. L'annexe 4 montre les différents prototypes.

6.3 Critères d'évaluation

Le squelette du système expert est composé de :

- un moteur d'inférence
- un langage de représentation de connaissances
- des outils de développement comme l'éditeur de textes, de règles
- et des outils de tests et de mise au point comme le mécanisme de trace, le dépistage d'erreurs syntaxiques et logiques.

Pour évaluer les squelettes du système expert, on tient compte de trois critères principaux :

6.3.1 Interface

L'interface est un moyen de communication pour la présentation, l'explication et l'interaction avec l'usage. Il y a 5 sous-critères :

1) L'interface avec l'utilisateur

- Les commandes et la façon de présentation sur l'écran sont-elles aisées, compliquées, ambigues, difficiles à mémoriser ou inesthétiques ?
- Un non-informaticien peut-il apprendre dans un temps limité?

2) L'accessibilité au système

- Elle détermine le degré de facilité de l'apprentissage et l'utilisation du squelette du système expert ?

- Ce dernier demande-t-il un programmeur ? Un expert peut- il l'apprendre aisément ?

3) Le mode d'acquisition de connaissance

- Chaque squelette a son mode d'acquisition de connaissances. Il se différencie par la façon dont les connaissances sont capturées et entrées dans le système.

- Le système aide-t-il le cogniticien à définir clairement la structure de connaissances ?

- Le type de mode garantit-il la complétude et la cohérence de la structure de connaissances ?

- Requiert-il un cogniticien spécialisé ?

4) La documentation du système

- La documentation du squelette est-elle assez claire et complète pour un expert non-informaticien ?

- Est-elle succincte, ambigue, manquante, difficile à comprendre?

- A-t-elle assez d'exemples concrets pour expliquer les nouvelles notions, les fonctions et pour bien utiliser le fonctionnement du squelette ?

5) Le soutien de la formation

- Le fabricant du squelette fournit-il des programmes de formation à l'acheteur ?

- S'il y en a, quel est le temps de formation requis ?

6.3.2 Technicité

La technicité du squelette du système expert comporte plusieurs sous-critères dont l'importance et la nécessité dépendent de l'application envisagée. Il y a huit sous-critères :

1) La méthode de représentation des connaissances

- La présentation des connaissances traite-t-elle les variables discrètes ou continues ? Inclue-t-elle la logique floue ?

- Y-a-t-il de l'héritage de propriétés entre les objets ?

2) La technique d'inférence

- La stratégie de contrôle du système est-elle en chaînage arrière, en chaînage avant ou en chaînage mixte ?

3) La capacité des règles

- Quel est le maxinum de règles que le système peut recevoir ?

4) La vitesse d'exécution du moteur d'inférence

- La vitesse d'exécution est-elle raisonnable pour l'application donnée ?

- Est-elle assez rapide pour des applications à temps réel (par exemple, le système expert pour le contrôle de procédé) ?

5) Le contrôle de la stratégie de recherche

Peut-on commander l'ordre de et l'éxécution des règles ?

6) La portabilité

Le programme du système expert et le squelette peuvent- ils être transportés à un autre environnement d'ordinateurs ?

Exemple : le squelette Rulemaster est écrit en langage C, ce qui lui permet de marcher avec les systèmes d'exploitation UNIX, VMS ou PC-DOS.

7) L'accès à d'autres bases de données

- Le système expert peut-il appeller et utiliser les données contenues dans les bases de données séparées ?

- Les données communiquées sont-elles de type symbolique ou de type numérique ?

8) L'encastrement

- Le système expert peut-il être encastré dans d'autres logiciels d'application écrits en d'autres langages ?

6.3.3 Fonctionnalité

Il y a six sous-critères :

1) La modifiabilité

- Quelle est le degré de modifiabilité pouvant affecter une base de connaissance à chaque fois que le système expert est reprogrammé ou reconstruit ?

- Faut-il reconcevoir partiellement ou totalement le programme du système expert à chaque test ou à chaque implantation du prototype ?

2) Le type de données

- Le système est-il capable de traiter simultanément les données symboliques (mot, expression, phrase) et les données numériques ?

- Peut-on utiliser ces dernières dans n'importe quel ordre ? dans n'importe quelle succession ?

3) L'information probabilistique

- Le système peut-il s'occuper des données inconnues, incomplètes ou imprécises ?

- Peut-il inférer probabilistiquement ?

4) L'inconsistance

Le système peut-il faire face à des cas de contradictions, à des conflits dans les règles ?

5) L'expansibilité

Peut-on ajouter les nouvelles règles à une base de connaissance déjà construite ? Autrement dit, le système peut-il s'auto-apprendre à partir des expériences ?

6.4 Les problèmes des squelettes de système expert basés sur le micro-ordinateur

Le programme du système expert exige habituellement un grand volume de connaissances codées et requiert toujours soit une relation complexe entre les propriétés et objets, soit des longs réseaux d'inférence. De plus, son développement entraîne plusieurs sous-tâches techniques à résoudre.

Sur le micro-ordinateur, les sous-problèmes rencontrés sont encore plus nombreux comme :

- l'optimisation de la recherche de règles pour réduire le temps d'exécution,
- la gestion optimisée de la mémoire de l'ordinateur pour profiter au maximum de l'espace-mémoire,
- la limitation plus poussée des connaissances du domaine afin que le système expert puisse s'adapter à un micro- ordinateur,
- la création des méthodes de codage des connaissances pour faciliter la compréhension, la correction, le dépistage d'erreurs et les repérages de connaissances,
- la conception ou la modification de l'interface pour rendre plus communicable avec l'usager, pour personnaliser le système expert.

À part ces problèmes, les squelettes basés sur le micro- ordinateur ont aussi les faiblesses suivantes :

- Ils n'ont pas la capacité de résoudre une grande diversité de problèmes puisque leurs techniques d'inférence sont limitées (chaînage avant ou chaînage arrière). Ils sont beaucoup moins versatiles que ceux basés sur le mini- ordinateur.

- Beaucoup de problèmes ne sont pas réglés par le chaînage arrière, qui est efficace seulement quand le nombre de solutions (ou conclusions) du problème n'est pas trop grand.

- La plupart des squelettes traite seulement les faits mais rarement les suppositions et les hypothèses.

- Le manque d'une véritable gestion de base de données et de la sophistication de calcul mathématique dont plusieurs applications ont besoin.

- La difficulté de raisonner avec les séquences d'événements, avec les conséquences hypothétiques d'une décision.

- La limitation de la mémoire et du traitement.

À cause de ces restrictions, les squelettes basés sur le micro-ordinateur sont utiles pour :

- le développement des prototypes de démonstration
- le développement des prototypes à l'intention des gros systèmes
- l'enseignement des systèmes experts à des débutants.

6.5 Conclusion

Ce chapitre montre les différentes méthodes de représentation de connaissances et les critères d'évaluation des squelettes du système expert. À partir de ces derniers, nous ferons le choix d'un squelette du système expert qui sera le mieux adapté à notre projet.

CHAPITRE 7

ÉTUDE DE FAISABILITE DU SYSTÈME EXPERT EN CAO

7.1 Critères de faisabilité

Dans ce chapitre, les critères généraux de faisabilité d'un système expert sont présentés. On vise ,dans ce projet, la réalisation d'un système expert pour la spécification des logiciels de CAO en mécanique. Ensuite, les caractéristiques du problème posé et les critères généraux sont comparés pour dégager le degré de faisabilité du projet.

Les critères généraux de faisabilité d'un système expert sont :

Critère 1 L'insatisfaction et la difficulté de la technique de programmation traditionnelle.

Critère 2 L'existence d'experts pour le domaine donné.

Critère 3 L'acceptation générale des experts sur le domaine. Autrement dit, il est souhaitable que les connaissances ne fassent pas l'objet d'une controverse entre les spécialistes.

Critère 4 Le problème doit être modeste, clairement défini et délimité avec précision.

Critère 5 Le caractère décomposable du domaine.

Critère 6 La nature combinatoire du problème : le système expert est utilisé dans les situations où il y a un grand nombre de données à analyser, où il y a un grand nombre de possibilités à considérer.

Critère 7 La résolution conventionnelle du problème a besoin plus de trois heures. Le problème ne doit pas demander une analyse trop poussée.

Critère 8 Le caractère symbolique plutôt que numérique de l'information.

Critère 9 La solution du problème évoque des chaînes de raisonnement.

Critère 10 La nécessité du raisonnement symbolique et heuristique.

Critère 11 La disponibilité des cas de test pour la vérification.

L'idéal est que le domaine d'étude envisagé possède simultanément tous ces critères mentionnés.

7.2 Discussion

Nous discutons quelques critères de faisabilté mentionnés ci-dessus qui sont reliés à notre système expert.

1) Critère n° 1

La technique de programmation traditionnelle peut être appliquée à l'une des étapes de la sélection de la CAO. Par exemple, la matrice des besoins et des désirs, la matrice des caractéristiques et des types de logiciels, les calculs de pondération peuvent être écrits en Fortran ou en Basic.

Ainsi, la programmation classique est applicable localement pour minimiser le temps d'analyse et de comparaison et pour faciliter les travaux des spécialistes.

Toutefois, elle s'avère inefficace ou impossible dans la tentative de remplacer toute la méthodologie de sélection. Par conséquent, la sélection des spécialisations des logiciels de CAO doit être réalisé par une programmation d'intelligence artificielle.

2) Critère n° 3

Le domaine de CAO en mécanique est toujours en pleine évolution et sa technologie s'améliore à un rythme fulgurant. Les expert-consultants en CAO sont encore rares au Canada. Par exemple, chez Hewitt Ltd, Hymac Ltd, et Canadair, les responsables de sélection de CAO sont des autodidactes en domaine de CAO. Il existe très peu de véritable diplômé du milieu de recherche universitaire. De plus, les connaissances acquises, les expériences personnelles ne sont encore ni

classifiées ni standardisées. Elles sont à l'état de l'art plutôt qu'à celui d'une méthode purement scientifique.

Bien que les travaux des bureaux de consultants en CAO sont minutieux, méthodiques et scientifiques, les résultats de la sélection de CAO pour les entreprises sont encore douteux.

Donc, les connaissances de la CAO font encore l'objet d'une controverse entre les spécialistes.

3) Critère n° 4

La sélection des logiciels de CAO en mécanique appartient déjà à un domaine trop général. Le mot "mécanique" représente une dizaine de type d'industries différentes. Le mot "logiciels" implique logiciels de toutes sortes et les matériels correspondants.

Donc, pour satisfaire le critère n° 4, le domaine d'étude du système expert doit être délimité et modeste. Par exemple; nous limitons seulement le système expert à :

- la fabrication de produits métalliques
- l'entreprise qui n'a pas d'ordinateur
- 90% du travail du bureau d'études se concentre sur le dessin

  il n'y a pas de machine-outils ou de machine à CN.

4) Critère n° 7

La sélection de logiciels de CAO requiert des mois de travail. L'expert doit aller dans l'entreprise pour observer toutes les activités de celle-ci et acquérir, classifier toutes les informations pertinentes. Donc l'acquisition des informations visuelles, verbales et documentaires génère une masse de connaissances disparates à analyser.

On sait que pour choisir les bonnes caractéristiques de logiciels de CAO, il faut acquérir davantage d'informations précises de toutes les activités reliées à l'entreprise et qu'il faut faire une analyse très poussée des informations brutes, ce qui contredit le critère n° 7. Un grand nombre d'informations crée toujours une explosion combinatoire.

5) Notre système expert pour la spécification des logiciels de CAO satisfait aux critères nº 2, 5, 6, 8, 9, 10.

Bref, le projet de la spécification des logiciels de CAO ne satisfait pas les critères 3, 4 et 7. Ces derniers sont suffisants pour abandonner le projet. Le chapitre 11 suggèrera une nouvelle formulation du problème qui satisferont, au mieux, tous les critères ci-dessus.

CHAPITRE 8

PROTOTYPE AVEC LE SQUELETTE D'*INSIGHT 2*

8.1 Description

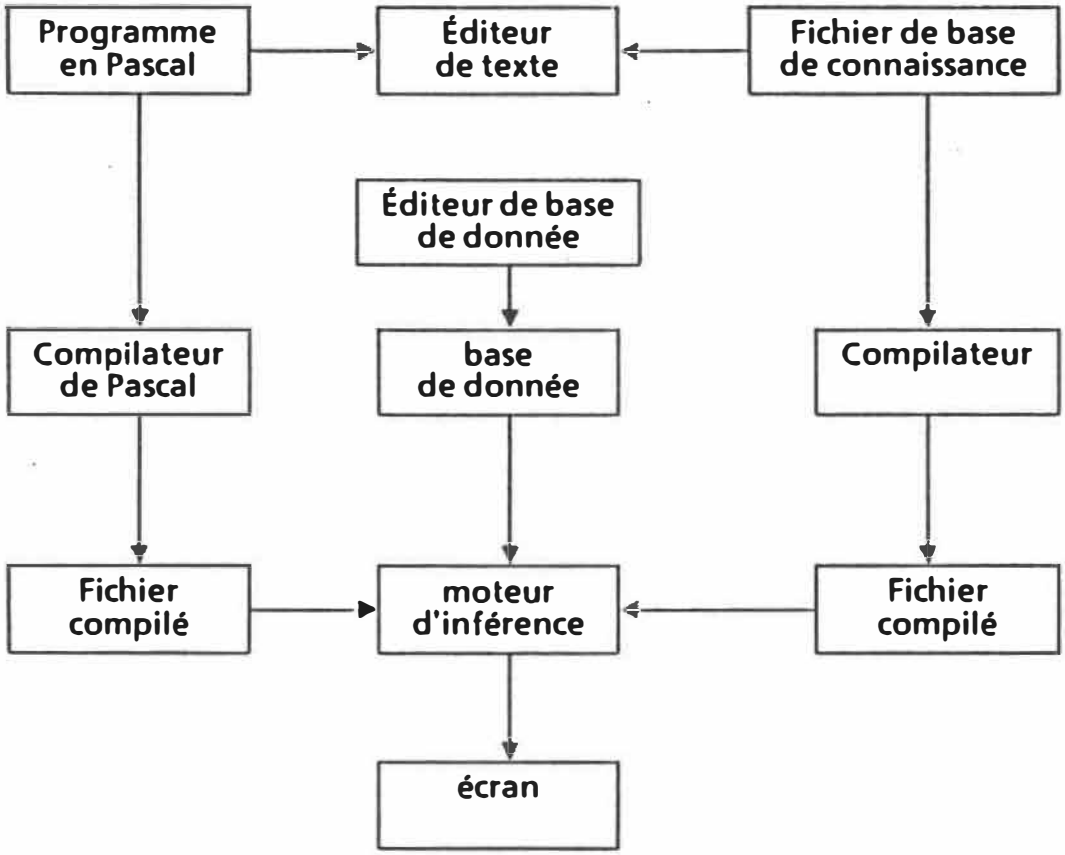
D'après le manuel d'*INSIGHT 2*, le système d'*INSIGHT 2* est composé d'un moteur d'inférence, des compilateurs et des éditeurs de texte. (Voir la figure 4).

INSIGHT 2 utilise le langage de règle de production dont la forme générale est IF...THEN...ELSE pour représenter les connaissances. Il a très peu de règles de grammaire à apprendre. La syntaxe est caractérisée par l'utilisation de trente-quatre mots réservés, de six symboles d'opérateurs opérationnels, de cinq symboles d'opérateurs numériques, d'un symbole d'affectation, de trois symboles d'opérateurs de présentation et de trois symboles d'opérateurs rédactionnels.

8.2 Fonctionnement

En chaînage arrière, le système cherche toujours à vérifier la validité des buts déclarés au début du programme. Si le premier but échoue, il passe au second pour la vérification et ainsi de suite séquentiellement.

FIGURE 4 :
SYSTÈME D'*INSIGHT 2*



La satisfaction du but est testée par la vérification séquentielle, de haut en bas de chaque antécédent de la règle. Mais avant de trouver la bonne règle pour la vérification, le système balaie de haut en bas toutes les règles. S'il trouve la conclusion de la première règle qui correspond exactement au but déclaré, il s'arrête et déclenche le processus de vérification de chaque antécédent de cette règle.

