

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME
A BASES DE CONNAISSANCES
APPLICATION A L'ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR**

THESE

soutenue publiquement le 13 septembre 1985
A L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

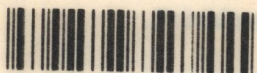
pour l'obtention du grade de
DOCTEUR INGENIEUR EN INFORMATIQUE

par

Ammar BOUDJOGHRA



devant la commission d'examen



D 136 037604 4

Maryse Quéré

Daniel Coulon

Alain Grumbach

Roger Mohr

Pierre-Claude Scholl

Institut National Polytechnique de Lorraine

Centre de Recherche en Informatique de Nancy

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME
A BASES DE CONNAISSANCES
APPLICATION A L'ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR**

THESE

soutenue publiquement le 13 septembre 1985
A L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

pour l'obtention du grade de
DOCTEUR INGENIEUR EN INFORMATIQUE

par

Ammar BOUDJOGHRA



devant la commission d'examen

Présidente Maryse Quéré

Examineurs Daniel Coulon
Alain Grumbach
Roger Mohr
Pierre-Claude Scholl

A mes parents,

Remercier avec des paroles ou des mots constitue toujours une démarche difficile, tant il est vrai que le langage utilisé n'exprime pas fidèlement notre modèle mental.

Néanmoins, il m'est agréable de reconnaître que ce travail n'aurait sans doute jamais abouti sans le concours volontaire ou involontaire de tous ceux qui y ont contribué.

Je tiens ici à remercier tout spécialement:

M. QUERE, professeur à l'université de Nancy 2, pour avoir dirigé mes recherches, pour son dévouement à mon égard, pour toute l'aide qu'elle n'a cessé de m'apporter et pour le grand honneur qu'elle me fait en acceptant de présider ce jury. Qu'elle trouve ici ma plus profonde reconnaissance.

D. COULON, professeur à l'Institut National Polytechnique de Lorraine, pour l'attention qu'il porte à mon travail, pour ses conseils et critiques qui m'ont permis de l'améliorer. Je lui sais gré de participer à ce jury.

A. GRUMBACH, chercheur en Intelligence Artificielle à la CGE (laboratoires de Marcoussis), pour ses remarques et critiques et sa participation à ce jury.

R. MOHR, professeur à l'Institut National Polytechnique de Lorraine, P.C. SCHOLL, professeur à l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble, qui ont accepté tous deux de prendre connaissance de mon travail et de siéger à mon jury. C'est un honneur qu'ils me font et je les en remercie.

G. GAMBINI, M. NOIRJEAN et A. SERE qui ont su bien jouer le rôle d'expert que j'attendais d'eux pendant les nombreuses heures de travail que nous avons passées ensemble. Je les remercie vivement pour leur collaboration.

L'Agence De l'Informatique pour son soutien financier.

Les chercheurs du groupe de travail S.E.R.C. du C.R.I.N. pour les nombreux échanges et discussions que nous avons eus et qui ont été pour beaucoup dans la progression de mon travail.

Enfin et surtout, ma famille et mes amis qui m'ont aidé, conseillé et soutenu tout au long de mes études. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma plus sincère gratitude.

SOMMAIRE

INTRODUCTION 1

I) CONTEXTE DE TRAVAIL

1.1) UN CARREFOUR DE SCIENCES : LA SCIENCE DE LA COGNITION	3
1.1.1) Intelligence artificielle	3
1.1.2) Psychologie cognitive	5
1.1.2.1) Types de mémoire et structuration des connaissances ..	5
1.1.2.2) Modes de pensée	6
1.1.3) Linguistique	7
1.1.4) Conclusion	9
1.2) UNE TECHNIQUE : LES SYSTEMES EXPERTS (SE)	9
1.2.1) Définition	9
1.2.2) Caractéristique fondamentale	10
1.2.3) Description d'un système à règles de production	10
1.2.3.1) Langage de description	10
1.2.3.2) Structuration des connaissances	11
1.2.3.3) Modes de raisonnement	11
1.2.3.4) Conclusion	12
1.3) UN CHAMP D'APPLICATION : L'ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR ..	12
1.3.1) Introduction	12
1.3.2) Définitions	13
1.3.2) Bref historique	13
1.3.4) Apports des SE à l'EAO, notion de Partenaire de Résolution	
de Problèmes	14
1.3.4.1) Apports de la programmation "déclarative" et du	
mécanisme d'inférence	14
1.3.4.2) Rôle simplificateur dans la séparation des trois	
fonctions : Expertise du domaine, compréhension et	
génération du langage naturel, guidage	14
1.4) CONCLUSION	15

II) LE PROJET MEDIAN

2.1) INTRODUCTION	16
2.2) DIANE	16
2.2.1) Objectifs	16
2.2.2) Organisation	16
2.2.3) La représentation interne	17
2.2.4) L'éditeur fonctionnel	18
2.2.5) Extensibilité	19
2.3) OBJECTIF DU PROJET	19
2.4) PRESENTATION RAPIDE DU PROGRAMME	21
2.4.1) Organisation	21