Si l'antécédent de cette règle est la conclusion d'une autre règle, le système refait un autre balayage de haut en bas des règles pour chercher la première règle qui contient la conclusion correspondant à l'antécédent de la règle du premier niveau. Si c'est exact, il s'arrête et déclenche le processus de vérification des antécédents de la règle du second niveau.

Le cycle recommence jusqu'à ce qu'on arrive à la règle source, c'est-à-dire la règle dont l'antécédent n'est la conclusion d'aucune autre règle.

Le système vérifie le fait de l'antécédent de la règle source, en présentant sur l'écran tout le fait à être affirmé vrai ou faux, soit la question avec une liste de réponses que l'usager doit choisir.

Le choix d'une réponse qui correspond à l'attribut spécifié dans l'antécédent, satisfait immédiatement cet antécédent. Si non, cet antécédent échoue.

Si tous les antécédents de la règle source, de la règle du premier niveau et des niveaux subséquents sont liés seulement par la conjonction AND, la valeur fausse de l'un de l'antécédent fait échouer la règle du premier niveau.

Par exemple, considérons un ensemble de règles suivant :

Règle 1 : IF A

AND B
THEN C
Règle 2 : IF C
AND D
THEN E
Règle 3 : IF E
AND F
THEN G*

*G : but déclaré au début du programme.

Par la logique propositionnelle, on a l'équivalence :

$(A \wedge B) \wedge (C \wedge D) \wedge F \text{ ----> } G$

L'implication est vraie seulement quand tous les A, B, C, D et F sont vrais.

Bref, avant de créer une base de connaissance, le cogniticien doit spécifier clairement un ensemble de buts ou de conclusions à atteindre qui est limité à soixante-quatre buts pour le premier niveau de but. Pour éviter la limitation, on utilise les sous-buts. Chaque but du premier niveau peut avoir soixante-quatre sous-buts et le sous-but du but du premier niveau forme le deuxième niveau.

La classification en sous-buts optimise le temps de recherche des buts et clarifie la base de connaissance. Par analogie, elle ressemble beaucoup à une table de matières d'un livre. Si l'on veut aller directement à tel chapitre, on n'a qu'à tourner les pages au numéro correspondant.

De même, au début de la consultation, le choix d'un but c'est-à-dire affirmer que ce but est vrai, nous aide à aller directement à tel domaine de connaissance sans respecter l'ordre dans la liste des buts déclarés.

Voici un résumé de la déclaration des buts et des sous-buts du prototype :

On a deux buts à satisfaire et chaque but a deux sous-buts.

1) Cas où la principale activité est le dessin.

1.1) Orienté vers des dessins orthographiques

1.2) Orienté vers des dessins d'assemblages

2) Cas où la principale activité est le dessin et la conception.

2.1) Conception avec formage

2.1.1) forgeage

2.1.2) matriçage

2.2) Conception sans formage

2.2.1) avec éléments finis

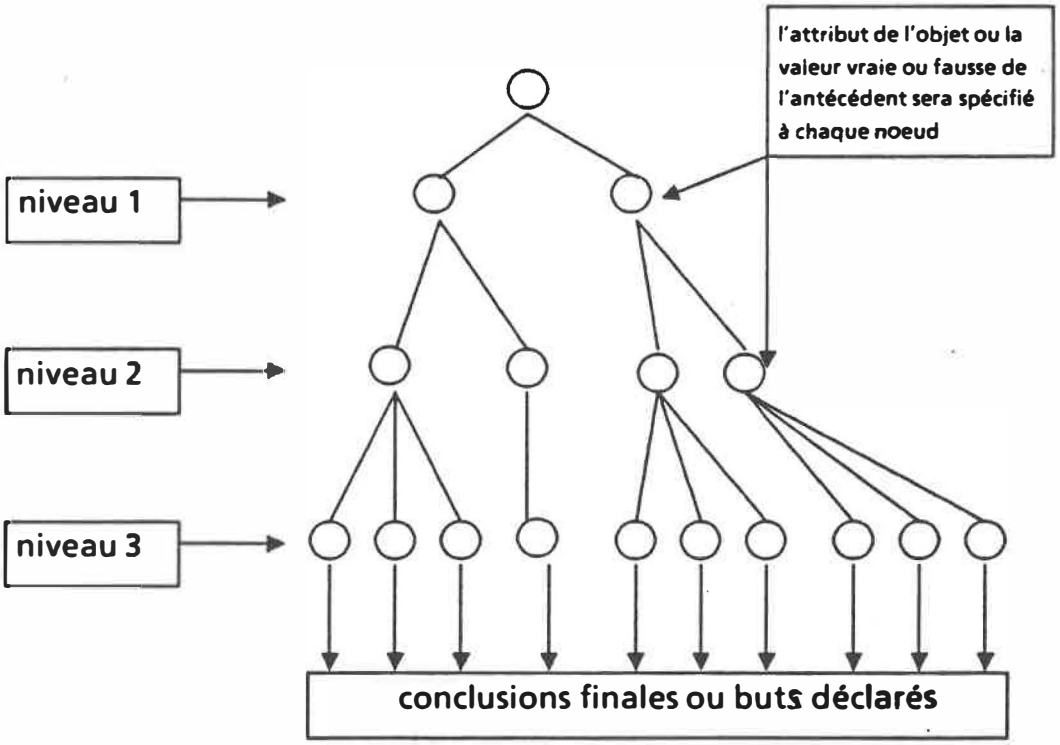
2.2.2) sans éléments finis

- Si la validité des buts 1 et 2 est inconnue, premièrement le système essaie de vérifier le but 1 en présentant des faits à être affirmés ou des questions à l'usager.
- Si le but 1 échoue, il passe au 2ième but. Toutes les règles reliées à des sous-buts 1.1, 1.2, sont ignorées pour l'instant.
- Si, au début de la consultation, le but 2 est choisi le système passe directement à la recherche de la validité des sous-buts du but 2, oubliant les questions reliées aux buts 1 et 2.

Cette stratégie de recherche aide l'usager à aller directement au domaine intéressé sans devoir répondre aux questions non nécessaires pour la déduction d'une conclusion.

Dans la base de règles, on remarque que l'enchaînement de règles forment une hiérarchie de branches de plusieurs niveaux dont les feuilles terminales sont les buts déclarés et dont le sommet est la règle source. (Voir la figure 5).

FIGURE 5 : L'HIÉRARCHIE DES BRANCHES



En choisissant l'attribut de l'objet ou en donnant la valeur vraie ou fausse de l'antécédent, l'utilisateur choisit lui-même la branche qu'il doit suivre jusqu'à la feuille terminale.

- Chaque niveau représente une question que le système pose à l'utilisateur.
- Chaque feuille terminale correspond à une conclusion ou à un but déclaré au début du programme.

Par conséquent, plus il y a de questions posées et attributs pour chaque question, plus il y a des conclusions finales. C'est le problème de l'explosion combinatoire.

Par exemple :

Considérons le cas où une consultation demande quatre questions et chaque question a deux attributs à choisir. On aura:

$2^4 =$ 16 conclusions

8.3 Description du prototype sur INSIGHT 2

A) L'objectif

Nous essayons de construire un prototype avec INSIGHT 2, en insistant notamment sur la connaissance du fonctionnement et performance du système, plutôt que sur le contenu de la base de connaissance. Par conséquent, les informations d'entrée sont encore inexactes et manquantes.

Parfois pour éviter l'explosion combinatoire, seulement les données générales seront choisies. La recherche sur les questionnaires est encore préliminaire.

Le domaine de connaissance est supposé limité :

1) au domaine purement mécanique

2) aux PME qui n'ont pas de système informatique

L'objectif du système expert est la spécification des logiciels de CFAO pour les PME.

B) Description

Le prototype a 819 règles, formant une hiérarchie d'arbre. On peut dire que ce travail est une simple classification de cas, au moyen des règles de production.

Chaque branche terminale de la structure d'arbre représente un cas de la compagnie. Chaque cas est unique.Toutefois, deux cas dont la différence des données d'entrée n'est pas importante peuvent prendre la même conclusion.

Au total, le prototype a 4 buts, 27 sous-buts de 1er niveau, 149 sous-buts du 2ième niveau et 175 sous-buts du 3ième niveau. En tout, il y a 343 conclusions ou cas différents à étudier.

Les informations recueillies de l'utilisateur sont concentrées sur la connaissance de la méthode conventionnelle de dessin et de conception.

B.1) Résumé de la structure d'arbre du prototype

Voici le résumé de la structure d'arbre, faite par les règles de production, avec les 4 buts et leurs sous-buts :

- 1er but : le bureau d'étude fait seulement le dessin
- 2ième but : la compagnie fait la conception et le dessin et a une ou plusieurs machines à CN.
- 3ième but : la compagnie fait la conception et le dessin et n'a pas de machine à CN.
- 4ième but : la fin de la consultation.

Voici le résumé des informations d'entrée :

a) Le cas du 1er but

1) types de dessins que les dessinateurs font souvent :
moulage, forgeage, pièce soudée, assemblage.

2) méthodes de dessin de moulage :

- le même dessin pour le machiniste et le modèleur,
- les dessins séparés pour le machiniste et le modèleur.

3) méthode de dessin de forgeage :

- le même dessin pour le machiniste et le fabricant de matrices,
- les dessins séparés pour le machiniste et le fabricant de matrices,

4) la précision des dessins

5) les dessins sont-ils envoyés aux sous-traitants, ou à d'autres systèmes de CAO ?

6) les techniques de dessin :

orthographique, isométrique, dimétrique, trimétrique, vues sectionnées, perspective.

7) dans la projection orthographique, les dessinateurs se concentrent plus sur :

- vues auxiliaires, le dessin des feuilles de métal.

8) le dessin de développement est avec la méthode :

- à prisme rectangulaire
- à cylindre
- à pyramide
- à cône

9) le bureau d'étude fait-il la publication de ses dessins?

10) le nombre de composants entré dans un assemblage :

- moins que 10 composants
- plus que 10 composants

11) font-ils souvent les dessins de détail ?

12) font-ils des dessins illustrés ?

13) font-ils des vues d'explosion ?

14) les types d'assemblage :

- sous-assemblage
- assemblage de détail
- dessin d'assemblage avec les listes de matériaux et de pièces

b) Le cas du 2ième but

1) les types de machines à CN :

- machine à commande numérique

- machine à commande numérique assistée par l'ordinateur
- centre d'usinage

2) le degré de liberté de la machine à CN :

- 2 axes, 2.5 axes, 3 axes et 5 axes

3) le nombre de machines à CN que possède la compagnie :

- égal à 1
- plus que 1

4) la programmation des trajets d'outil est faite :

- manuellement
- avec l'assistance de l'ordinateur

5) le langage des processeurs :

- APT, Compact, Split, Autospot

6) les types de travail de conception :

- conception du nouveau produit
- modification de la conception
- création des variantes

7) les phases principales de conception :

- synthèse
- analyse et optimisation
- préparation des documents d'ingénierie

8) la conception est axée sur :

- forgeage, moulage, matriçage

9) les types d'analyse :

- analyse des mouvements

- analyse des mouvements et des forces
- analyse des contraintes
- analyse de vibration
- analyse de transfert de chaleur
- analyse de l'écoulement de fluide

10) utilise-t-on l'analyse des éléments finis ?

11) les caractéristiques de matériaux sont-elles constantes ?

12) dans l'analyse linéaire, le calcul est-il basé sur de petits déplacements ?

13) les caractéristiques de l'analyse statique :

- description des forces
- combinaison avec les charges
- pression hydrostatique
- effet du poids

14) l'analyse des structures inclut :

- les petits déplacements, relatifs à la taille de la structure
- les grands déplacements, relatifs à la taille de la structure
- les grands déplacements et les matériaux dont les caractéristiques sont variables.

B.2) Exemple des règles du prototype

Prenons une branche de la structure d'arbre dans le prototype :

A) **Partie de la déclaration** des buts et sous-buts :

1) considérer cas dessin

1.1 cas dessin isométrique

1.1.1 cas dessin isométrique cas 1

B) Partie des règles

RULE 1

IF	dessin requis	IS	1.	activité dessin
AND	dessin manuel	IS	1.	manuellement
OR	dessin manuel	IS	2.	avec l'aide de l'ordinateur
THEN	considérer cas dessin			

RULE 9

IF	complexité dessin	IS	3.	pièces soudées
OR	complexité dessin	IS	2.	pièces usinées
THEN	dessin 5			

RULE 51

IF	dessin 5	IS	2.	dessin isométrique
AND	type dessin	IS	3.	dessin dimétrique
OR	type dessin	IS	2.	dessin trimétrique
THEN	cas dessin isométrique			

RULE 52

IF	cas dessin isométrique			
AND	publication	IS	1.	oui
THEN	cas isométrique	type	1	

RULE 54

IF	cas isométrique	type	1	
AND	envoyer dessin	IS	1.	oui
THEN	cas dessin isométrique		cas 1	

D'après la déclaration des buts, le moteur d'inférence cherche à satisfaire premièrement le but 1. Il cherche toutes les règles qui ont la conclusion "considérer cas dessin". La 1ère règle trouvée (dans l'exemple, la règle 1) sera considérée. Il cherche à vérifier la validité du premier antécédent de la règle 1 en posant la question reliée à l'expression abrégée "dessin requis".

Si le choix de la réponse est 1. activité, cet antécédent est satisfait. Puis le 2ième antécédent est vérifié de la même manière que le précédent.

Quand le but 1. est satisfait, INSIGHT 2 passe au premier sous-but en balayant, de haut en bas, toutes les règles qui ont la conclusion "cas dessin isométrique".

Dans l'exemple il s'est arrêté à la règle 51 et vérifie la validité du premier antécédent . Or, ce dernier est la conclusion de la règle 9. Il saute à la règle 9 et cherche à vérifier la validité du premier antécédent de cette règle. Quand la règle 9 est satisfaite, il passe au 2ième antécédent de la règle 51. Quand la règle 51 est satisfaite, il passe au sous-but "cas dessin isométrique cas 1" et la même recherche se répète.

8.4 Avantages et désavantages

A) Avantages d'INSIGHT 2

1) INSIGHT 2 utilise une syntaxe grammaticale naturelle et simple pour écrire les règles (sous forme de IF...THEN...ELSE).
2) Les règles sont modulaires. Les ajouts, suppressions ou modifications ne remettent pas en cause la base des règles.
3) Il a une clarté de conception, une grande lisibilité du programme surtout pour les non-informaticiens.
4) Il encourage et facilite le développement du prototype par incrément.
5) L'accessibilité à la base de connaissance est facile.
6) L'utilisation de AND et de OR dans les antécédents et dans les conclusions d'une règle donne plus de flexibilité à la codification de connaissance. Elle aide aussi à diminuer le nombre de règles.
7) La fonction "Report" aide à voir clairement toutes les lignes de raisonnement, les règles utilisées, les conclusions intermédiaires, les faits, les titres des règles et l'interaction logique entre les règles. Donc, la transparence d'INSIGHT 2 est très évidente.
8) En sélectionnant les buts au début de la consultation, l'usager n'est pas obligé de répondre à des questions concernant le domaine qu'il connaît déjà.
9) L'usager ne pense qu'à construire sa base de connaissance. Les travaux tels que les contrôles d'entrée et de sortie sont déjà faits.

10) L'interface facilite la présentation des questions, le choix des menus, des réponses, des commandes grâce à l'utilisation facile des touches du clavier.

11) Le mot réservé "TEXT" est utile pour la clarification des termes codés utilisés dans les antécédents, les buts déclarés et les conclusions intermédiaires.

12) Le calcul du facteur d'incertitude est simple mais suffisant pour les applications courantes de diagnostique et de consultation.

13) La capacité d'opérations arithmétiques est suffisante.

14) La période d'apprentissage est relativement courte. N'importe quel expert peut l'apprendre.

15) Il a la capacité d'exécuter d'autres programmes de Pascal, de DBASE II, de C à partir du programme d'INSIGHT 2, surtout pour le calcul des algorithmes complexes.

B) Désavantages d'INSIGHT 2

1) Tous les faits sont inclus dans les règles. Chaque attribut d'un objet forme une règle, ce qui entraîne toujours un grand nombre de règles pour représenter un petit domaine de connaissance.

2) Différencier la base de faits et la base de règles est difficile.

3) Si l'usager veut connaître les attributs, les valeurs numériques d'un objet, la seule façon est de les localiser dans le pragramme. Il n'existe pas de commandes pour relever les attributs des objets.

4) Il manque le "pourquoi" qui explique le pourquoi de la question posée et le "comment" qui explique comment la conclusion est déduite.

5) La structure de la stratégie de contrôle est figée. Aucun changement ne peut être fait.

6) Les programmes extérieurs ne peuvent exercer aucun contrôle sur la structure logique du programme, sur les entrées et les sorties des données et sur l'interface.

7) INSIGHT 2 est très efficace dans le cas de diagnostique et de consultation, mais il est limité à de petites applications parce que le maximum de règles et de faits est limité à 2 047 et 4000 respectivement.

8) Il n'a pas la capacité de traiter les variables qui peuvent diminuer de beaucoup le nombre de règles.

9) La connection d'INSIGHT 2 avec d'autres langages est limitée seulement aux transferts de trente-deux paramètres en nombre réel.

10) Pour pouvoir utiliser les programmes supplémentaires, le cogniticien doit savoir le langage Pascal.

11) L'interface, malgré sa simplicité d'utilisation, demande un certain temps d'apprentissage. Les touches F1, F2, F7 ne sont pas familières à l'usager.

12) La présentation "à menu" dès questions est inchangeable et ne plaît pas aux utilisateurs qui aiment exprimer leurs idées directement dans un langage familier.

13) Avec INSIGHT 2, un domaine de connaissance moyen crée un grand nombre de règles (par exemple, le prototype déjà décrit). Le problème est la perte de la cohérence logique dans les règles. L'enchaînement de plusieurs niveaux de règles s'entremêle et est difficile à être vérifié.

    C'est ainsi qu'il est difficile de savoir si les règles sont redondantes, conflictuelles, circulaires, manquantes ou d'impasse. Le grand défaut d'INSIGHT 2 est qu'il n'a pas de mécanisme pour détecter ces sortes de règles.

14) On ne peut pas créer un programme autonome. Chaque consultation, le fichier compilé avec l'extension .KNB doit être traité par le moteur d'inférence (les fichiers I2). Si l'on veut vendre le programme de système expert (qui est inclu dans les fichiers I2), il faut avoir la permission de Level Five Research Ltd.

8.5 Conclusion

INSIGHT 2 dont les avantages sont indéniables, est un outil à bon

marché qui est bien appliqué au système expert en consultation.

Dans le prototype, on a vingt-sept questions différentes dont le menu varie de deux à six choix et huit cent dix-neuf règles, qui représentent seulement le 3/4 de la structure d'arbre. Les vingt-sept questions, étant générales, ne représentent pas assez d'informations pour faire une déduction des conclusions sur la spécification des logiciels. Il est nécessaire d'avoir au moins le double du nombre de ces questions, pour arriver à une conclusion dans le projet.

Chaque question ajoutée peut doubler le nombre de règles. Ainsi, les 2 047 règles sont atteintes très facilement.

Une solution à ce problème est que l'on divise le domaine donné en petits sous-domaines. Par exemple, le domaine mécanique est divisé en domaine de conception de moulage, de matriçage, en domaine de dessin d'assemblage etc. Le problème est que plusieurs petits système-experts ne sont plus rentables pour les réaliser.

Pour être commercialisable aux PME, le futur système expert doit:
- être attirant, agréable à consulter et facile à utiliser,
- être assez puissant pour traiter un grand nombre d'informations d'entrée.

Or, les désavantages d'INSIGHT 2 montrent la non-satisfaction de ces conditions. Pour remplir ces dernières, il faut chercher un squelette du système expert relié à un langage d'intelligence artificiel qui est flexible et manipulable.

De plus, à cause de la taille du projet, le squelette choisi doit être capable de manipuler une grande structure d'arbre.

CHAPITRE 9

CHOIX DU LANGAGE D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Pour le développement des logiciels d'intelligence artificielle, LISP et PROLOG sont choisis comme deux langages communément acceptés pour la plupart des applications (Voir les annexes 5 et 6).

Les caractéristiques de deux langages décrits dans les annexes 5 et 6, au niveau de micro-ordinateur, sont bonnes puisqu'elles sont façonnées de telle manière pour réaliser les fonctions et les objectifs du système expert.

LISP n'est pas un moteur d'inférence par lui-même. Choisir le langage LISP sous-entend qu'il faut mettre plus d'efforts et de ressources pour programmer le moteur d'inférence et la base de connaissance. Ainsi, if faut avoir l'aide d'un ou de plusieurs programmeurs, à part le cogniticien.

Les squelettes écrits en LISP sont très puissants et efficaces au niveau de mini-ordinateur (grâce en partie, à l'existence des machines LISP). OPS5, KES, KEE ont déjà prouvés l'efficacité dans les grands projets parce que LISP requlert toujours une grande capacité de

mémoire pour travailler. D'ailleurs, son prix est assez élevé. Cependant, actuellement, grâce à la compétition, à des améliorations, les squelettes en LISP sur micro-ordinateur (tels que Le- LISP, Golden Lisp) deviennent de plus en plus efficaces, puissants et faciles à utiliser. Son prix aussi diminue.

Choisir PROLOG n'exige pas de programmeurs supplémentaires et minimise le coût de développement. Surtout, PROLOG est toujours amélioré par l'addition continue des prédicats prédéfinis qui raccourcissent encore plus le temps de programmation. La méthode de programmation,une fois maîtrisée, devient facile et le cogniticien peut écrire des programmes en PROLOG sans difficulté.

Un programme de moteur d'inférence en PROLOG peut être écrit en une dizaine de lignes tandis que celui en LISP a besoin de plusieurs pages d'écritures.

Par exemple, le moteur d'inférence Criquet, écrit en LeLisp et développé par l'Institut National en Informatique et en Automatique de France comprend 9 000 lignes de LISP.

En résumé, les squelettes de système expert commerciaux qui fonctionnent sur le micro-ordinateur et basés sur LISP ou sur PROLOG, sont tous valables pour les applications courantes et moyennes. Pour les

applications plus spécifiques, plus personalisées ou à être commercialisées, il faut faire une étude plus détaillées des performances de divers squelettes avant d'en choisir un.

Dans le cas de la compagnie ICAM qui est une petite compagnie, le facteur "coût" est important. Un programmeur supplémentaire est coûteux. D'ailleurs, dans la recherche sur la faisabilité du projet, on a besoin de construire rapidement des prototypes pour les évaluations. La recherche sur les connaissances en CAO occupe déjà une large part du temps. Donc, on veut avoir un langage de programmation le moins compliqué possible, qui ne freine pas le temps de construction de prototypes. À cause des raisons mentionnées ci-dessus, PROLOG est le langage favori.

CHAPITRE 10

ARITY/EXPERT ET ARITY/PROLOG2

10.1 Description des éléments d'Arity/Expert et /PROLOG

Le squelette d'Arity/Expert utilise un formalisme hybride de représentation de connaissance, mélange du système de réseaux sémantiques et de celui basé sur les règles. Cette technique de représentation de connaissance imite intégralement le langage et la sémantique du système KL-ONE.

KL-ONE est un système de représentation de connaissance développé et supporté par le projet DARPA (Defense Advanced Research Projets Agency) aux État-Unis [Brachman (79), Schmolze (82)].

Les squelettes d'Arity/Expert et PROLOG ont chacun leurs fonctions spécifiques et sont interreliés (voir la figure 6). Le langage PROLOG rend le squelette d'Arity plus flexible. Les aspects importants d'Arity/Expert sont discutés ci-dessous :

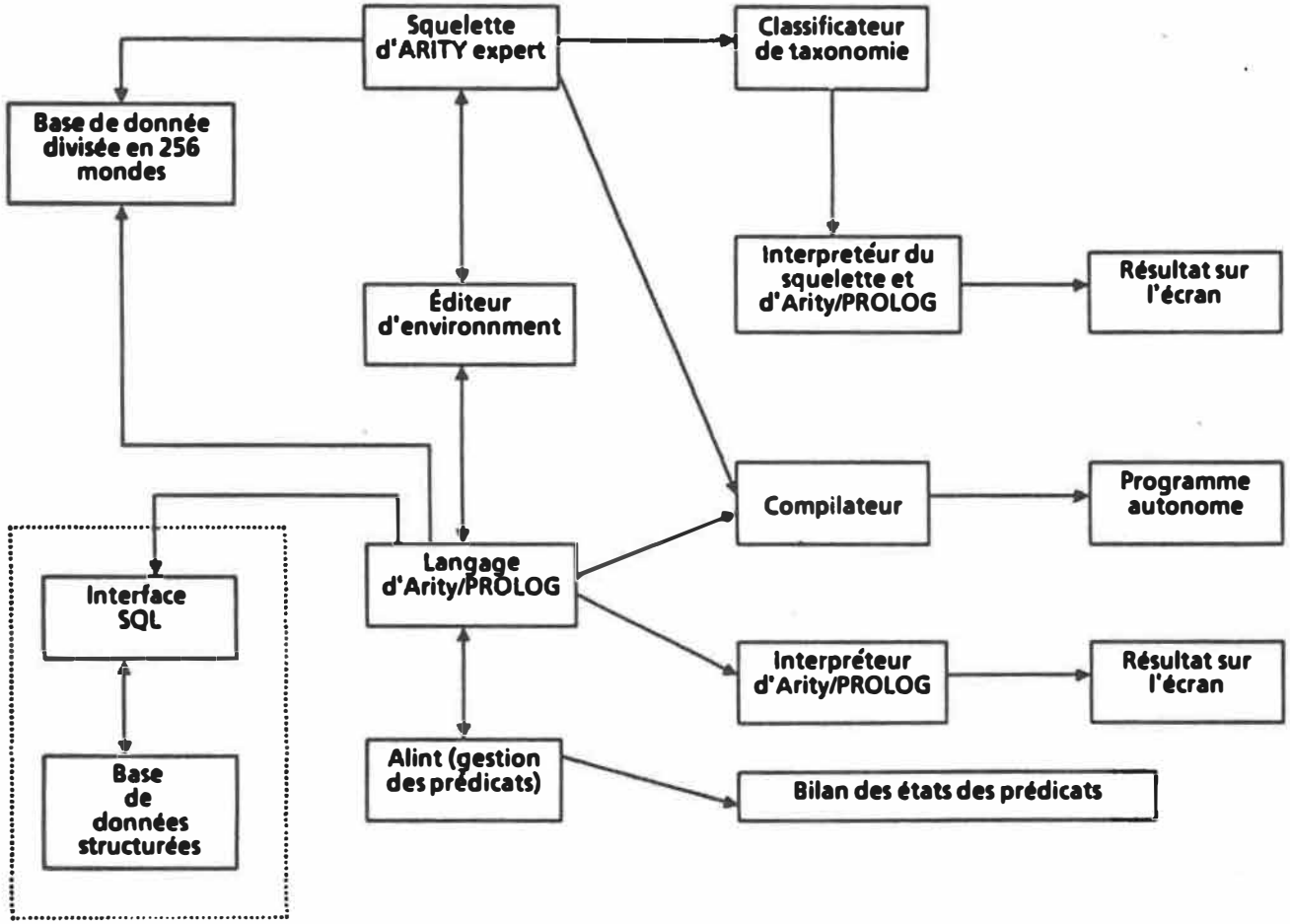


FIGURE 6 : DIAGRAMME GÉNÉRAL D'ARITY/EXPERT ET /PROLOG

1) L'interpréteur

Il interprète la base de connaissance et les programmes écrits en PROLOG et montre tout de suite les résultats avec l'indication des outils d'aide de mise au point. Il est nécessaire pour le développement par incrément des prototypes.

Un point à signaler : les prédicats prédéfinis et les prédicats définis par l'utilisateur peuvent être ajoutés ou retirés à volonté, de l'interpréteur. Ce fait adapte l'interprèteur aux besoins du programmeur et raccourcit le temps pour développer un programme.

2) Le compilateur

Il transforme la base de connaissance et les programmes en PROLOG en fichiers-objets, écrits en code binaire. Sous cette forme, les programmes sont traités plus vite que quand ils sont dans l'interpreteur.

En liant les différents fichiers-objets, un fichier exécutable, c'est-à-dire un programme autonome sera crée.

3) Le classificateur

Il fait le travail de classification de concepts, des rôles avec leurs propriétés et valeurs en une structure d'arbres. Puis, il met cette dernière dans l'interprèteur ou dans un fichier pour être compilé plus tard.

4) Le squelette d'Arity

Il traite la base de connaissance, composée de la taxonomie, base de règles, un programme frontal et des programmes auxiliares écrits en PROLOG. Il possède ses propres prédicats (30 prédicats) qui sont inclus dans l'interpréteur, pour communiquer, dans les deux sens, avec les programmes extérieurs écrits en PROLOG ou en Fortran ou en C ou en assembleur.

5) Le langage d'Arity/PROLOG

Par rapport au PROLOG standard de W.Clocksin et C. Mellish, il connaît une amélioration appréciable, grâce à de nouveaux prédicats prédéfinis, supplémentaires qui étendent la capacité de PROLOG et qui facilitent la programmation.

6) L'éditeur d'environnement ENVEDIT

Il permet de savoir l'état des piles, des atomes, des pistes, des pages permises dans la mémoire vive. Le programmeur l'utilise afin de changer ces derniers pour adapter la capacité du système à la taille de son programme. Bref, ENVEDIT aide à optimiser l'ensemble du système pour accroître le temps d'éxécution et pour sauver l'espace- mémoire.

7) Le fichier ALINT

Il est très utile, surtout quand le programme en PROLOG contient plusieurs clauses et est répartie dans plusieurs fichiers. Il aide à connaître la cohérence et l'erreur des clauses, à savoir tout sur les prédicats crées (son nombre, ses arguments, les prédicats non-utilisés, non-définis, manquants etc...). Donc, Alint aide à découvrir des erreurs logiques que l'interpréteur n'est pas capable de déceler. L'interpréteur ne découvre que des erreurs syntaxiques.

8) La base de données

La base de données est diviséé en 256 mondes. Chaque monde est mis automatiquement dans un fichier avec l'extension .PO0,

.PO1, .PO2, etc... . Il est divisé en 256 pages et chaque page a 16K de mémoire. Le total est :

16K x 256 x 256 = 1048576K ou 10 meg

Cette capacité de mémoire est suffisante pour le projet de système expert en CAO.

9) L'interface SQL

L'interface SQL (Semantic Query Language) est un système de base de données relationnelles conçu par IBM qui est totalement indépendant des autres logiciels. Il est fort et efficace dans la gestion des données telle que l'accès à des données, le partage des données, les requêtes des données.

10.2 Base de connaissance d'Arity/Expert

D'après le manuel d'Arity/Expert, la base de connaissance est composée de la partie de taxonomie et de la partie de règles.

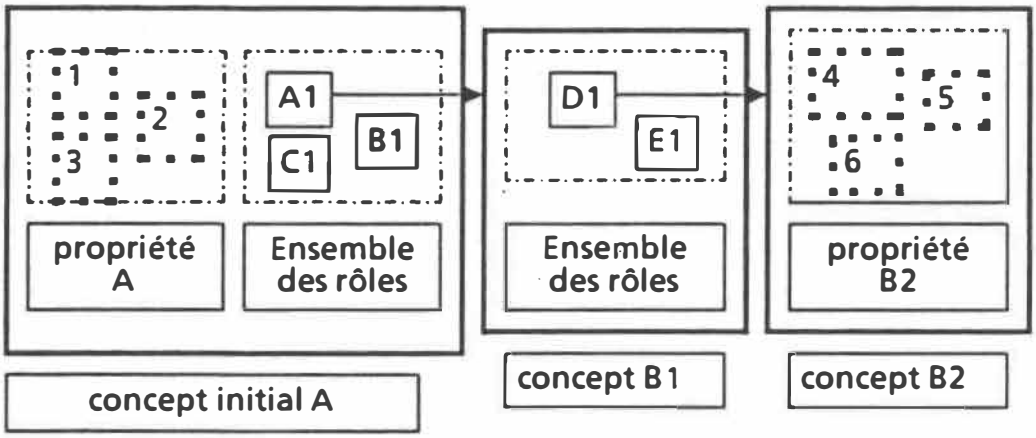
10.2.1 Partie de taxonomie

La taxonomie d'Arity/Expert imite le langage de classification de KL-ONE. Elle définit les objets par un terme descriptif appelé concept.