2.4.2) Les interfaces	22
2.4.3) Les experts	23
2.4.3.1) Module d'acquisition et de compréhension de problèmes	
2.4.3.2) Expert pédagogue	23
2.4.3.3) Expert en résolution de problèmes	24
2.5) AUTOMATE D'ENCHAINEMENT DES INTERACTIONS	24
2.6) EXEMPLES D'INTERACTIONS	26
2.6.1) Fonction apprenant : (SESSION)	26
2.6.2) Fonction enseignant : (PROBL)	31
III) <u>TRANSFERT ET REPRESENTATION DES CONNAISSANCES</u>	
3.1) INTRODUCTION	37
3.2) ETUDE DU PREMIER DOMAINE D'EXPERTISE : LE MODELE COMPTABLE	39
3.2.1) Transfert de connaissances	39
3.2.1.1) Présentation du domaine	39
3.2.1.2) Structuration du domaine	41
3.2.1.2.1) Structure guidée par les buts	42
3.2.1.2.2) Structure guidée par les concepts	43
3.2.1.2.3) Arbre conceptuel	44
3.2.2) Représentation des connaissances	47
3.2.2.1) Méthodes d'incorporation des règles	48
3.2.2.2) Forme des règles	49
3.2.2.3) La base de connaissances du domaine	50
3.3) ETUDE DU DEUXIEME DOMAINE D'EXPERTISE : LA COMPREHENSION DE PROBLEMES	52
3.3.1) Analyse des différents types d'énoncés	52
3.3.2) Représentation des connaissances	58
3.3.2.1) Document standard	58
3.3.2.2) Le dictionnaire des synonymies	59
3.3.2.3) La base de connaissances des problèmes	62
3.3.3) Extension: Passage à d'autres types d'énoncés	62
3.4) ETUDE DU TROISIEME DOMAINE D'EXPERTISE : LE PEDAGOGUE	63
3.4.1) Introduction	63
3.4.2) Définition des objectifs et structuration de la matière à enseigner	64
3.4.3) Choix d'une stratégie pédagogique	65
3.4.3.1) Ordre de présentation des situations pédagogiques	66
3.4.3.2) Traitement des erreurs	67
3.4.3.2.1) Choix du niveau d'expertise	67
3.4.3.2.2) Erreurs internes	68
3.4.3.2.3) Erreurs locales	68
3.4.3.2.4) Erreurs globales	68
3.4.4) Représentation des connaissances	68
3.4.4.1) Le profil ou le portrait	69
3.4.4.2) La stratégie pédagogique	69

3.5) CONCLUSION	71
IV) <u>LES EXPERTS</u>	
4.1) INTRODUCTION	72
4.2) L'EXPERT EN ACQUISITION ET COMPREHENSION DE PROBLEMES	72
4.2.1) Présentation	72
4.2.2) Le module d'acquisition de problèmes (MAP)	73
4.2.2.1) Acquisition	73
4.2.2.1) Restitution	75
4.2.3) Le module de compréhension de problèmes (MCP)	76
4.2.3.1) Détermination des faits nécessaires: Les types de flux externes	76
4.2.3.2) Détermination des faits liés à chaque type de flux externe	77
4.2.3.3) Résolution à l'aide d'un filtre	79
4.2.4) Données communes avec les autres experts	79
4.3) L'EXPERT EN RESOLUTION DE PROBLEMES	80
4.3.1) Introduction	80
4.3.2) Résolution de problèmes	80
4.3.2.1) Rappel	80
4.3.2.2) Chaînage arrière	80
4.3.2.3) Chaînage avant	85
4.3.2.4) Chaînage bidirectionnel	87
4.3.3) Détection des erreurs	89
4.3.3.1) Erreur dans le raisonnement	89
4.3.3.2) Solutions manquantes	90
4.3.4) Données communes avec les autres experts	90
4.4) L'EXPERT PEDAGOGUE	91
4.4.1) Apprentissage de concepts par résolution de problèmes	91
4.4.2) Activité élémentaire: Le module d'explication PC	91
4.4.2.1) Table des définitions (DICT-D)	92
4.4.2.2) PC en chaînage avant	93
4.4.2.3) PC en chaînage arrière	93
4.4.3) Enchaînement des activités	95
4.4.4) Données communes avec les autres experts	95
4.5) CONCLUSION	95
V) <u>REALISATION</u>	
5.1) INTRODUCTION	97
5.2) PRESENTATION DU LOGICIEL	97
5.2.1) Phase d'acquisition et de représentation des connaissances	97
5.2.2) Phase d'utilisation des connaissances	98

5.3) FONCTION APPRENANT: (session)	100
5.3.1) Appel	100
5.3.2) Module: MPC	102
5.4) FONCTION ENSEIGNANT: (probl)	103
5.5) FONCTION UTILISATEUR: (service)	104
5.5.1) Appel	104
5.5.2) Exemple 1: La climatologie	104
5.5.2.1) Base de connaissances "climat"	104
5.5.2.2) Dialogue: Application du chaînage avant	105
5.5.3) Exemple 2: Classification des animaux	108
5.5.3.1) Base de connaissances "base-zoo"	108
5.5.3.2) Dialogue: Application du chaînage arrière	109
5.6) LE MOTEUR D'INFERENCE	111
5.6.1) Structure de contrôle et résolution de conflit	111
5.6.1.1) Introduction	111
5.6.1.2) Cycles	111
5.6.2) Des algorithmes	111
5.6.2.1) Chaînage arrière	111
5.6.2.2) Chaînage avant	113
5.6.2.3) Chaînage bidirectionnel	114
5.6.3) Quelques cas à résoudre	115
5.7) CONCLUSION	117
5.8) UTILISATION DE TANGO	118
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	122

ANNEXE : UN MINI PEDAGOGUE

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

"Tous les hommes, par nature, désirent connaître". C'est en ces mots qu'Aristote commença son "métaphysique". Mais, devant la formidable explosion de connaissances que connaît notre époque (qualifiée par certains de l'ère de la connaissance), la manière d'acquérir les connaissances et a fortiori de les communiquer demeure encore un mystère.

Le dernier quart de siècle a vu la naissance d'un certain nombre de disciplines qui se sont regroupées sous le vocable de "science de la cognition". Leur but commun est la conceptualisation des processus de manipulation des connaissances. Après une période de tâtonnement, les recherches ont entre autres abouti à un nouveau type de systèmes: les systèmes à bases de connaissances.

Ces systèmes, appelés aussi systèmes experts, sont conçus pour gérer de grandes masses de connaissances dans un domaine très limité. En séparant clairement les représentations des connaissances des mécanismes de résolution qui les utilisent, ils offrent un formalisme efficace pour l'acquisition incrémentale des connaissances.

S'il est vrai que les hommes désirent toujours apprendre, encore faut-il leur donner les moyens nécessaires pour "apprendre à apprendre". L'enseignement assisté par ordinateur (EAO) a une vingtaine d'années. Si, jusqu'à une date récente, son utilisation était restée limitée, il n'en est plus de même aujourd'hui. L'avènement des systèmes à bases de connaissances lui ouvre de nouveaux horizons.

Le but de cette thèse est de montrer l'intérêt et la faisabilité d'un système à bases de connaissances appliqué à l'EAO. En effet, grâce à son aptitude au raisonnement symbolique et à ses propriétés de modularité et d'extensibilité, ce type de système s'avère d'utilisation intéressante.

Nous avons choisi une application relativement simple, l'apprentissage des concepts comptables, de façon à donner une taille raisonnable à:

- l'expert en acquisition et compréhension de problèmes,
- l'expert en résolution de problèmes,
- l'expert en pédagogie.

Dans le chapitre 1, nous essayons de présenter l'environnement du travail réalisé. Dans cette étude bibliographique, qui est loin d'être exhaustive, nous présentons successivement:

- une science: la science de la cognition,
- une technique: les systèmes experts,
- un domaine d'application: l'EAO.

Le chapitre 2 est consacré à la présentation du cadre général dans lequel s'inscrit notre travail: le projet MEDIAN. Après avoir défini les objectifs du projet, nous décrivons l'architecture de notre programme et nous terminons par des exemples d'interactions entre le programme et ses différents partenaires.

Dans le chapitre 3 nous présentons, pour chaque domaine d'expertise, les phases de transfert de connaissances des experts vers le cognitif et leurs représentations.

Le chapitre 4 traite de l'utilisation des connaissances. Nous présentons chacun des experts mis en oeuvre en mettant en relief les faits qu'ils se partagent.

Le chapitre 5 est consacré à la description de l'implantation (en Lelisp) de la maquette réalisée. Nous décrivons plus particulièrement l'enchaînement des différentes fonctions et le moteur d'inférences réalisé.

chapitre 1 CONTEXTE DE TRAVAIL

Pour mieux comprendre le travail réalisé, il est important de le situer dans un domaine particulier.

Malheureusement (ou heureusement), on assiste depuis quelques années à un foisonnement de disciplines qui ont toutes, à des degrés plus ou moins différents, une même finalité: la compréhension des processus d'acquisition et de manipulation des connaissances.

- Mais :
- Qu'est ce qu'une connaissance ?
 - Que faire de ces connaissances ?
 - Comment est exprimée la connaissance ?
 - Quelles sont les relations qui existent entre le monde réel, la représentation des connaissances dans le cerveau et le langage utilisé pour exprimer ces connaissances ?

La réponse à ces questions se trouve en partie dans ce qu'on appelle la science de la cognition.

La technique des systèmes experts consiste à considérer ces connaissances très diverses comme des données. Ces connaissances sont fournies à l'ordinateur par l'utilisateur: ingénieur, médecin, géologue, enseignant, ... dans un formalisme très proche de son langage habituel. Les connaissances sont entrées en vrac, par éléments granulaires et sont stockées dans une "base de connaissances". Cette dernière est alors interprétée par un "moteur d'inférences", logiciel quant à lui programmé classiquement, qui a pour tâche de mettre bout à bout, par association, ces molécules de connaissances qui s'enchaînent logiquement, et déduire ainsi toutes les informations possibles.

Avec les systèmes experts, nous sommes donc en présence de programmes ayant des connaissances approfondies sur un domaine restreint et capables de "raisonner". L'idée de les utiliser en Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) est donc naturelle. Par leur aspect modulaire, leur faculté d'explication et de justification, ils constituent pour ce dernier un outil très puissant.

1.1) UN CARREFOUR DE SCIENCES : LA SCIENCE DE LA COGNITION

Sous cette bannière se sont regroupées plusieurs disciplines, entre autres:

- La psychologie cognitive
- La linguistique
- L'intelligence artificielle, qu'on considérera comme une branche de l'informatique.

1.1.1) INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'objet de l'intelligence artificielle (IA) est de reconstituer à l'aide de moyens artificiels, presque toujours des ordinateurs, des raisonnements et des actions intelligentes.

Les programmes d'IA sont différents des programmes classiques dans le sens où ils sont capables de résoudre, dans le cadre pour lequel ils ont été conçus, toute nouvelle situation (problème) qui se présente à eux, et ceci grâce à l'utilisation de bases de connaissances facilement modifiables.

Deux techniques, que l'être humain utilise tous les jours, sont appliquées:

- LA RESOLUTION DE PROBLEMES

qui consiste à comparer la nouvelle situation à des situations qu'il a déjà rencontrées auparavant en générant un ensemble d'alternatives, et à choisir la plus appropriée.

- LA RECONNAISSANCE DE FORMES OU RESOLUTION PAR RECOGNITION

qui consiste à essayer de reconnaître une situation donnée comme telle,

et deux approches, complémentaires, sont utilisées pour concevoir ces programmes:

- APPROCHE "GENERALISTE"

L'hypothèse de travail est que l'homme met en action un ensemble de processus sur toute une variété de tâches, soit pour acquérir des informations, soit pour résoudre un problème donné.

Ceci a conduit, en 1957, à la conception d'un programme appelé: General Problem Solver (GPS)(NEWELL-69) qui permet d'identifier et de rendre explicite ces processus en les démontrant dans une variété d'environnements (problèmes de logique, puzzle ..) (MC CORDUCK-79).

La philosophie du GPS est claire: il n'est pas fait pour traiter une tâche spécifique.

Malgré le bien fondé de l'hypothèse, cette approche s'est révélée peu fructueuse, comme le montre l'exemple d'ELISA (WEIZENBAUM-66), ceci étant peut-être "dû à un excès de précipitation" (GRUMBACH-84).

- APPROCHE SPECIFIQUE

De la difficulté de spécifier une machine (programme) capable de traiter une variété de tâches, les chercheurs en IA, dès 1970, commencèrent à s'intéresser aux machines n'exécutant que des tâches restreintes et précises: ce fut la naissance de ce qu'on appela les systèmes experts (SE).

Parmi les produits de recherche dans ce domaine, on peut citer des programmes qui:

- diagnostiquent des maladies : MYCIN (VAN MELLE-81)
- interprètent des spectrogrammes de masse : DENDRAL (BUCHANAN-71)

- reconnaissent le langage parlé ou écrit : HWIM (WOODS-82), SHRDLU (WINOGRAD-72)

- "découvrent" des concepts en mathématique : AM (LENAT-81)

- prescrivent les opérations de secours (médecins sans frontières) : EXPERT (ADAM-83)

1.1.2) PSYCHOLOGIE COGNITIVE

C'est la branche de la science de la cognition concernée par la compréhension de la pensée humaine et par les processus de résolution de problèmes (SIMON-84).