Le concept possède, au plus, 2 grands ensembles (voir la figure 7) :

- un ensemble de rôles qui, à leur tour, représentent chacun, un nouveau concept.
- et un ensemble de propriétés dont chacune a une ou plusieurs valeurs.

FIGURE 7 : LE SCHÉMA MONTRANT LES CONCEPTS,RÔLES ET PROPRIÉTÉS



- 1,2,3 sont les valeurs de la propriété A et 4,5,6 celles de la propriété B2.
- A1,B1,C1 sont les rôles du concept initial A et D1, E1 ceux du concept B1.
- le rôle A1 devient un concept B1.
- le rôle D1 devient un concept B2.

- Le concept qui est formé à partir d'un rôle ne doit pas avoir le même nom que celui du rôle.

Il existe une relation liant les différents concepts, appelé "subsumption". Un concept A "subsume" un concept B si et seulement si l'ensemble de concept B est inclu dans celui de concept A.

$$\text{concept } B \subset \text{concept } A$$

Le concept B devient le sous-concept du concept A.

Cette inclusion est réflexive, transitive et anti-symmétrique.

Exemple : $A \subset A$

$B \subset A$ et $C \subset B \Rightarrow C \subset A$

$B \subset A \Rightarrow A \not\subset B$

Quant $B \subset A$, le sous-concept B hérite tous les composants et les propriétés du concept A.

- Dans la chaîne d'inclusions, il doit avoir un concept initial qui représente le sommet de la structure.

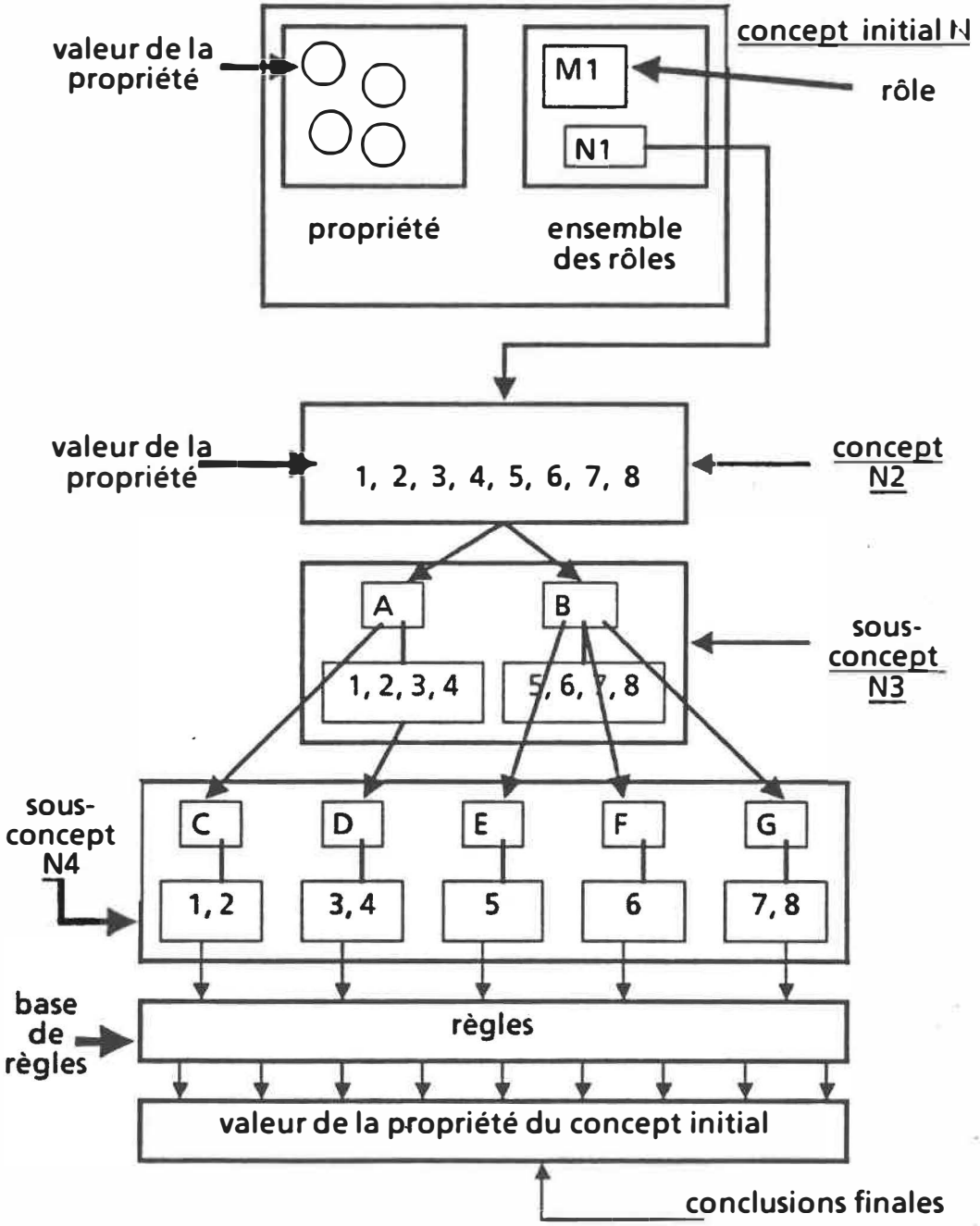
- Le concept peut avoir un sous-concept qui, à son tour, a son propre sous concept.

- Chaque concept peut avoir ou ne pas avoir : une ou plusieurs propriétés propres qui renferment plusieurs valeurs,

- Le sous-concept peut avoir un ou plusieurs menbres qui peut avoir une ou plusieurs valeurs.

La figure 8 illustre la relation entre un concept et des sous-concepts.

FIGURE 8 :
LE SCHÉMA MONTRANT UN CONCEPT ET SES 2 SOUS-CONCEPTS



Le concept initial est composé d'un ensemble de rôles et de propriétés. Toutes les valeurs de la propriété représentent les conclusions ou buts à atteindre. Le rôle du concept peut devenir un autre concept, mais la propriété ne peut pas devenir un autre concept.

Par exemple, 1,2,3,4,5,6,7,8 sont valeurs de la propriété du concept N2 qui est formé à partir du rôle N1.

- A et B sont les membres du sous-concept N3.

- 1,2,3,4 et 5,6,7,8 sont les valeurs de la propriété du sous-concept N3, reliées au membre A et au membre B respectivement.

- C,D,E,F,G sont les membres du sous-concept N4.

- Le total du nombre des valeurs de propriété de membres d'un sous-concept doit être égal à celui des valeurs de la propriété du concept N.

- Le sous-concept N3 et le sous-concept N4 sont présentés à l'écran sous forme de questions que le système pose automatiquement à l'utilisateur. Les membres A et B et les membres C,D,E,F et G sont les menus que l'utilisateur doit

choisir. Par conséquent, c'est l'utilisateur qui décide quelle branche à suivre.

- Si, devant le choix des menus d'une question, l'utilisateur ne sait pas la réponse (le choix est inconnu), le système continue quand même à la question suivante ou au prochain sous-concept) et présentera, à l'écran, tous les membres de ce sous-concept.

- Si l'utilisateur choisit le membre A du sous- concept N3, la prochaine question présentera les 2 membres C et D du sous-concept N4.

- Chaque membre du dernier sous-concept forme une branche unique qui est connectée, par les règles, à une valeur de la propriété du concept initial.

10.2.2 Partie des règles

La partie des règles est divisée en 3 sous-ensembles:

contrôle du fonctionnment des règles
Synonyme
règles

base des règles

1) Contrôle du fonctionnement des règles

Il est possible, grâce à des prédicats prédéfinis propres au langage des règles (Annonce, Report, Precalc, Order, Name, Why, How) de modifier l'ordre normal du traitement de la taxonomie.

Par exemple :

- Avec le Precalp, une certaine propriété, rôle ou sous- concept peut être calculé suivant l'ordre indiqué par le programmeur.

- Avec Order, la recherche de la valeur d'une propriété ou du membre d'un sous-concept peut être faite grâce, soit :

  à la pose directe des questions à l'usager

  à la déduction à partir des règles.

- Avec le Report, on peut ajouter des reportages, des commentaires après avoir atteint la conclusion intermédiaire ou la conclusion finale.

2) Synonyme

Cette partie vise à donner une signification plus claire, plus compréhensible à tous les termes abbréviés, utilisés dans la taxonomie et dans les règles. Elle est définie par les prédicats :

- SYNONYM donne l'équivalence d'un terme codé avec une expression plus compréhensible.

Exemple : SYNONYM (prod-1) = $ les produits en métal $

- SET donne un terme plus court à une longue chaîne de nom des rôles.

Exemple : SET (nombre-ingénieur of compagnie-ressource of CAO) = ingénieur

"nombre-ingénieur" est le nom du rôle appartenant au concept "ingénieur-concept". Ce dernier représente le rôle "compagnie "ressource" qui appartient au concept initial "CAO".

Le terme "ingénieur" représente tous les noms de rôles de la chaîne.

- QUESTION donne l'équivalence d'un groupe de termes codés, utilisés dans les antécédents des règles avec une phrase sous-forme de question.

Exemple : QUESTION (ing-nombre of ing-concept) = $ Combien d'ingénieurs a votre department ? $

Si le cogniticien veut embellir, spécialiser la représentation de questions, de reportages, de conclusions, il concevra un interface écrit en PROLOG. Le "Report" et le " Question" seront connectés au programme d'interface en leur donnant l'équivalence à des clauses du programme PROLOG.

Exemple : Report (CAO-CAS of CAO) = cas-conclusion

Question (ing-nombre of ing-concept) = ingénieur

"cas-conclusions" et "ingénieur" sont les 2 noms de clauses spécifiés dans le programme PROLOG.

3) Les règles

Une règle peut avoir un ou plusieurs antécédents reliés par "and" mais elle n'a seulement qu'une conclusion(clause de Horn).

Sa principale fonction est d'établir la relation :

- entre une propriété d'un concept et ses valeurs (la valeur représente une conclusion intermédiaire ou une conclusion finale si elle appartient à la propriété d'un concept ou à celle d'un concept initial).
- entre le sous-concept et l'un ou plusieurs de ses membres
- entre le membre d'un sous-concept ou la valeur d'une propriété d'un concept et la valeur de la propriété du concept initial (qui représente toujours les conclusions finales).

10.3 L'interface utilisateur-machine

L'interface homme-système est un des composants les plus

importants d'un système expert commercialisé. C'est compréhensible puisque, pour être largement vendu, le système expert doit avoir la forme de dialogue la plus simple, le plus agréable, la plus attrayant et la plus complète possible.

Sa conception doit s'orienter vers des utilisateurs avertis, occasionnels ou non-expérimentés (président, chef de section, ingénieurs, concepteurs, dessinateurs) qui connaissent vaguement ou pas du tout le système expert et les langages d'intelligence artificielle. Elle doit aussi être faite de telle manière que l'apprentissage est très court et facile.

On distingue six modes classiques d'interface homme- système :

1. langue naturelle
2. langue naturelle limitée
3. mnémonique
4. réponses directes aux questions
5. sélection du menu
6. langage de programme

Il est certain que 1, 2 et 6 ne sont pas appropriés parce qu'ils sont pour des spécialistes.

Il semble donc que les modes mnémoniques, les réponses directes aux questions et la sélection de menu soient les modes les plus utiles pour ce cas.

Normallement, la conception de l'interface est faite à la fin. Dans ce cas, elle est réalisée en parallèle avec la réalisation de base de connaissance, par les 3 raisons suivantes :

1) En construisant l'interface, on comprend mieux les prédicats d'Arity/Expert et d'Arity/PROLOG, l'interaction entre la base de connaissance et les programmes extérieurs,et les capacités d'Arity/Expert et leur performance.

2) Dans l'évaluation du prototype, la base de connaissances et l'interface sont jugés en même temps par les experts. Donc, cette approche est productive en comparaison avec celle de la réalisation séquentielle de la base de connaissances et de l'interface.

3) A cause de la structure d'interconnexion entre la base de règles et les programmes extérieurs, l'ajout d'un interface à une base de connaissance déjà parfaite sera pénible et demande de longues heures de modifications.

10.3.1 Description de l'interface

Nous contruisons un interface générique, puisque l'interface du

squelette d'Arity/Expert est médiocre et non-flexible. C'est un travail assez complexe puisque'on doit tenir compte de tous les cas possibles. Il y a deux dialogues: dialogue dans la partie de questions et celui dans la partie de conclusions.

1. Partie de questions

Les questions, que l'on détaille dans la partie de prédicats principaux, sont présentées sous forme de sélection de menus. Les questions et les menus sont numérotés. L'usager choisit le menu en tapant le numéro correspondant, puis il frappe "Enter". A ce moment, le numéro du menu choisi s'illumine. Le système prend la valeur choisie et passe à une autre question.

- Dans le cas où il y a le choix multiple, après avoir frappé "Enter", le curseur, sur la même ligne de réponse, saute quelques espaces en avant et attend le deuxième choix. S'il n'y a pas le 2ième choix, on frappe "Enter" et le système continue.

- Dans le cas où il y a du facteur d'incertitude, après avoir tapé le numéro du menu, l'expression "votre pourcentage de FC 100% " apparaît sur la même ligne de réponse. Avec les touches de flèches haut et bas, on peut varier le chiffre 100% à 0%. Après avoir choisi le bon facteur d'incertitude, on frappe "Enter". Le

système capte la valeur du menu avec son facteur d'incertitude. Simultanément le chiffre de pourcentage du facteur d'incertitude apparaît à côté du menu sélectionné. Cette commodité est utile dans le cas où l'on retourne à la question précédente pour la revision et dans le cas de choix multiple avec le facteur d'incertitude.

- Dans le cas où il y a le choix multiple et le choix du facteur d'incertitude, après avoir choisi le pourcentage du facteur d'incertitude du premier menu choisi et après avoir frappé "Enter", la ligne de réponse est effacée et le curseur retourne à la position d'attente de réponse.

S'il y a plusieurs choix avec leur facteur d'incertitude, toutes ces informations sont affichées sur la liste des menus (illumination du numéro du menu et l'affichage du pourcentage à côté).

Dans la liste de menu, on ajoute le "Pourquoi" et le " Contrôle de sélection".

- Le **"Pourquoi"** explique pourquoi la question est posée. Il fait apparaître un texte encadré au milieu de l'écran. Les parties superposées par le texte sont gardées en mémoire. Pour continuer, on frappe "Enter". Le texte disparaît et remontre les parties disparues.

- Le "contrôle de sélection" fait apparaître, en bas de l'écran, un menu de contrôle disposé horizontalement. La liste de menu horizontal comprend "aide", "précédent", "recommence", "continue", "sortie". La sélection est faite grâce à des touches de flèches à gauche et à droite. Quand on décide sur un choix, on frappe "Enter".

- "aide" efface l'écran et montre les intructions d'utilisation. Pour retourner à l'écran initial, on frappe "Enter".

- "précédent" fait réapparaître la question précédente avec toutes les réponses. Pour retourner à la question actuelle, on frappe "Enter".

- "recommence" réinitialise la consultation. Toutes les informations gardées jusqu'à maintenant sont effacées. On recommence une nouvelle consultation.

- "continue" retourne le curseur à la position d'attente de réponse. Toutes les informations reliées au choix des menus et des facteurs d'incertitude sont effacées.Le système attend des nouvelles réponses.

- "sortie" fait arrêter la consultation et retourner au système d'exploitation.

2. Partie de conclusions

Quand le système passe à la partie de conclusions, il affiche d'abord le nom de la compagnie ou de l'individu, le numéro et la date de la consultation. Ensuite, le menu horizontal apparaît en haut de l'écran. Le contrôle du menu horizontal est semblable à celui dans la partie de questions. Mais la liste de menus est différente. Elle comprend "explication", "aide", "sauver", "imprimer", "recommence" et " sortie".

- **"explication"** fait apparaître un menu vertical encadré à gauche de l'écran, qui comprend "vocabulaire", " explication des conclusions", "informations données" et " retour".

- **"vocabulaire"** fait apparaître une liste verticale de terminologie de CAO. Cette partie aide l'usager à mieux comprendre les termes techniques utilisés dans les questions ou dans les conclusions et les explications. Elle est en état de recherche.