L'un des reproches qu'on peut faire à la psychologie traditionnelle, et surtout au behaviorisme, est non seulement d'avoir privilégié le concept de conditionnement à ceux d'apprentissage et de mémoire (LE NY-75), mais aussi d'avoir négligé (et éliminé) de sa théorie les concepts de pensée, d'intelligence et de connaissance.

Pour les behavioristes, tout organisme apprend, c'est à dire modifie son comportement, en observant les conséquences de ses actes (MONTMOLLIN-75). Pour cela, ils développèrent des techniques expérimentales qui reposent sur le conditionnement et le renforcement pour construire et renforcer les chaînes de stimulus-réponse. Le behaviorisme a été à l'origine de l'enseignement programmé puis de l'ÉAO traditionnel.

Aujourd'hui, le behaviorisme est supplanté par la psychologie cognitive. S'il reste toujours vrai que l'objet de la psychologie reste toujours le même, à savoir l'observation du comportement, il n'en demeure pas moins que les méthodes ont changé et on parle de plus en plus de construction de schémas ou de modèles (ou de prototypes) conceptuels explicatifs du comportement.

1.1.2.1) TYPES DE MEMOIRE ET STRUCTURATION DES CONNAISSANCES

Une idée largement répandue est qu'il existe deux types de mémoire:

- MEMOIRE PRIMAIRE OU MEMOIRE A COURT TERME (MCT)

Elle contient des connaissances sur le passé immédiat, ce qui les rend accessibles à la conscience. Selon certains auteurs (MILLER, BRODBENT (SOWA-84)), la MCT ne contient pas des connaissances mais des pointeurs qui excitent ou activent des connaissances dans la mémoire à long terme.

- MEMOIRE SECONDAIRE OU MEMOIRE A LONG TERME (MLT)

Elle contient des connaissances sur les états antérieurs du cerveau après qu'elles (les connaissances) aient été retirées de la conscience.

Une des hypothèses actuellement admises est que ce système (modèle) est représenté par des ensembles de "productions" dans lesquels chaque production est un processus constitué d'une "condition" et d'une "action" que l'on peut écrire:

C ----> A

Dès lors que le système reconnaît que la condition C est satisfaite, il réalise l'action A correspondante.

1.1.2.2) MODES DE PENSEE

Deux modes de pensée distincts et complémentaires, nécessitant l'emploi d'heuristiques, sont utilisés lors de la résolution de problèmes.

Une heuristique est un "morceau de connaissance capable de suggérer des actions plausibles à entreprendre et celles à éviter" (LENAT-81).

- MODE "HOLISTIQUE" OU RESOLUTION PAR RECOGNITION

Ce mode repose sur l'idée que les solutions sont trouvées immédiatement et sans recherche consciente. Les étapes intermédiaires, durant le processus de recognition, ne sont pas ouvertes à la conscience. C'est le cas pour des personnes expérimentées dans un domaine (experts) ou pour des problèmes simples.

exemple: résoudre une équation de la forme: $2x + 11 = 11$

- Solution : $x = 0$

- MODE "ANALYTIQUE"

Dans ce mode, l'accent est mis sur les étapes intermédiaires de résolution, ce qui oblige des analyses et des recherches conscientes prolongées.

Deux types d'heuristiques sont utilisés:

- analyse moyens-fins

L'analyse moyens-fins est mise en oeuvre à chaque étape de résolution. Elle implique la détection de différences entre l'expression initiale (problème) et l'expression désirée, ce qui nécessite l'extraction de la mémoire d'un opérateur pour la réduction de différences puis l'application de cet opérateur.

exemple: résoudre $2x + 5 = x + 11$

- Opérateur : si un nombre apparaît à gauche du signe = alors soustraire ce nombre
- Application : $2x = x + 6$
- Opérateur : retrancher x aux deux membres
- Solution : $x = 6$

- méthode de recherche sélective par essai et erreur

Lorsque les conditions de plusieurs productions sont satisfaites, il existe des règles de priorités. L'application d'une production pouvant déboucher sur une erreur, des mécanismes de retour arrière sont alors mis en oeuvre.

1.1.3) LINGUISTIQUE

Un des objectifs de la linguistique est "de réaliser des systèmes informatiques servant d'interface de communication entre l'homme et la machine" (PIERREL-81).

Le langage peut être étudié à plusieurs niveaux. Chaque niveau représente un sous-système complet ayant ses propres éléments et ses règles de combinaison:

- Prosodie
- Phonologie
- Morphologie
- Syntaxe
- Sémantique
- Pragmatique

Cependant, l'étude de chaque sous-système indépendamment des autres ne permet pas de rendre compte de l'ensemble. Les tendances actuelles de recherche tentent de considérer la langue comme un moyen d'expression d'un modèle mental.

Considérons la figure suivante:



Dans cette figure, le jeune homme communique son modèle du monde réel à deux policiers au moyen du langage (il vient d'être volé par une personne).

Les deux policiers interprètent la phrase en terme de modèle conceptuel (un basané et un noir). La véracité ou non de la phrase dépend des critères d'interprétation du modèle au monde réel.

Selon Tulving (SOWA-84), il existe deux types de mémoire: la mémoire épisodique (qui joue le rôle de la mémoire à court terme) et la mémoire sémantique (qui joue le rôle de la mémoire à long terme).

La mémoire épisodique enregistre des faits, détaillés, relatifs à des objets et des événements. Exemple: Alain est à Paris.

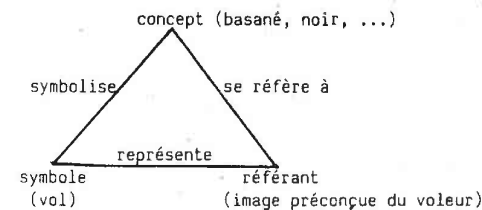
La mémoire sémantique enregistre des principes universels. Exemple: tous les chats sont des animaux.

Ces deux catégories de mémoires reflètent deux aspects de la signification d'un mot:

- L'intention qui est la signification partielle du mot, déduite des principes généraux de la mémoire sémantique. Exemple: la définition par intention du mot "mammifère" est: vertébrés, nourrissent leurs enfants avec du lait.