- **"explications des conclusions"** est équivalent au prédicat "How" de l'Arity/Expert. Il montre toutes les règles conduisant la conclusion finale.

- **"informations données"** montre un résumé de toutes les questions déjà posées à l'utilisateur avec leurs réponses et leur facteur d'incertitude.

- **"retour"** efface l'écran et amène l'usager à reprendre le contrôle du menu horizontal.

- **"sauve"** signifie que l'usage veut sauver toute la consultation dans un fichier. Il demande le nom du fichier.S'il n'y en a pas, frapper "Enter" retourne le système au menu horizontal.

- **"imprime"** imprime la conclusion de la consultation

Le point à remarquer est que chaque partie de l'écran peut être mémorisée (par le prédicat "region-ca"), ce qui permet la superposition de textes, des menus sur le même écran sans effacer pour toujours l'ancienne image de l'écran.

En conclusion, l'utilisation de l'interface se pose sur les touches suivantes : "Enter", touches de flèches gauche et droite, touches de flèches haut et bas et touches numériques de 0 à 9, et ne requiert aucune mémorisation des touches.

10.3.2 Les prédicats évaluables

- Les prédicats évaluables sont des clauses de PROLOG, crées par

le programmeur. Dans le cas de l'interface, on distingue deux sortes de prédicats : prédicats principaux et prédicats utilitaires.

- Les prédicats utilitaires aident à construire les prédicats principaux. Les prédicats peuvent ne pas avoir l'argument ou avoir un ou plusieurs arguments.

10.3.2.1 Prédicats utilitaires

Voici les prédicats utilitaires que nous construisons nous-mêmes :

1) *menu-vertical* (ligne, colonne, liste de menu, espace maximal occupé par un terme du menu, valeur choisie du menu) :

En donnant la ligne, la colonne, la liste de menu et le nombre d'espace occupé par un terme le plus long du menu, ce prédicat présente un menu verticalement à la position désirée et retourne le choix que l'usager fera.

2) *menu-horizontal* (ligne, colonne, liste de menu, le nombre de termes du menu, l'espace entre les termes, valeur choisie du menu) :

Ce prédicat présente un menu horizontalement à la position indiquée et retourne le choix que l'usager fera.

3) *highlight* (ligne, colonne, la largeur du mot) :

Ce prédicat met en vedette le mot désigné en illuminant la largeur de ce mot.

4) *unhighlight* (ligne, colonne, la largeur du mot) :

Ce prédicat éteint la largeur du mot illuminé qui est déjà mis en vedette.

5) *efface* (ligne1, colonne1, ligne2, colonne2) :

Ce prédicat aide à effacer n'importe quelle partie d'une ligne ou d'une partie de l'écran en spécifiant les coordonnées de la position initiale et celles de la position finale.

6) *efface-ligne* (ligne) :

Ce prédicat efface toute la ligne indiqué.

7) *efface-intérieur* (ligne1, colonne1, ligne2, colonne2) :

Ce prédicat efface seulement la partie à l'intérieur de l'espace, fixé par la position initiale et la position finale.

8) *press-any* :

Ce prédicat affiche sur l'écran l'expression "Tapez n'importe quelle touche pour continuer". Il indique à l'usager que s'il veut continuer la consultation, il n'a qu'à taper n'importe quelle touche du clavier.

9) *press-any-ret* :

Ce prédicat a la même fonction que "*press-any*". Cependant, il est utilisé dans le cas où l'usager a passé à la page précédente et qu'il veut retourner à la page actuelle.

10) *fenêtre* (ligne1, colonne1, ligne 2, colonne 2) :

Ce prédicat permet de créer des fenêtres à n'importe quelle grandeur en spécifiant la 1ière coordonnée et la 2ième coordonnée.

11) *fenêtre-double* (ligne1, colonne1, ligne2, colonne2) :

Ce prédicat a la même fonction que "fenêtre". Cependant, les lignes de contour de la fenêtre sont en double trait, ce qui rehausse la clarté de la fenêtre.

12) *renverse-texte* (ligne, colonne, texte) :

Ce prédicat change le premier plan et l'arrière- plan du mot à l'inverse. Le mot sera en fond noir et l'espace autour du mot aura un fond clair. Sa fonction est d'attirer l'attention au mot ou au texte.

13) *écrire-ligne* (texte, ligne, colonne) :

Le prédicat "*write*" d'Arity/PROLOG ne permet d'écrire qu'une ligne à chaque fois. S'il ya un texte de plusieurs lignes, c'est incommode d'écrire plusieurs "*write*". "écrire-ligne" aide à écrire plusieurs lignes d'un texte à la position désirée.

14) *écrire-titre* (colonne1, colonne2, ligne, texte) :

Ce prédicat affiche une expression quelconque (un titre par exemple) au milieu de la ligne. Il évite au programmeur de compter le nombre de lettres de l'expression, de faire des divisions pour trouver où commence la première lettre de l'expression sur la ligne.

15) *écrire-date* (date) :

En donnant l'année, le mois et le jour (1980/01/01) à ce prédicat, on obtient le mois, l'année et le jour de la semaine (Janvier, 01, 1980, Lundi).

16) *écrire-valeur* (liste des valeurs de la propriété, ligne, colonne) :

Ce prédicat liste toutes les valeurs de la propriété ligne par ligne et les numérote par ordre croissant.

17) *écrire-menu* :

Ce prédicat liste par ordre et par ligne toutes les questions déjà posées à l'utilisateur et leurs réponses correspondantes. Il est utilisé dans la partie des conclusions sous le titre "informations données".

Exemple :	activité de la compagnie :	machinerie	FC : 100%
	spécialisation :	produit métallique pour la construction	FC: 100%

10.3.2.2 Prédicats principaux

À cause de la clause de la confidentialité avec la compagnie *ICAM*, on aborde seulement les principaux prédicats qui connectent directement avec la base de règles. Il y a trois principales sortes de prédicats :

1) Le prédicat principal pour initialiser le système expert,

2) Les prédicats génériques pour la présentation des questions,

3) Les prédicats génériques pour la présentation des conclusions.

1) Le prédicat principal pour initialiser le système expert.

Prenons un exemple concret pour comprendre le programme d'initialisation au système expert. Cet exemple est moins élaboré et moins sophistiqué que celui construit pour le prototype.

Exemple :

```
commencer :        cls, fenêtre(0,0,23,79), titre1,
                   efface-intérieur(0,0,23,79), titre2,
                   efface-intérieur(0,0,23,79),
                   diagnostiquer.

diagnostiquer :    gc (full), set-question (1),
                   root-instance(CAO,▮,_),
                   eval(Cie-cas, CAO, I, V,true,cf).
```

diagnostiquer : tmove (10,10), write ("le programme a des erreurs. Il n'y a pas de conclusions").

▮ représente le nombre aléatoire donné par l'ordinateur à chaque consultation.

- Set-question, root-instance et eval sont des prédicats prédéfinis de l'Arity/Expert.

- *"gc (full)"* (gc = garbage collector) est un prédicat d'Arity/PROLOG.

- Le programme du système expert débute par le prédicat " *commencer*". Ce dernier va :

  - d'abord effacer tout l'écran (cls),

  - tracer la fenêtre,

  - mettre le titre 1 (prédicat qu'on doit définir ailleurs),

  - effacer l'intérieur de la fenêtre,

  - mettre le titre 2,

  - effacer l'intérieur de la fenêtre,

  - et cherche à satisfaire le prédicat *"diagnostiquer"*.

Le prédicat *"diagnostiquer"*, à son tour, va :

- récupérer tous les espaces non utilisés dans la mémoire grâce à gc (full).

- remettre le comptage de question à 1. S'il n'y a pas de "set-question", à la 2ième consultation, le système continue à incrémenter l'ordre de question.

- chercher le chiffre I lié au concept initial "CAO" décrit dans la taxonomie. Le système génère automatiquement un nombre aléatoire à chacun des concepts d'une consultation.

- chercher, par "eval", la valeur de la propriété du concept initial avec son facteur d'incertitude. Le concept doit être le concept initial dont la propriété est unique. Chaque valeur de la propriété V est la solution du problème du système expert. "EVAL" met en marche le traitement de la base de règles incorporée de la taxonomie pour trouver la solution.

Si "EVAL" ne trouve pas de solution, le premier *"diagnostiquer"* échoue. Donc le deuxième *" diagnostiquer"* sera considéré. Il va : déplacer le curseur à la ligne 10,

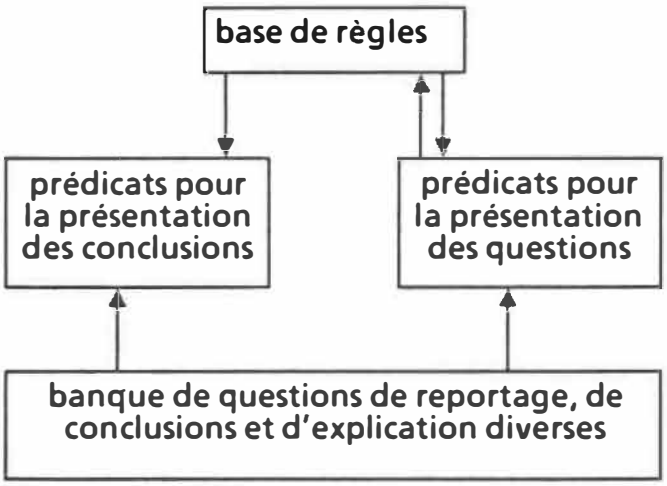
colonne 10, écrire les phrases: "Le programme a des erreurs. Il n'y a pas de conclusions".

L'existence de programme d'initialisation donne plus de liberté de conception et d'expression au cogniticien. Ce dernier imagine, à leur gré, le commencement et la fin de la consultation.

2) Les prédicats génériques pour la présentation des questions.

FIGURE 9 :

L'INTERACTION ENTRE LA BASE DE RÈGLES ET LE PROGRAMME D'INTERFACE



La base de règles décide quelle question à présenter. Après le choix de l'usager, les valeurs (liste de choix et le facteur d'incertitude retournent à la base de règles pour la déduction. Le prédicat prédéfini "Question (propriété "of" concept)" sert l'intermédiaire.

Suivant les conclusions des règles, on aura les reportages pour les conclusions intermédiaires et les re- commendations pour les conclusions finales. Le "Report (propriété "of" concept) sert l'intermédiaire. Il y a aussi le "announce (propriété "of" concept)" pour annoncer une nouvelle consultation.

La banque de questions, de pourquoi, de conclusions fournit l'information aux parties précédentes. Elle occupe plus de mémoire que l'ensemble de taxonomie, de base de règles et de programmes d'interface. Cependant avec la mémoire virtuelle, on ne rencontre pas de problèmes.

Dans le prototype, on a écrit 4 programmes pour traiter les 4 types de questions :

1) la question avec un seul choix

2) la question avec un choix multiple

3) la question avec un seul choix et avec le choix du facteur d'incertitude

4) la question avec un choix multiple et avec le choix du facteur d'incertitude

10.4 Premier prototype

10.4.1 Taxonomie du premier prototype

Le premier prototype dont la taxonomie ne tient pas compte de la subsumption (c'est-à-dire des sous-concepts) est basé sur les règles pour montrer les questions à l'écran.

Voici le résumé de la taxonomie :

a) Le concept initial appelé CAO a 2 rôles et une propriété finale dont les valeurs représentent les conclusions finales.

- <u>rôle 1</u>

  = caractéristique générale de la compagnie

- <u>rôle 2</u>

  = caractéristique détaillée de la compagnie

- <u>propriété finale</u>

  = ce sont les conclusions c'est-à- dire les cas de compagnie. Ils représentent aussi les branches terminales de la structure d'arbre.

b) Le concept du rôle 1 a deux propriétés :

- <u>propriété 1</u> :

  Elle représente le point de contrôle questionné au début de la session, pour vérifier s'il est intéressant de continuer la consultation ou non.

  Exemple : L'usager choisit le menu : "la productivité est l'une de votre préoccuptation" ou "le désir d'avoir un système intégré". Cela signifie que l'entreprise s'intéresse à la CAO. Si elle choisit "aucun des points ci-dessus", c'est la fin de la consultation.

- <u>propriété 2</u> : catégorie de l'entreprise

  Exemple : la compagnie fabrique les produits métalliques ou les machines.

c) Le concept du rôle 2 a trois rôles et cinq propriétés :

- rôle 1

  = la ressource humaine

- rôle 2

  = la conception

- rôle 3

  = les détails de conception

- propriété 1

  = les spécialités des fabricants des produits métalliques.

  Exemple : produits en feuille de métal, moulage, revêtement des métaux, produits métalliques de construction

- propriété 2

  = les spécialités des fabricants de machinerie.

  Exemple : matériel agricole, matériel de manutention

- propriété 3

  = le cycle de vie du produit.

  Exemple : produits à long ou court cycle de vie

- propriété 4

= le marché du produit.

Exemple : forte ou faible compétition

- propriété 5

= la prévision des ventes

Exemple : les ventes vont augmenter, se stabiliser ou diminuer.

d) Le rôle 1 du ci-dessus a trois rôles :

- rôle 1 = les ingénieurs
- rôle 2 = les concepteurs
- rôle 3 = les dessinateurs

Le rôle 1 du rôle 1 du concept 2 a une seule propriété :

= le nombre d'ingénieurs

Exemple : le nombre est moins que 3, plus que 3 et 0.

e) Le rôle 2 ci-dessus a 3 propriétés :

- propriété 1 = le nombre de concepteurs, type 1

  Exemple le nombre est moins que 3, plus que 3 et 0.

- propriété 2 = le nombre de concepteurs, type 2

Exemple : le nombre est moins que 5 et plus que 5.

- propriété 3 = le nombre de concepteurs, type 3

  Exemple : le nombre est moins que 7 et plus que 7.

Dépendant de l'information d'entrée antérieure, on peut poser la question sur la propriété 1,2 ou 3. Ce fait rend la question adaptable à la situation de chaque cas.

f) Le rôle 3 ci-dessus a trois propriétés :

- propriété 1 = le nombre de dessinateurs, type 1

  Exemple : le nombre est moins que 3 et plus que 3.

- propriété 2 = le nombre de dessinateurs, type 2

  Exemple : le nombre est moins que 5 et plus que 5.

- propriété 3 = le nombre de dessinateurs, type 3.

  Exemple : le nombre est moins que 7 et plus que 7.

g) Le rôle 2 du rôle 2 du concept initial a une seule propriété :

= le type de conception

Exemple : c'est une nouvelle conception ou les modifications des anciennes conceptions.

h) Le rôle 3 du rôle 2 du concept 2 a trois propriétés :

- propriété 1 = les principales phases du processus de de la conception mécanique

  Exemple : les phases sont l'analyse fonctionel, la définition du produit, la disposition de plans, les dessins de détail.

- propriété 2 = la proportion de travail de conception proprement dite

  Exemple : dans la conception, la plupart du temps est consacrée au recopiage, l'invention ou la création des variantes.

- propriété 3 = les types de modélisation

  Exemple : la modélisation est faite par le modèle mathématique, le prototype ou aucun modèle.

10.4.2 Base des règles

Il y a 69 règles pour présenter 9 questions à l'écran. Chaque règle a neuf antécédents et une conséquence. Chaque antécédent, représentant une question, laisse de deux à quatre choix à l'usager tandis que la conséquence représente une conclusion.

Ainsi, il faut faire une permutation des antécédents dans les règles jusqu'à ce que tous les cas soient considérés. Donc, chaque règle représente un cas ou une conclusion finale. On note qu'ici, il n'y a pas de liaison en chaîne entre les règles comme dans INSIGHT 2.

Par exemple, prenons le cas d'une compagnie qui a les caractéristiques suivantes : (dans ce cas, on ne considère pas encore la partie de conception).

1. fabricant de machinerie
2. spécialisé en matériel de manutention
3. le produit a un cycle de vie long
4. la compétition est faible
5. la vente se stabilise
6. le nombre d'ingénieurs est 0
7. le nombre de concepteurs est 0
8. le nombre de dessinateurs est moins que 3

Sous forme de programme écrit en Arity/Expert :

```
% règle :
  the cao-cas of cao is cas-49
  if
  the verification of general is
  ( point-1, point-2, point-3, point-4, point-5, point-6, point-7)
  and
```

the compagnie-type of general is type-2 and

the machinerie-type of detail is (mach-1, mach-2, mach-3, mach-4) and

the vie-produit of detail is vie-2 and

the competition-produit of detail is comp-1 and

the prevision-vente of detail is vente-2 and

the nombre-ing of ingenieur is ing-1 and

the nombre-con of concepteur is con-13 and

the nombre-des of dessinateur is des-12

10.5 Deuxième prototype

À cause des problèmes recontrés dans le premier prototype, on conçoit une nouvelle taxonomie utilisant la subsumption pour présenter toute la structure d'arbre, sans recourir à des règles.

De plus, afin de simplifier la structure et éviter la saturation de la mémoire des piles, on écrit deux programmes de consultation différente pour résoudre un même problème. Donc, il y a deux taxonomies distinctes et deux groupes de règles différents.

1) la 1ère consultation indique le type d'industrie mécanique auquel appartient la compagnie.

2) la 2ième consultation crée une structure d'arbre pour représenter tous les cas possibles.

Les deux consultations sont connectées par les programmes en PROLOG qui relient les données de la 1ère consultation à la 2ième et donnent, sur l'écran, une continuité des présentations de questions.

10.5.1 Taxonomie

1) Taxonomie de la première consultation

Il n'y a pas du principe de subsumption dans cette taxonomie. Celle-ci comprend:

a) Le concept initial appelé industrie a un rôle et deux propriétés :

- rôle

  = type d'industrie mécanique

- propriété 1 = les points de contrôle placés au début de la session (voir la taxonomie du premier prototype).

- propriété 2 = c'est la conclusion finale, indiquant les cas des compagnies

b) Le rôle du concept initial a trois propriétés :

- propriété 1 = la catégorie d'industrie

Exemple : produits métalliques ou machinerie

- propriété 2 = les spécialités des fabricants des produits métalliques

- propriété 3 = les spécialités des fabricants de machinerie

2) Taxonomie de la 2ième consultation

a) Le concept initial appelé CAO a un rôle et une propriété finale :

- rôle = les compagnies

-propriété finale = les recommendations, les suggestions donné à la fin de la consultation

b) Le rôle du concept initial a une propriété :

- propriété = les cas des compagnies, représentant les branches terminales de la structure d'arbre faite par la taxonomie.

Voici le tableau des sous-classes du rôle "compagnies" et leurs éléments :

Sous-classe	leurs éléments	
Compagnie		
Vie du produit	courte	longue
Compétition	faible	forte
Prévision de vente	augmenté	diminué
	stabilisé	
Nombre d'ingénieurs	moins que 3	0
	plus que 3	
Nombre de concepteurs	moins que 5	0
	plus que 5	

TABLEAU 5 :

LES SOUS-CLASSES DU RÔLE "COMPAGNIE" ET LEURS ÉLÉMENTS

La sous-classe écrite en Arity/Expert sera :

1) Define vie-du-produit as a subclass of compagnie.

2) Define courte as a vie-du-produit of compagnie.

3) Define longue as a vie-du-produit of compagnie.

On remarque que les combinaisons génèrent un grand nombre de sortie termiale à la base de la structure d'arbre. Chaque sortie terminale représente un cas de l'entreprise.

10.5.2 Base des règles

1) Base de règles de la 1ère consultation

Il y a seulement six règles parce que le nombre de permutation n'est pas grand. Chaque règle a trois antécédents et une conséquence. Les questions posées sont axées sur :

1. les points de vérification
2. la catégorie d'industrie mécanique
3. les spécialités de l'entreprise

Le programme en PROLOG vérifie les conséquences et décide s'il faut continuer la 2ième consultation ou non. Sinon, il y a des petites conclusions ou explications avant la fin de la consultation.

2) Base de règles de la 2ième consultation

Elle est composée de deux groupes de règles. Chaque groupe a 84 règles. Donc le total a 68 règles.

a) Le premier groupe sert à connecter chaque sortie terminale à chaque cas de la compagnie, qui est énuméré dans la propriété du rôle du concept initial CAO. Voici l'exemple d'une règle :

Exemple : % règle

the cao-cas of company is cas-1

if

the nombre-con of company is con-1111.

L'antécédent est l'une des branches terminales de la structure d'arbre (branche n° con-1111).

La conséquence relie celle-ci à un cas (cas-1), élément de la propriété. Ici, on peut ajouter une conclusion intermédiaire avant de passer au 2ième groupe de règles.

b) Le 2ième groupe de règles connecte chaque cas de la compagnie, conséquence de la règle du 1er groupe, à chaque recommendation ou conseil qui est l'élément de la propriété finale du concept initial CAO.

Exemple : % règle à un antécédent

the rec-cas of cao is rec-1

if

the cao-cas of company is cas-1.

Bref, la fonction de la base de règle est de relier les sorties de la structure d'arbre classifiée dans la taxonomie aux valeurs des propriétés du concept initial.

10.6 Évaluation des prototypes

Voici l'état du système de chaque prototype après le traitement de la taxonomie, la base de règles et le programme en PROLOG par l'interpréteur d'Arity/Expert.

La capacité maximale de mémoire tolérée par le système:

le pile local = 49152 octets

le pile global = 65536 octets

le pile de trace = 32768 octets

TABLEAU 6 : L'ÉTAT DU SYSTÈME DE CHAQUE PROTOTYPE

	Prototype 1		Prototype 2	
Pile	sans système expert	avec système expert	sans système expert	avec système expert
local	464 oc	3 020 oc	464 oc	4 116 oc
global	328 oc	6 490 oc	328 oc	22 812.oc
de trace	3 184 oc	7 618 oc	3 184.oc	4 880 oc

oc = octets

Remarquons que :

Dans le 1er prototype, le pile global atteint la capacité maximale de mémoire tolérée par le système (64 920 versus 65 536). C'est pourquoi l'interpréteur s'arrête de fonctionner à partir de la 69ième règle.

Cela prouve que le système est limité par le nombre de règles et l'on ne peut pas utiliser la base de règles pour construire une structure d'arbre comme dans INSIGHT 2. L'une des raisons est que le nombre élevé des antécédents (9) augmente la recherche des pointeurs, ce qui gaspille la mémoire du pile global.

Dans le prototype 2, la taxonomie avec la subsumption prend charge de la structure d'arbre. On note que le pile global descend à 22 812 octets.

Or, quand l'interpréteur traite seulement le fichier du programme en PROLOG (sans la base de règles), la mémoire du pile global utilisé est de 18 224 octets. Donc le pile global utilisé par la base des règles et la taxonomie est la différence entre 22 812 et 18 224 qui donne 4 558.

Ce fait prouve que malgré les 68 règles du 2ième prototype, le grand nombre de règles n'augmente pas le pile global. On déduit aussi que les règles à un antécédent ne gaspillent pas la mémoire du pile global.

Cette découverte montre la puissance de la méthode hybride de représentation de connaissance. La taxonomie, avec une dizaine de lignes de classification de sous-classe, donne le même résultat que celui du prototype 1 qui demande plusieurs pages de règles dont la vérification de l'exactitude est très difficile.

10.7 Avantages et désavantages

a) Avantages de l'Arity / Expert

1) Grâce à la classification de connaissance sous forme de concepts, de rôles, de propriétés et de sous-concepts, le cogniticien organise facilement sa base de connaissance avec cohérence et clarté.

2) L'Arity/Expert est intégré avec le langage PROLOG. Toutes les caractérisiques de l'Arity/PROLOG peuvent être utilisées en conjonction avec l'Arity/Expert. Ainsi ce dernier est flexible dans la conception du système expert qui s'adapte mieux à des applications spécifiques.

3) Les programmes PROLOG peuvent contrôler ou modifier les entrées, les sorties et les réponses du système expert. Un but peut être appelé à partir d'un système expert ou à partir d'un programme PROLOG.

4) Grâce à des prédicats prédéfinis (eval, root-instance, prop-rest, role-rest, class-rest, etc...), on peut savoir à tout moment, les paramètres d'un objet classifié dans la taxonomie. Cela est très utile pour une grande structure complexe de connaissance. D'ailleurs, les autres squelettes de système expert fonctionnant sur le micro- ordinateur, basés sur d'autres langages n'ont pas cette caractéristique mentionnée.

5) La taxonomie prépare aisément une structure d'arbres, ce qui diminue énormément le nombre de règles. C'est un gros avantage pour raccourcir le temps de développement du prototype.

6) La relation de subsumption économise la description de chaque concept, qui est la conséquence directe de l'héritage des attributs et les valeurs des attributs.

7) Devant une question avec une réponse inconnue, le système continue en montrant tous les membres du prochain sous-

concept. Ce fait n'interrompt pas le cheminement des branches dans la structure d'arbres.

8) On peut utiliser la variable dans les règles. Cela élimine plusieurs règles semblables et diminue le nombre de règles.

9) L'avantage important est la capacité de donner une explication à une question et à une conclusion, grâce aux prédicats Why and How.

10) Trois méthodes de calcul du facteur d'incertitude (méthode standard, méthode de logique floue et méthode probabilistique) peuvent être choisies dépendant de l'application. Habituellement, le facteur d'incertitude est difficilement contrôlé avec le langage PROLOG à cause de la difficulté de programmation.

b) Désavantages de l'Arity / Expert

1) La notion de taxonomie (classification par concepts) est étrange pour un débutant qui a peu de connaissance en système expert.

2) Le débutant doit connaître le système du micro-ordinateur et le langage PROLOG.

3) Pour bien utiliser toutes les capacités et les flexibilités de l'Arity/Expert, il est obligatoire que le cogniticien maîtrise bien la programmation en PROLOG.

4) Le programme écrit en syntaxe de l'Arity/Expert est difficilement compréhensible par une personne autre que le programmeur. Par exemple, l'invention des expressions ou des termes codés pour les concepts, les rôles, les propriétés, les valeurs des propriétés, le SET, le SYNONYM, le REPORT, etc... est personnelle.

5) Pour suivre le raisonnement et cheminement des règles, il faut bien comprendre d'abord :

   - les prédicats prédéfinis utilisés dans la taxonomie et dans la partie de contrôle au début de la base de règles,

   - l'organisation de la classification,

   - les relations entre les concepts, rôles et propriété,

   - les termes abrégés.

6) La base de taxonomie et la base de règles sont deux fichiers différents. La correction, l'ajout ou la suppression dans l'une des 2 bases affectent la structure de l'autre. Par exemple, changer le nom de la valeur d'une propriété dans la

taxonomie entraîne la modification des termes dans le SET, le SYNONYM et les antécédents des règles. De ce fait, chaque nouveau prototype bouleverse la structure du programme du prototype antérieur.

7) Les règles imitent les clauses de Horn, c'est-à-dire chaque règle ne peut avoir qu'une seule conclusion. On ne peut pas utiliser le OR dans les antécédents. Donc pour représenter le OR, il faut écrire plus de règles.

8) La façon de présenter les questions et les conclusions chez l'Arity/Expert n'est pas agréable. Pour un système expert commercial, il faut concevoir son propre interface pour rendre la présentation plus accueillante.

9) Le temps d'apprentissage est long puisque le cogniticien doit apprendre plusieurs choses en même temps, comme l'utilisation de la base de connaissance, du langage PROLOG et de différents fichiers utilitaires (ALINT, ENVEDIT...).

10) La documentation est assez complète. Cependant, elle n'est pas claire dans la présentation de la méthode de conception d'un programme composé de taxonomie et de règles.C'est seulement après avoir réalisé plusieurs prototypes que le cogniticien découvre lui-même :

- la notion de la classification par concept (subsumption),
- l'utilisation des relations entre les concepts et les propriétés,
- comment optimiser la structure du programme pour ne pas dépasser les limites du système.

10.8 Conclusion

L'Arity/Expert est difficile à maîtriser et long à apprendre. Il exige le travail d'un professionel. Cela n'est pas une surprise parce que la méthode hybride de représentation de connaissance est une technique très récente, efficace qui n'est utilisée que sur le gros et mini-ordinateur.

Malgré les désavantages, il est bien adapté au projet. La capacité de mémoire est suffisante pour contenir les informations de CAO. La flexibilité du langage PROLOG permet de concevoir l'interface homme-système approprié. Le problème est comment maîtriser la gestion des piles et des mondes pour éviter la saturation trop rapide des piles. Le temps limité de cette recherche ne permet pas de régler ce problème.

CHAPITRE 11

SOLUTION DU PROBLÈME

11.1 Échec de l'ancienne approche

D'après les analyses dans le chapitre 7, le système expert sur la sélection des logiciels de CAO ne satisfont pas en même temps tous les critères de faisabilité. Un tel système exige un niveau de détail et d'analyse poussé pour pouvoir bien déduire quelles caractéristiques de logiciels à choisir. Cela conduit à une impasse à cause des raisons suivantes :

1) Explosion combinatoire

Plus on augmente les informations d'entrée, plus il y aura des cas à étudier. Or, l'expert en CAO a une connaissance et une expérience limitée à un certain domaine d'application. Il ne peut pas tout seul trouver les bonnes solutions pour tous les cas. Il faut avoir les conseils d'experts d'autres domaines.

2) Problème d'évidence

Plus on entre dans le détail, plus on rencontre de problème d'évidence. Par exemple, la question posée est: "Est ce que vous hachurez souvent le dessin ?". La réponse est : "Oui". Dans la conclusion, c'est certain que l'on ajoutera la caractéristique

"hachurage automatique". Sinon, on enlève celle-ci. La déduction est simple et évidente. On n'a pas besoin d'un système expert pour faire cela.

3) Standardisation des logiciels

Les caractéristiques détaillées des logiciels de CAO sont des options qui deviennent de plus en plus standards chez tous les vendeurs. Les logiciels de différents fournisseurs tendent à avoir les même capacités, les mêmes flexibilités et les mêmes caractéristiques.

L'écart entre les points forts et les points faibles de deux logiciels de marque différente diminue de jour en jour. Seuls les logiciels de nouvelles versions basés sur les matériels les plus récents font la différence avec les anciens.

4) Les caractéristiques des logiciels de CAO s'améliorent et se transforment sans cesse. Elles sont imprévisibles.

Cependant, l'inconvénient est que les logiciels, eux- mêmes, s'améliorent en capacité et en flexibilité, et se superposent à la longue. Par exemple, les logiciels graphiques en 3D peuvent faire toutes les fonctions de ceux de 2D. Dans un avenir proche, ils feront de l'animation, de la cinématique, de pliage de tôles. Bref, le logiciel de CAO de demain fera tout à un prix moindre. Donc, à quoi bon choisir si les divers types de logiciels actuels convergeront vers un seul type de logiciel.

Donc, nous devons trouver une nouvelle formulation du problème qui satisfait les critères de faisabilité et avec laquelle le futur système expert sera commercialisable.

11.2 Nouvelle approche

La plupart des entreprises, excepté les grosses compagnies et bureaux de génie-conseil qui ont leurs propres spécialistes pour mener une sélection du système de CAO, font appel aux centres spécialisés soit gouvernementaux ou privés.

La décision de s'équiper d'un système appartient au chef de l'entreprise. A part le coût appréciable d'acquisition du système, il y a aussi la peur du risque et de l'inconnu, l'ignorance des responsables concernant le domaine de la CAO.

Ainsi, l'objectif du système expert est d'intervenir pour donner au chef de l'entreprise, au moins, une idée claire de ce que le système de CAO va apporter et dans quelle direction il doit s'orienter.

Il y a plusieurs avantages découlant de cette nouvelle approche :

1) Le système expert va jouer le rôle de conseillers et d'instructeurs. La décision et le raisonnement restent encore au main des responsables de l'entreprise.

2) Il doit être une référence de discussion sur laquelle les responsables se baseront quand ils rencontreront les experts consultants.

3) L'ordinateur semble toujours neutre, inchangeant dans les déductions ce qui donne plus de confiance aux gens qui l'utilisent.

4) Consulter un expert en CAO coûte cher. Avec le système expert, on peut consulter et reconsulter à volonté à un prix moindre et avec plus de précision,plus d'explication.

5) En modifiant les données d'entrée, on obtient différentes solutions ou conclusions qui aident à comprendre mieux le domaine de la CAO.

6) Le système expert va aider à éviter les pièges souvent oubliés, les obstacles, les malentendus. Il améliore aussi le degré de réussite du processus de sélection de système de CAO.