- L'extension est l'ensemble des objets que le mot peut impliquer. Exemple: la définition par extension du mot "mammifère" est la liste de tous les mammifères du monde.

Cette distinction, dans le cas de l'histoire du voleur, peut être représentée sous la forme d'un triangle:



où:

- Symbole : Mot
- Concept : Intention, idée, pensée
- Réfèrent : Extension, objet

1.1.4) CONCLUSION

L'objet d'étude de la science de la cognition est la connaissance. La connaissance est beaucoup plus qu'un codage statique des faits: elle inclut la capacité d'utiliser les faits en interaction avec le monde. On peut ajouter que la connaissance de quelque chose est la capacité de former un modèle mental qui représente fidèlement cette chose.

Ainsi, en testant les actions du modèle, une personne (ou un robot) peut prévoir ce qui peut se passer dans le monde réel.

De notre point de vue, trois questions se posent:

- Quels langages et outils utiliser pour décrire ces modèles et les relier au monde réel ?
- Ces modèles peuvent-ils supporter une interface afin que des non-spécialistes puissent les utiliser ?
- Est-ce qu'on peut développer un "génie de la connaissance" ?

1.2) UNE TECHNIQUE : LES SYSTEMES EXPERTS (SE)

1.2.1) DEFINITION

Un SE est un programme ou un ensemble de programmes "simulant la démarche des experts humains confrontés aux problèmes auxquels ils ont à faire face" (BONNET-81b).

Cette définition appelle deux remarques:

- (1) Un SE est avant tout un programme dont il faut assurer et contrôler la qualité.
- (2) Un SE est un programme qui simule la démarche d'un expert humain, mais jusqu'à quel degré de similitude de fonctionnement ?

Les caractéristiques mêmes d'un SE permettent de répondre au premier point. Quant au deuxième point, on l'abordera dans le chapitre 2.

1.2.2) CARACTERISTIQUE FONDAMENTALE

Un SE est un programme basé sur la connaissance, en ce sens que sa puissance et son efficacité dépendent largement des connaissances qu'il a sur le domaine (expertise du domaine).

Schématiquement (figure suivante), il est caractérisé par la séparation très nette entre la base chargée de supporter ces connaissances et la structure de contrôle (interprète ou moteur d'inférences) chargée de l'interpréter.

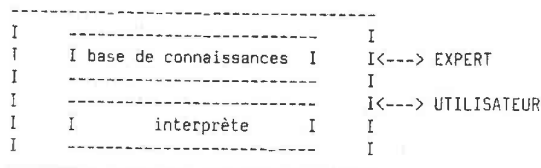


Schéma simplifié d'un S.E.

1.2.3) DESCRIPTION D'UN SYSTEME A REGLES DE PRODUCTION

1.2.3.1) LANGAGE DE DESCRIPTION

Une règle de production est une expression de la forme:

$k (SI \quad a1P1 \quad \lambda_1 \quad a2P2 \quad \lambda_2 \quad \dots \quad \lambda_i \quad a_iP_i)$
 $(ALORS \quad b1A1 \quad \beta_1 \quad b2A2 \quad \beta_2 \quad \dots \quad \beta_j \quad b_jA_j)$

- Les P_i sont appelées prémisses ou conditions de la règle.
- λ_i, β_j sont des opérateurs booléens.

- Les A_i sont les conclusions à tirer si les prémisses sont satisfaites.
- k, a_i, b_i sont des coefficients de vraisemblance (ou d'atténuation) qui mesurent le degré d'incertitude de l'expert qui a énoncé la règle.

Le langage sur lequel se fonde l'expression des connaissances est généralement:

- soit le calcul des prédicats du premier ordre (les règles contiennent des variables): SNARK (LAURIERE-84), OPS (FORGY-81), TANGO (CORDIER-81a).
- soit la logique des propositions: MYCIN.

1.2.3.2) STRUCTURATION DES CONNAISSANCES

Les connaissances sont stockées dans une base de faits et une base de connaissances. La base de faits est d'une certaine façon la représentation de la mémoire à court terme (ou mémoire de travail), tandis que la base de connaissances est celle de la mémoire à long terme.

- BASE DE FAITS

Initialement, elle contient de simples assertions relatives au problème à résoudre (base de faits initiale). Elle est mise à jour (ajout ou suppression (cas d'OPS)) chaque fois que l'interprète a déduit des faits.

- BASE DE CONNAISSANCES

Elle contient les opérateurs de transformations légales sous forme de règles de production.

1.2.3.3) MODES DE RAISONNEMENT

Les modes de raisonnement sous-jacents à ces systèmes sont:

- le modus-ponens : $p, p \Rightarrow q \vdash q$ (stratégie de raisonnement dite en chaînage avant)
- le modus-tollens : $\text{non } q, p \Rightarrow q \vdash \text{non } p$ (stratégie de raisonnement dite en chaînage arrière)

auxquels il faut ajouter une structure de contrôle.

La plupart des systèmes à règles de production utilisent la même structure de contrôle, à savoir le cycle à trois temps:

- Identification des règles candidates: l'opération de base est l'unification, encore appelée filtrage ou pattern-matching (MARTELLI-80). Si les règles contiennent des variables, ces dernières sont "instanciées".
- Choix d'une règle activable (ou résolution de conflit); on applique généralement l'une des stratégies suivantes:

1- Le choix par évaluation: ce type de contrôle suppose l'existence d'une fonction dont l'application aux règles candidates permet d'établir un ordre parmi celles-ci.

2- Le choix par méta-règles: une méta-règle est une connaissance qui dit quelle règle il faut choisir.

3- La recherche exhaustive: On applique alors les méthodes "en profondeur d'abord" ou "en largeur d'abord" de parcours d'un graphe (NILSON-79)(KOWALSKI-71).

- Activation de la règle et mise à jour de la mémoire de travail.

1.2.4) CONCLUSION

Dans cette brève introduction, nous n'avons présenté qu'un seul type de représentation de connaissances: les règles de production.

Cependant, d'autres types de représentation peuvent être appliqués, seuls ou en association avec les règles de production:

- Les PROTOTYPES (FRAMES) dérivés de Minsky (WINSTON-77)
- Les scripts ou scénarios (SCHANK-75)
- Les réseaux sémantiques (WOODS-70),(KAYSER-81)

Le choix que nous avons fait, à savoir la représentation par règles de production, s'est imposé de lui-même par la nature même des domaines d'expertise.