Pour atteindre l'objectif cité, la nouvelle approche possédera les caractéristiques suivantes :

1) Les étapes "Etude du processus actuel de conception" et "analyse des besoins" seront pris comme les informations d'entrée nécessaires à la déduction des conclusions ou des solutions.

2) Le domaine de la CAO sera décomposé en 6 sous- domaines (déjà décrit dans le chapitre 2) pour 6 types d'industries mécaniques.

3) Chaque catégorie d'industrie mécanique a son propre système expert.

4) Le système expert est assez général pour couvrir les différents types d'entreprise dans une catégorie d'industrie mécanique donnée.

5) Il sera axé plus sur l'explication du raisonnement, l'explication des conclusions ou des solutions et les avertissements utiles.

6) Il aura plusieurs rapports, conclusions intermédiaires pendant la consultation au lieu d'une conclusion finale à la fin de la consultation.

7) Le dialogue entre l'usager et le système doit être aussi naturel que possible comme la conversation entre l'expert et le représentant de l'entreprise. Ce fait n'ennuie pas l'usager et rend le système expert attrayant.

11.3 Structure générale du système expert conseiller

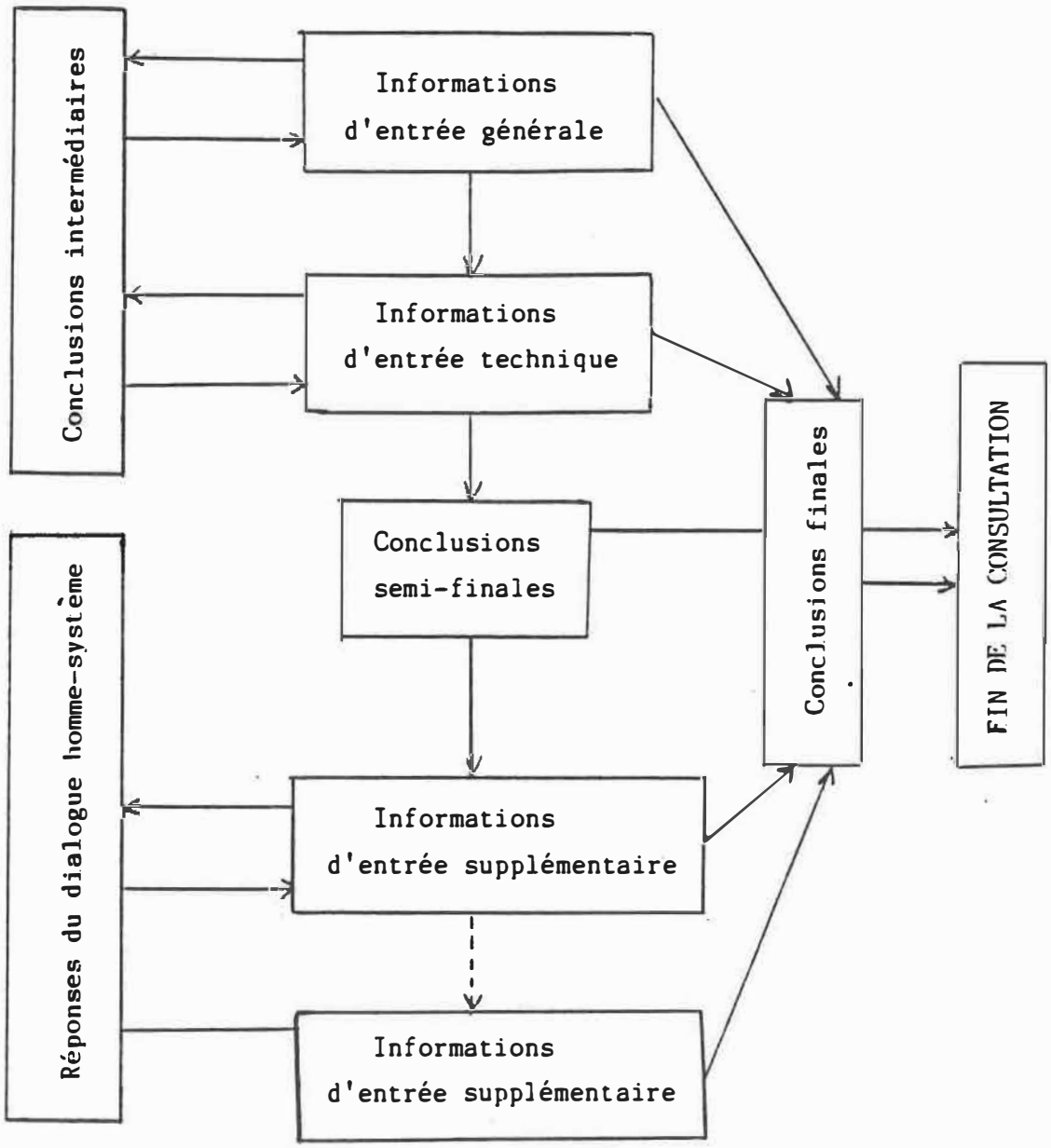
La structure du système expert conseiller proposé est présentée schématiquement dans la figure 10. Elle est composée de deux parties importantes qui sont discutées ci-dessous :

11.3.1) Informations d'entrée

Elles comprennent toutes les questions posées à l'usager pour les raisonnements. Les questions doivent être conçues minutieusement pour les raisons suivantes :

FIGURE 10 :

LA STRUCTURE GÉNÉRALE DU SYSTÈME EXPERT CONSEILLER EN CAO



- Si les informations reçues sont fausses ou inexactes, les conclusions et les conseils ne seront pas valables.
- Si les informations essentielles manquent, les raisonnements ne seront plus solides et les conclusions seront inexactes ou irréalistes.
- S'il y a trop de questions, cela génère une explosion combinatoire des cas, ce qui rend impossible la réalisation du projet.

Ainsi, les questions doivent être assez générales pour capturer les informations essentielles, utiles pour le raisonnement. C'est un travail difficile parce que le cogniticien doit connaître parfaitement la méthode conventionnelle de conception du type d'industrie donnée.

Pour contrôler l'explosion combinatoire, les connaissances heuristiques (expériences passées, truc, intuition, prévision) doivent être utilisées au maximun. Par exemple, dans le domaine de moulage en plastique, on sous-entend que :

- il existe déjà des modeleurs, plusieurs essais et corrections sur les maquettes
- les formes des pièces sont souvent complexes et ont une taille petite et moyenne
- il n'y a pas de dessins élaborés des engrenages et des vis
- la liste des matériaux n'est pas importante.

Donc, avec les connaissances heuristiques, on évite plusieurs questions jugées superflues. Par conséquent, le système de chaque catégorie d'industrie aura sa propre façon de questionner.

Dans les informations d'entrée, il y a 3 parties :

A) les informations d'entrée générales

Elles concernent toutes les informations intérieures et extérieures de l'entreprise :

- informations extérieures :
  - l'évolution du marché (stable, instable, en progression)
  - le degré de compétition (aucun, doux, féroce)
  - la position de l'entreprise par rapport à d'autres de même type (en recul, en avance).
- informations intérieures :
  - le type d'industrie (6 types d'industries déjà mentionnés)
  - le chiffre d'affaire
  - l'état financier de l'entreprise (difficile, aisé,bon)
  - le produit : variété de produits finis (un seul type, plusieurs types), vie cyclique (court, long)
  - la prévision des ventes (stable, diminué, augmenté)
  - le mode de production (en chaîne, en lots, en pièces)
  - l'existence des machines-outils (le nombre, le degré de liberté (2 axes, 3 axes, 4 axes, 5 axes))
  - le degré d'automatisation (inexistant, local)

- le plan d'investissement à court et à moyen terme (inexistent, en expansion)
- l'organisation des employés du bureau d'études (syndicat, degré moyen d'ancienneté des employés)
- le nombre d'ingénieurs, de concepteurs et de dessinateurs
- lacunes à pallier (manque de qualité de produit, coût élevé).

B) les informations d'entrée techniques

Elles concernent toutes les informations reliées aux travaux techniques du bureau d'études :

- les types de conception (création, variante, modification)
- la proportion de travail (de conception, de dessin, de documentation et de mise à jour)
- les types de modélisation (maquette, prototype, modèle mathématique, modèle graphique)
- les types d'analyses (cinématique, dynamique, par éléments finis (linéaire statique, linéaire dynamique, non-linéaire), par simulation)
- les types de dessin et leurs proportions (dessins d'assemblage, dessins de plan, dessins des outils et fixtures, dessins de détail)
- la complexité des dessins (orthogonale, isométrique, perspective, auxiliaire, vue d'explosion)
- le volume de dessins

- le degré de sous-traitance

Ce n'est pas obligatoire d'énumérer tous les paramètres mentionnés ci-dessus dans le système expert. Les questions doivent être conçues à partir des connaissance heuristiques déduites à partir de la question antécédente.
Par exemple, la réponse au nombre d'ingénieurs posé par la question antécédente est supérieure au nombre de concepteurs et de dessinateurs. On conclut sans aucun doute que la proportion d'analyse et de conception est très importante. Dans ce cas, nous n'avons pas besoin de poser la question sur la proportion de conception et de dessin.

Ainsi, chaque chemin de cette structure d'arbres est unique puisque le contenu et les questions posées se différencient d'un chemin à l'autre. Certains chemins vont à la conclusion plus rapide que d'autres. Toutefois, cela pose, au cogniticien, un gros travail de recherche poussée et minutieuse, et une relation étroite avec les experts de différents domaines.

C) les informations d'entrée suppléméntaires

Après avoir reçu les données générales et techniques, on peut déduire une certaine conclusion sur la faisabilité du système de

CAO, les types de logiciels à considérer, les alternatives à prendre, les orientations à envisager ou les suggestions utiles.

Dépendamment de l'étude de chaque cas, il y aura une conclusion appropriée. Certains cas vont à la conclusion finale, mais d'autres peuvent encore continuer.

Par exemple, la conclusion est que l'acquisition du système de CAO est rentable et que l'ordinateur doit être puissant. La question supplémentaire sera: "Avez-vous assez de budget pour obtenir un mini-ordinateur ?". Si la réponse est non, le système expert va donner une solution alternative.

Donc, les informations d'entrée supplémentaires peuvent être axées sur :

- le rôle de l'administration
- le budget et la planification à court et moyen terme
- la justification de la rentabilité
- l'environnement de travail des employés
- le plan d'implantation du système
- les besoins et les désirs de l'organisation.

Cette partie est plutôt pédagogique et sous forme d'un dialogue question-réponse. La réponse est orientée vers les suggestions objectives, les conseils constructifs, les avertissements dans lesquels sont inclus les applications du raisonnement et du domaine.

11.3.2 Informations de sortie

Il y a trois catégories d'informations de sortie :

1) les conclusions intermédiaires

2) les conclusions semi-finales

3) les conclusions finales

4) les réponses du dialogue homme-système.

1) Conclusions intermédiaires

Après quelques questions que nous trouvons assez pertinentes pour la déduction, nous affichons, pendant la consultation, des remarques, de petits conseils, des explications techniques, des explications du raisonnement ou le résumé des informations déjà reçues. Le but de ces conclusions est d'informer et éclairer l'usager, de situer la situation du cas. C'est utile pour attirer l'attention de l'usager et le faire réfléchir.

2) Conclusions semi-finales

Grâce aux informations générales et techniques, on déduit une certaine conclusion pour le cas de la compagnie. Les conclusions semi-finales représentent les cas où l'acquisition du système de CAO est rentable, où le choix d'un type de logiciel est possible. Tous les cas où le système de CAO n'est pas à conseiller sont menés à la conclusion finale et la fin de la consultation.

La différence avec les conclusions finales, c'est qu'après les conclusions semi-finales, le système pose encore des questions essentielles supplémentaires pour connaître plus sur l'entreprise et déduire des réponses appropriées.

3) Conclusions finales

Elles représentent la fin des cas. Les informations reçues depuis le début de la consultation sont assez concluantes pour un avertissement, une recommandation ou une suggestion finale. Par exemple :

- suggestions sur l'amélioration de la méthode traditionnelle de conception, l'utilisation du sur-temps, l'emploi du personnel supplémentaire,etc.
- avertissements sur la non-rentabilité du système de CAO, l'incomptabilité du travail du bureau d'étude avec le système de CAO, etc.

4) Les réponses du dialogue homme-système

Les réponses du dialogue entre le sytème et l'usager concernent toutes les suggestions objectives, les conseils constructifs, les avertissements, les explications du raisonnement

C'est l'étude de chaque cas particulier de l'entreprise qui permet de donner une réponse appropriée. A ce stade de recherche, il est impossible de détailler les réponses.

11.4) Méthodologie pour réaliser le système expert proposé

La principale méthodologie est basée sur la méthode de construction incrémentale de prototypes. Ici il est supposé que le choix du squelette du système expert est déjà fait.

Voici les différentes étapes à suivre :

1) Grâce à la recherche et à l'entrevue avec les experts, le cogniticien définit les principaux paramètres des informations d'entrée générale. Il programme ces derniers et fait marcher le premier prototype correctement. La conception de l'interface doit être bien étudiée dès cette étape. Les conclusions, les conseils ne sont pas encore importants.
2) Montrer le prototype aux experts en CAO et aux futurs consommateurs (ingénieurs, concepteurs, dessinateurs, administrateurs). Prendre note de tous les commentaires concernant le contenu et la présentation des questions et l'interface homme-système.
3) Reconcevoir ou modifier les questions, l'interface et le prototype. Optimiser le programme si nécessaire.
4) Répéter l'étape 2, puis l'étape 3 jusqu'à ce que le cogniticien juge que les informations d'entrée générale sont suffisantes,

exactes et réalistes. Les connaissances heuristiques sont utilisées au maximum.

5) Travailler sur les branches de la structure d'arbre et la déduction à des conclusions intermédiaires et finales. Ainsi, dès cette étape, une grande partie de cas sont conduits à la conclusion finale (ou la fin de la consultation). Par conséquent, il reste moins de branches à continuer.

6) Quant à la partie des informations d'entrée techniques,on suit l'étape 1 jusqu'à l'étape 5. Après avoir été sûr de l'exactitude des parties précédentes, on continue à l'étape suivante.

7) A la partie d'informations supplémentaires, on fait face à un très grand nombre de branches. Chaque branche est un cas particulier dont les questions supplémentaires varient d'un cas à l'autre, ce qui requiert un gros travail de synthèse et d'analyse. Dans cette étape, le cogiticien fait la recherche sur les questions à poser et les conclusions ou conseils à donner pour chaque branche.

8) Programmer tous les résultats et faire marcher le prototype.

9) Montrer le prototype aux experts et aux consommateurs et tenir compte de l'évaluation de ces derniers.

10) Réévaluer le prototype et comparer ce dernier aux objectifs fixés du système expert.
11) Rectifier et raffiner le prototype puis répéter l'étape 9 et 10.
12) Prototype de recherche.

On remarque que la méthode de développement de base de connaissances est basée sur le chaînage avant. D'abord, on collecte les informations, puis on fait les déductions à partir de ces informations. On ne connaît pas les buts détaillés à atteindre, excepté les conclusions générales.

En réfléchissant sur le domaine de CAO, c'est normal que cette méthode adopte le chaînage avant car le domaine de CAO est une branche totalement nouvelle, sans aucune ancienneté scientifique. Ici on développe le système expert, mais en même temps, on fait les recherches sur le domaine de CAO. La différence avec d'autres systèmes experts, c'est que ces derniers sont nés à partir d'une expertise bien fondée et prouvée.

Bien que le squelette d'Arity / Expert marche sur le chaînage arrière, la méthode n'affecte en rien la programmation.

CHAPITRE 12

CONCLUSION

Au Canada, le nombre d'utilisateurs de la CAO mécanique est encore très peu élevé. S'il y a une adoption de l'automatisation, celle-ci reste locale et à petite échelle. L'une des raisons est qu'il existe une réticence de la part des PME envers la valeur réelle de la CAO dont la productivité n'est pas facile à évaluer.

Pendant ce temps, il existe une pénurie d'expert- consultants en CAO expérimentés et met les décideurs dans l'état permanent de confusion et de méconnaissance. D'ailleurs, on connaît bien les avantages qu'apporte la CAO. Par contre, on connaît moins bien les difficultés qui s'y attachent.