Dans tous les cas, par leur structure même (séparation entre les connaissances et les mécanismes de contrôle), les systèmes experts apportent une nouvelle façon de traiter certains problèmes complexes.

1.3) UN CHAMP D'APPLICATION : L'ENSEIGNEMENT ASSISTÉ PAR ORDINATEUR (EAO)

1.3.1) INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, on assiste à une croissance explosive de l'informatique. Tous les secteurs de la société découvrent puis utilisent ce formidable outil qu'est un ordinateur, outil qui permet de reculer jusqu'à des limites inimaginables il y a vingt ans le champ d'investigation de l'esprit humain.

Même le système éducatif, considéré jusqu'à maintenant comme un des plus conservateurs, n'a pas échappé à ce phénomène généralisé. Les expériences d'introduction de l'ordinateur se multiplient et le champ d'application de cet outil s'élargit de plus en plus vite (BONNET-81a).

Cependant, bien que les expériences se soient multipliées ici et là, elles restent justement toutes ou presque toutes au stade expérimental, car introduire un ordinateur dans l'enseignement n'est pas une tâche aisée. Malgré

l'acceptation, il est vrai tardive, de l'outil informatique, les enseignants se sentent frustrés après quelques utilisations des logiciels existants, car ces derniers ne leur donnent pas les moyens nécessaires pour communiquer leur savoir.

Après une brève étude historique de l'EAO, nous exposons les tendances actuelles de recherche qui, nous le pensons, sortiront l'EAO du "carcan" où il se trouve.

1.3.2) DEFINITIONS

A première vue, la définition de l'EAO ne pose pas de problème, les différents termes "enseignement", "assistance", "ordinateur" étant connus. Cependant, le champ d'application de l'EAO est si vaste que des problèmes de délimitations se posent, et que les différents termes prennent des sens plus ou moins larges.

- Par enseignement on entend la transmission de connaissances entre un émetteur et un récepteur grâce à une ligne de transmission, l'acquisition des connaissances étant mesurée en termes de modification du comportement observable (behaviorisme).

- Dans assistance, l'accent est mis sur le rôle instrumental et complémentaire de l'ordinateur. Cette assistance repose sur une division du travail:

- Conception des logiciels d'EAO par des informaticiens.
- Conception des didacticiels par des auteurs (experts, pédagogues).
- Utilisation (et contrôle) des didacticiels par des enseignants.
- Traitement de l'information par l'ordinateur.

- Par ordinateur, on entend tout calculateur "capable" de présenter des cours, juger les réponses des apprenants et stocker des informations (performances et profils des apprenants, différents environnements,...). Pour cela, un terminal, constitué d'un clavier alpha-numérique et d'un écran, est relié à ce calculateur (configuration minimale).

On appelle donc EAO au sens strict la conduite "d'un dialogue entre un apprenant et un ordinateur, dialogue conçu par un auteur dans le but de faire parvenir l'apprenant à un certain objectif mesurable en termes de connaissances et de savoir-faire" (QUERE-85).

1.3.3) BREF HISTORIQUE

Les premiers essais d'introduction de l'ordinateur au sein d'un système éducatif eurent lieu le plus souvent à l'initiative d'informaticiens. Inspirés des travaux de SKINNER et de CROWDER, ces derniers développèrent des outils (les langages d'auteurs), orientés vers la transmission d'un savoir fortement structuré et où, à l'origine, l'ordinateur ne fut considéré que comme une machine à tourner les pages.

Pour la structuration des connaissances, on peut se référer à (QUERE-80), (JEROME-81), (OTAN-68), ...

Parmi les langages d'auteurs, on peut citer COURSEWRITER (PEUCHOT-70) développé par IBM ainsi que TUTOR (système PLATO).

Cependant, l'aspect "programmatoire" des langages d'auteurs les rendit d'utilisation difficile pour les auteurs qui n'étaient pas des spécialistes.

Pour remédier à cette difficulté, on assiste, depuis quelques années, à un développement de systèmes basés sur le concept d'éditeurs (de texte, de son, de graphisme, ...).

Les systèmes DIANE (DIANE-82) développé par l'Agence de l'Informatique, et TICCIT (MERRIL-79) en sont des exemples.

Parallèlement à ces travaux, on assiste dans les laboratoires de recherche à des développements de programmes dits d' "Enseignement Intelligent Assisté par Ordinateur" (EIAO): ESCORT (BOTTINO-85) en théorie des groupes, MOSAIQUE (LUCCI-84) en français-langue étrangère, TANGO en mathématiques, ...

L'ajout du terme "intelligent" à l'EAO ne signifie pas que l'EAO traditionnel est dépourvu de programmes réalisant des tâches intelligentes, mais qu'il est incapable de résoudre les problèmes qu'il soumet aux apprenants.

1.3.4) APPORTS DES SE A L'EAO, NOTION DE PARTENAIRE DE RESOLUTION DE PROBLEMES (QUERE-85)

Les systèmes experts constituent seulement une partie de l'IA, mais c'est une de celles qui semblent actuellement les plus prometteuses. Les concepts sous-jacents sont en pleine émergence, les techniques en décaution et amélioration et les applications à la pédagogie de plus en plus nombreuses.

1.3.4.1) APPORTS DE LA PROGRAMMATION "DECLARATIVE" ET DU MECANISME D'INFERENCE

Comme on l'a vu au chapitre précédent, la programmation déclarative, qui consiste à introduire dans le système des règles et des faits plus éventuellement des métarègles, et à laisser "se débrouiller" le mécanisme d'inférence, permet d'introduire dans l'IA une dimension de génie logiciel: aspect incrémental, facilité de modification, passage d'une discipline à une autre. Rien ne s'oppose alors à ce qu'un enseignant non informaticien puisse, en introduisant les connaissances nécessaires, produire un didacticiel de type IA, comme il le faisait pour un dialogue ordinaire avec un système d'EAO interactif.

1.3.4.2) ROLE SIMPLIFICATEUR DANS LA SEPARATION DES TROIS FONCTIONS : EXPERTISE DU DOMAINE, COMPREHENSION ET GENERATION DU LANGAGE NATUREL, GUIDAGE

Puisqu'on dote l'ordinateur d'une capacité de raisonnement indépendante de la connaissance, il est logique de la lui faire appliquer aux trois fonctions qui gèrent à tour de rôle le dialogue:

- Si l'apprenant pose un problème à la machine, celle-ci doit d'abord le "comprendre" et pour cela va raisonner sur des connaissances liées au langage (plus précisément au langage spécialisé du domaine, plus un certain nombre de mécanismes généraux).

- Au moment de la résolution du problème, la machine va raisonner sur les connaissances du domaine.

- Au moment de passer d'un problème à un autre, la machine va raisonner avec les connaissances qu'elle possède sur la maîtrise que l'apprenant a du domaine.

C'est donc plusieurs experts qui sont mis en oeuvre. Ils se transmettent l'un à l'autre des informations qui constituent la base de faits du système. Chacun a son propre jeu de règles et de métarègles.

Nous appelons Partenaire de Résolution de Problèmes (PRP) l'ensemble des outils mis en oeuvre pour la réalisation de ces fonctions.

1.4) CONCLUSION

Par son caractère pluridisciplinaire (apprentissage, psychologie, pédagogie, didactique, ...), l'EAO constitue un champ d'application idéal pour la science de la cognition.

L'utilisation de la méthodologie "systèmes experts" en EAO se justifie de plusieurs points de vue. Un système d'aide à l'enseignement doit (EPI-84):

- être le plus intelligent possible. Il doit, en particulier, savoir résoudre les problèmes qu'il pose à l'apprenant et comprendre les erreurs de celui-ci;
- pouvoir être facilement utilisable par l'auteur, l'enseignant et l'apprenant (d'où l'intérêt des "molécules" de connaissances);
- être capable à tout moment d'expliquer à l'apprenant aussi bien le(s) bon(s) raisonnement(s) que les erreurs par rapport à celui (ceux)-ci;
- être capable de s'adapter le mieux possible aux "progrès" de l'apprenant.

Enfin, en guise de conclusion, on peut citer cette phrase de Roger Schank (LETTRE-85): "Les applications les plus prometteuses de l'intelligence artificielle sont peut-être dans le domaine de l'éducation, pour aider les gens à apprendre à lire, à se souvenir, à penser. Cela grâce à une meilleure connaissance des mécanismes fondamentaux mis en jeu dans ces activités".

chapitre 2
LE PROJET MEDIAN

2.1) INTRODUCTION

Le projet MEDIAN (MEDIAN-84) se situe dans une perspective d'amélioration des fonctionnalités existantes d'un système d'EAO moderne tel que DIANE, ainsi que dans l'adjonction de nouvelles fonctionnalités.

Après avoir décrit les qualités et les limites du système DIANE, nous proposons une approche basée sur la "réconciliation" entre l'I.A. et le génie didacticiel.

Nous donnerons la structure du programme MODIC, basé sur le concept de PRP et nous terminerons par des exemples d'interactions entre le système et les différents utilisateurs.

2.2) DIANE

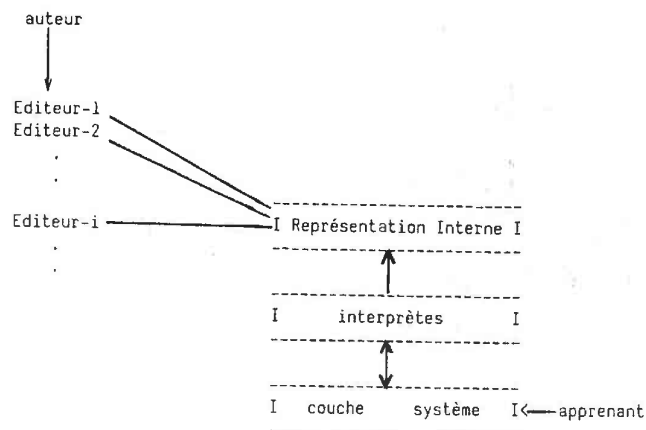
2.2.1) OBJECTIFS

Les objectifs du projet DIANE (ECRIN-82) étaient:

- Privilégier les modes d'expression offerts aux auteurs pour permettre à tout pédagogue, non informaticien, de créer des didacticiels de qualité.
- Assurer un bon degré de portabilité pour favoriser la diffusion des didacticiels sur un grand nombre de matériels.
- Permettre l'intégration de nouvelles fonctionnalités tout en préservant le bon fonctionnement des didacticiels précédemment écrits, en vue de garantir une évolution du système.
- Faciliter la diffusion par la constitution de banques de didacticiels accessibles par réseau télématique.
- Offrir un traitement centralisé du suivi des apprenants et des didacticiels pour pouvoir obtenir des statistiques d'évolutions.

2.2.2) ORGANISATION

Le système DIANE est organisé selon le schéma suivant:

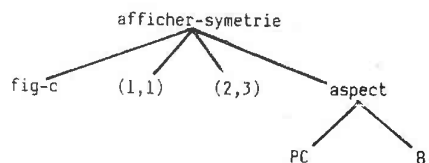


Il est constitué de quatre types d'éléments:

- une Représentation Interne (R.I.) destinée à coder les didacticiels conçus par les auteurs,
- un lot d'éditeurs qui sont des logiciels d'aide à la conception et à la réalisation de didacticiels,
- une couche système destinée à gérer la banque des didacticiels et les initialisations (dialogue de lancement),
- des interprètes de la R.I. pour l'exécution des didacticiels.

2.2.3) LA REPRESENTATION INTERNE

Une des originalités de DIANE est d'avoir défini d'une manière formelle la forme textuelle des didacticiels par une représentation interne structurée (arborescente) qui souligne mieux les articulations sémantiques des objets manipulés. Par exemple, la structure suivante:



commande l'affichage sur l'écran-apprenant de l'élément obtenu par symetrie par rapport à la droite de coordonnées ((1,1);(2,3)) d'une figure source (fig-c) avec un tracé en pointillés clignotants (PC) et de couleur bleue (B).