Par conséquent, il est grand temps de commencer la recherche pour le développement d'un système expert consultant en CAO. Il existe un besoin réel de conseillers chez les non-utilisateurs de CAO.

12.1 Résumé du travail accompli dans le cadre de ce projet

La recherche chez la compagnie ICAM n'est qu'une étude de

faisabilité du projet grâce aux évaluations des prototypes. Elle est axée sur le domaine de CAO mécanique, le choix des squelettes, la compréhension des squelettes, et les tests des prototypes.

Voici les résultats obtenus durant cette recherche :

- les différents paramètres essentiels d'entrée et de sortie du domaine de CAO en mécanique sont établis avec leurs questions.
- la connaissance en logiciels CAO et en système hybride de connaissance est éclaircie.
- les limites de fonctionnement et les difficultés d'INSIGHT 2 et d'Arity/Expert sont connus.
- la structure du programme d'interface en PROLOG a été conçu avec les prédicats évaluables pour la gestion de l'écran. Ces derniers peuvent être utlilisés ailleurs, ce qui sauve le temps des programmeurs.
- les commentaires, les avantages, les désavantages, les conseils, les définitions reliés au domaine de CAO en mécanique, qui sont retirés des articles, des magasines, des experts, des livres, sont classifiés dans le fichiers Text. Ils seront utilisés comme base pour les conclusions intermédiaires et finales.

12.2 Recommendation à la Compagnie ICAM pour la solution du problème

Malgré les résultats obtenus cités précédemment, ce projet a besoin de plus de temps de recherche et de construction de prototypes pour parfaire la base de connaissance. Commentons chaque point énuméré ci-dessus.

- les paramètres d'entrée et de sortie sont encore préliminaires. Ils deviennent exacts, complets et réalistes avec les discussions avec les experts en CAO et en fabrication mécanique.
- il faut régler le problème de pile rencontré dans Arity/ Expert et Arity/PROLOG. Pour comprendre ce dernier, il faut jouer avec les prototypes. Comprendre le fonctionnement signifie aussi savoir optimiser le système.
- l'interface est encore à être améliorée.Les commentaires des utilisateurs sont nécessaires pour la correction.
- il faut faire plus de recherches pour les conclusions intermédiaires et finales.

Pour mener ce projet à la réussite, le cogniticien doit être en collaboration très étroite avec les experts en CAO et en fabrication de machines. Il doit avoir une vue globale et réaliste de différentes industries de fabrication de machines.

Puisque la Cie ICAM est une petite entreprise, il est préférable qu'elle collabore avec les organismes universitaires ou gouvernementaux pour réaliser le projet.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANONYMOUS," Autofact 5 : Technical paper", nº 751-775. Detroit, Michigan (1983).
2. ANONYMOUS, "Arity/Expert development package". Arity Corporation, Concord, Mariland (1986).
3. ANONYMOUS, "CAD/CAM, CAE Survey, review and buyer's guide". Daratech Associates, New York (1986).
4. ANONYMOUS, "CAD/CAM, CAE, the contemporary technology ". Daratech Associates, New York (1986).
5. BERNARD DAVID,"Méthodologie pour la construction de systèmes de CAO : Sigma - CAO". L'institut national polytechnique de Grenoble, Paris (1981).
6. CHARLES M. FOUNDYLLER, "CAD/CAM, CAE. Evaluating today's system". Daratech Associates, New York (1984).
7. CHRIS ALDIS, "NCR CAD/CAM survey and evaluation". National Research Council Canada, Ottawa (1982).
8. FREDERICK HAVES, ROTH DONALD, A. WATERMAN, "Building expert systems". Addison Wesley Publishing Cie, New York (1983).
9. GILLES DELISLE, "L'automation industrielle, une obligation autant qu'un défi". MICQ, Ottawa (1982).

10. JEANNOT FECTEAU, "Bienvenue à CAO / FAO '86". *Ministère de l'Industire et du Commerce du Québec* (MICQ), *Québec* (1986).

11. JEAN MERMET, "CAD in medium sized and small industries". L'université de Grenoble, Paris (1981).

12. LARRY KERSCHBERG, "Expert database systems". Benjamin Cummings Publishing Cie, New York (1986).

13. MARC FERRETTI, "Micad 85 : La CAO à l'heure des PME". *Sciences et Techniques*, numéro 15, Paris (1985).

14. NORBERT GIAMBIASI, Jean Claude Rault, "Introduction à la conception assistée par ordinateur". Hermes Publishing, Paris (1983).

15. PETER CHAO WANG, "Automation, technology for management and productivity advancements through CAD/CAM and engineering data handling". Prentice-Hall Inc., New York (1983).

16. ROBERT M. DUNN, Bertram Herzoo, "CAD/CAM Management Strategies". Auerbach Publishers Inc., New York (1986).

17. RICHARD N. STOVER, "An analysis of CAD/CAM applications". Prentice Hall Inc., New York (1984).

18. T.M.R. ELLIS, O.I. SEMENKOV, "Advances in CAD/CAM". North Holland Publishing Cie, New York (1983).

19. VON GARDAN, "Éléments méthodologiques pour la réalisation de systèmes de CFAO et leur introduction dans les entreprises". L'institut national polytechnique de Grenoble, Paris (1982).

,NNEXE 1

ahier des charges d'un système de CAO

Voici un extrait d'un cahier de charge d'un système de CAO et FAO chez NRC National Research Council) [J. THOMSON (7)].

A)Pour le système de CAO/FAO

les caractéristiques désirées :

- comptabilité
- système de fichiers sécuritaires
- Archivage de gestion
- capacité d'établir les priorités et la gestion des mémoires virtuelles
- stockage des données sur les bandes magnétiques
- station de travail flexible pour l'utilisateur
- utilisation des machines à calcul présentes
- communication des données à travers le protocole RS232

B) Pour le dessin et la conception mécaniques

B1) les caracteristiques demandées :

- dessin en 3 dimensions
- dimensionnement (métrique , impérial)
- hachurage
- bibliothèques des pièces standards
- génération des vues de coupe transversale

- tolérance et contrôle d'erreurs
- contrôle d'assemblage sur les pièces dessinées séparément
- plan de surface développable
- accès à la base de données géométriques
- sortie de géométrique en 3D en base de données IGES

B2) les caractéristiques désirées :

- dimensionnement automatique
- génération des grilles pour l'élément fini en 2D
- cinématique
- le vendeur fournit le logiciel d'analyse d'élément fini qui est connecté à la base de données CAO et FAO
- capacité de dessin architectural
- génération des dents d'engrenage
- analyse de contraintes structurales

NEXE 2

critères de sélection

Voici un extrait d'un article de Dusan Novotny (1985) (6), qui montre l'exemple quelques critères de sélection.

les modules proposés :

- calculs
- dessins
- CN
- gammes
- nomenclatures
- gestion de dessins
- traitement de texte, etc...

L'intégration du système :

- base des données
- interface utilisateur
- matériel

Les communications :

- MRP
- FMS

la gestion des dessins

la configuration du matériel

les familles des pièces :

- création des symboles
- gestion

les exigences du dessin :

- le volume des plans traités

le dessin des outillages

le dessin des outillages

le prix de différentes configurations

le matériel

le logiciel

la formation :

- politique
- coût

la livraison :

- délai
- coût

l'équipement du poste de travail

les développements futurs

l'aspect contractuel

ANNEXE 3

La forme d'évaluation du systeme de CFAO

Les tableaux ci-dessous sont utilisés pour évaluer quelques systèmes existants. Les poids donnés sont associés avec les qualités variées de la performance ou les mesures. Ces tableaux sont présentés et évalués par NCR (National Research Council) (division d'ingénierie mécanique,par V.J.Thomson) (7).

POIDS	CAPABILITÉS	UNIGRAPHIC	CALMA	CADD	CADAM	AUTOTROL
10	Interface	7	8	9	8	9
	temps d'apprentissage					
	Tutoriel					
	Flexibilité d'application					
	Qualité de présentation					
	Amical/ Maladroit					
10	Dessin	7	8	8	7	8
	2D					
	3D Perspective					
10	Conception	6	7	10	3	7
	Construction en 3D					
	Publication					
	Intersection des surfaces(Splines)					
	Coupe transversale					
	Fusion des modèles					

OIDS	CAPABILITÉS	UNIGRAPHIC	CALMA	CADD	CADAM	AUTOTROL
5	Analyse FEM	8	8	8	4	6
10	Fabrication	6	7	8	8	6
	Génération des chemins outils					
	Contrôle des surfaces					
	Coupe du métal (CN)					
	Feuille de métal					
	Conception de matrices Post-Processeurs					
2	AEC	6	8	6	5	7
8	Langage/ Macro Capabilities	8	8	6	5	9
	Amicales/ Obscures					
10	Accès à la base de données	8	8	5	7	6

POIDS	INSTALLATION de NRC	UNIGRAPHIC	CALMA	CADD	CADAM	AUTOTROL
10	Local/Eloigné	8	6	9	4	9
	Coûts de communication					
5	Administration	8	6	8	8	8
	Contrôle d'utilisation					
5	Formation	8	9	8	8	8
	Applications aux entreprises					
	Soutien					
5	Coût	7	7	8	7	7
	Système					
	Incremental/ Station de travail					
10	Soutien du fabricant	8	9	8	7	8

POIDS	TESTS DE PERFORMANCE	UNIGRAPHIC	CALMA	CADD	CADAM	AUTOTROL
7	DESSIN 2D 3D	7	7	9	6	7
7	CONCEPTION	6	6	10	5	7
7	FABRICATION Génération des chemins outils Contrôle de surfaces	6	9	8	4	9
1	EXIGENCE DE MÉMOIRE	7	6	8	8	7
7	RÉPONSE DU SYSTÈME	6	7	10	5	8,5
5	TEMPS REQUIS POUR RÉGLER LES PROBLÈMES Viscomètre Aile/Fuselage Aspirateur	5	5	10	4	5

IV

POIDS	ÉTAT DE LA TECHNOLGIE	UNIGRAPHIC	CALMA	CADD	CADAM	AUTOTROL
5	Matériels	7	7	10	7	7
5	Logiciels	6	6	10	4	6
10	Conception du système	5	5	10	5	6
10	Base pour travaux de R/D	6	6	10	4	6
5	Temps à la désuétude	6	6	10	5	7
5	Portée d'application	8	9	8	5	9

V

TOTAUX	UNIGRAPHIC	CALMA	CADD	CADAM	AUTOTROL
Capabilités générales	46	52	51	36	50
Installation de NRC	26	24	28	21	27
Tests de performance	21	23	32	17	25
État de la technologie	24	25	39	20	27
TOTAL	117	124	150	94	129

ANNEXE 4

Prototypes du système expert

À travers les différentes phases de construction d'un système expert, on distingue plusieurs types de prototypes :

a) Prototype de démonstration

Ce prototype demande un temps de développement de 1 à 6 mois. Le nombre de règles varie de 50 à 200. Il sert à tester la validité et la faisabilité du projet. Le projet peut être continué ou abandonné dépendant des résultats du test de ce prototype.

b) Prototype de recherche

Le temps de développement varie de 6 mois à 2 ans. La recherche du domaine est plus approfondie. Beaucoup de correction et de raffinements sont faits sur le prototype. Le nombre de règles peut être aussi élevé que 1000.

c) Prototype de production

Le nombre de règles peut croître jusqu'à 2000 et le temps de développement varie de 2 à 4 ans. Parfois, le nombre de règles n'augmente pas tellement mais la structure de connaissance et les règles sont plus exactes et précises. Ce prototype peut être appliqué à des cas réels pour l'évaluation.

Voici quelques exemples de prototype de production :

Domaine chimique :	DENDRAL (1978-84)
Domaine médical :	PUFF (1980-83)
Domaine géologique :	PROSPECTOR (1981-84)
Domaine de gestion :	EDAAS (1984-85)

d) Prototype final ou commercial

Le temps de développement dépasse plus de 3 ans. Le nombre de règles est aussi élevé que 2000. Ce prototype doit donner des réponses correctes jusqu'à 95pour cent.

Voici quelques exemples de prototype commercial :

Domaine chimique :	SEQ(1981-84)
Domaine médical :	SPE (1980-81)
Domaine d'ordinateur :	XCON (1980-85)
Domaine électronique :	ACE (1983-84)
Domaine d'ingénierie :	DELTA (1983-84)
Domaine mathématique :	MACSYMA (1971)

Nous remarquons que le temps de développement varie en fonction de la grandeur du domaine d'application, de leur complexité, de l'applicabilité du système à des fins commerciales ou d'usage interne. Le système expert à être commercialisé exige des tests et des périodes d'évaluation plus longues auprès de différents experts et consommateurs.

Cependant, l'amélioration incessante des squelettes et matériels d'ordinateur, la facilité d'utilisation, les expériences accumulées de construction du système expert raccourcissent de plus en plus le temps et le coût de développement.

ANNEXE 5

ngage LISP

LISP a été décrit, la première fois, par John McCarthy en 1959. Il est répandu en mérique du Nord et est largement prévu comme le langage standard d'intelligence tificielle.

Les raisons de son succès sont :

- la capacité de manipulation symbolique des listes,
- la représentation uniforme des codes et des données,
- la facilité de définir des fonctions exécutables,
- la facilité de construire des fonctions complexes à partir des fonctions et des éléments plus simples,
- la flexibilité de structure de contrôle,
- le traitement facile des données numériques.

LISP a plusieurs dialectes tels que LISP, Maclisp, Zetalisp, Interlisp, Interlisp-D, anz-Lisp, Wisconsin-Lisp, A-Lisp, Le-Lisp, Common-Lisp. Common-Lisp est nsidéré comme langage standard pour les applications académiques et mmerciales.

Plusieurs squelettes de système expert sont écrits en LISP comme :

- Sur le mini-ordinateur :

  Knowledge Craft (écrit en Common-Lisp) de Carnegie Group

  Personal Consultant de Texas Intstrument Ltd

Exper OPS5 (écrit en LISP) de Expertelligence Inc.

Sur le micro-ordinateur :

GC-Lisp (Golden Common Lisp) de Gold Hill Computer Ltd

UO-Lisp de Northwest Computer Algorithmes Ltd

KES (Knowledge Engineering System) (écrit en Franz Lisp) de Software Architecture and Engineering Inc.

KEE (Knowledge Engineering Environment) (écrit en LISP) de Intellicorp Inc.

Dexpert de Systems Research Laboratories Inc.

ANNEXE 6

Langage PROLOG

PROLOG est né en 1972 à Marseille, développé par Alain Colmerauer et ses collègues. C'est un langage basé sur la logique des prédicats du premier ordre. Il est plutôt un langage déclaratif qu'un langage procédural dont le mécanisme de recherche est non déterministe, exhaustif, de haut en bas et de gauche à droite.

Son programme est constitué par un ensemble de clauses, représentant la base de faits et la base de règles, qui forment la base de connaissance. Son interpréteur ou son compilateur joue le rôle du moteur d'inférence.

PROLOG manipule aisément les concepts et les objets abstraits, complexes. Sa programmation est réduite à la définition des relations qui lient les différents composants du problème à résoudre. Par conséquent, la structuration des concepts, des objets est la partie la plus importante.

Par rapport à LISP, PROLOG procure des améliorations majeures comme :

- il est un langage déclaratif. On n'a pas besoin de tenir compte de l'ordre d'exécution.
- il est modulaire et flexible. Les clauses peuvent être ajoutées ou retirées sans problème.
- il est plus près du concept de la banque de données relationnelles.

- il est parfaitement adapté aux systèmes basés sur les règles et au traitement du langage naturel.

- le coût d'écrire des programmes en PROLOG est beaucoup moins que le langage conventionnel comme Pascal.

-Plusieurs squelettes de système expert fonctionnant sur le micro-ordinateur sont écrits en PROLOG comme :

- MPROLOG de Logicware Ltd.

- Micro-Prolog et APES (Augmented Prolog for Expert System) de Logic Programming Associates Ltd.

- Sage de System Designers Software Inc.

- M.1 (écrit en PROLOG-1) de Techknoledge Ltd.

Il existe aussi plusieurs dialectes de PROLOG tels que le Prolog II de Marseille, le og hongrois, le Turbo-Prolog.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00290858 8

NGUYE

19