Cette structure peut être alors interprétée, par exemple, par les ordres suivants:

```

      |
      | symetrie;
      | aspect;
      |
  
```

Les bénéfices de cette approche sont multiples (LANG-84):

- la R.I. constitue un standard pour tous les outils appelés à utiliser le didacticiel (éditeurs, interprètes, gestionnaire de didacticiels). Ce standard est indépendant des divers modes de présentation offerts aux auteurs;
- les concepts sémantiques utilisés étant mis en évidence dans la R.I., il est aisé de manipuler cette représentation (en particulier avec les éditeurs), en faisant directement référence à ces concepts;
- il est possible d'associer, à ce standard de R.I. unique, des représentations concrètes textuelles ou graphiques variées que l'on peut adapter au style et au degré de compétence de l'utilisateur.

2.2.4) L'EDITEUR FONCTIONNEL

L'ensemble des fonctions de l'éditeur fonctionnel est conçu comme un tout et oriente la production de l'auteur en lui laissant le maximum de liberté pédagogique.

Un didacticiel se compose de dialogues, unités pédagogiques d'interaction entre l'apprenant et la machine. Il s'agit donc, pour l'auteur, de composer des dialogues et de les organiser en didacticiels.

Un dialogue est composé de situations pédagogiques liées entre elles de façon dynamique par des unités de décision. Les variables utilisés par le dialogue constituent l'environnement du dialogue.

La situation pédagogique correspond à l'unité pédagogique minimale. Elle est constituée:

- d'un format de présentation: zonage d'écran;
- d'une séquence de présentations d'information: les scènes. La présence de polices de caractères permet différentes présentations;
- d'une demande de participation de l'apprenant: la sollicitation;
- d'une analyse de cette interaction: rapprochement avec des modèles de réponses prédéfinis;
- d'un jugement de réponse qui utilisera les résultats de l'analyse précédente pour décider des actions à prendre à l'intérieur de la situation.

Les unités de décision gèrent les parcours des apprenants à travers le dialogue à partir des résultats du jugement de réponse et de l'environnement.

L'éditeur fonctionnel comprend autant de fonctions que de types d'objets pédagogiques. Chaque fonction permet de créer, modifier, cataloguer les objets de son type.

2.2.5) EXTENSIBILITE

A l'heure actuelle, DIANE est opérationnel sur un micro ordinateur 16 bits, incluant une implantation de la R.I., les éditeurs de base, un interpréteur et un gestionnaire de didacticiels.

L'extensibilité du système consiste à permettre l'intégration des nouveautés techniques, tout en préservant les réalisations existantes.

L'ajout des nouvelles fonctionnalités pédagogiques est obtenu en ajoutant à la R.I. de nouveaux opérateurs correspondant aux fonctionnalités sémantiques nouvelles. Cette extension implique l'extension des éditeurs (fonctions) et des interpréteurs.

2.3) OBJECTIF DU PROJET

Si DIANE en est à un stade satisfaisant en ce qui concerne la présentation de l'information, il est, par contre, dépourvu d'intelligence (§ 1.3.4).

L'objectif du projet MEDIAN est de montrer la faisabilité d'outils de génie didacticiel permettant à des auteurs non informaticiens d'écrire des situations pédagogiques (au sens de DIANE) de type "RESOLUTION DE PROBLEMES" et d'améliorer les performances des unités de décision.

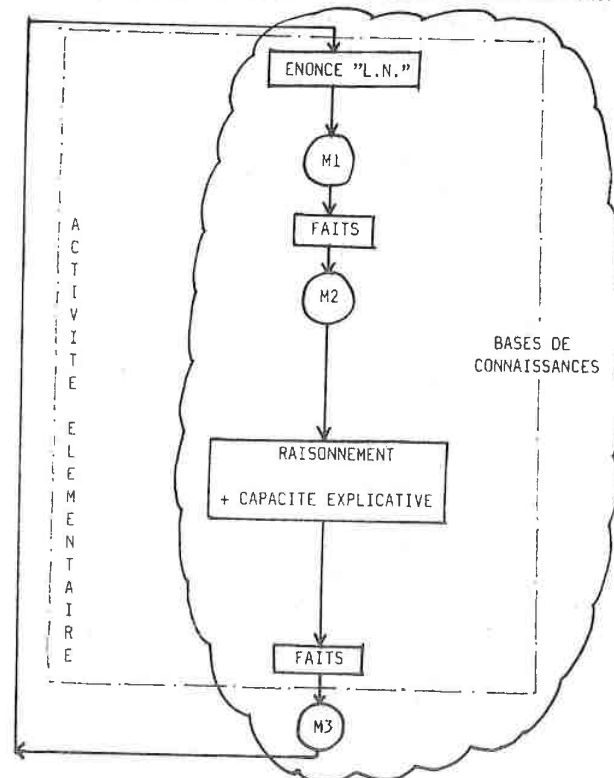
Plus précisément, nous nous intéressons à:

1. La compréhension d'un énoncé de problème formulé dans le langage de la discipline objet de l'apprentissage. Cette fonctionnalité a deux intérêts principaux: d'une part elle rend plus aisée la tâche d'introduction, pour l'auteur du didacticiel, des situations pédagogiques proposées. D'autre part, elle permet à l'apprenant de soumettre au didacticiel ses propres problèmes: on s'éloigne ainsi fondamentalement du mode tutoriel. Un corollaire de la compréhension est la génération d'énoncés, qui multiplie à l'infini le nombre de situations pédagogiques.
2. La résolution d'un problème par mise en évidence du raisonnement correspondant.
3. La détection des erreurs de l'apprenant et la génération des explications correspondantes.
4. Le guidage de l'apprenant dans le didacticiel en fonction de l'ensemble de son comportement.

Dans le but de bien spécifier les fonctionnalités élémentaires s'articulant entre elles indépendamment d'une discipline donnée, le projet concerne deux domaines d'étude:

- 1- La résolution de problèmes d'arithmétique (niveau CE1/CE2)
- 2- L'apprentissage des enregistrements comptables des flux caractéristiques de l'activité des entreprises (niveau fin d'études secondaires) qui est l'objet de cette thèse.

La réflexion sur l'intégration au système DIANE n'étant pas encore faite, le programme fonctionne de façon autonome selon le schéma suivant:



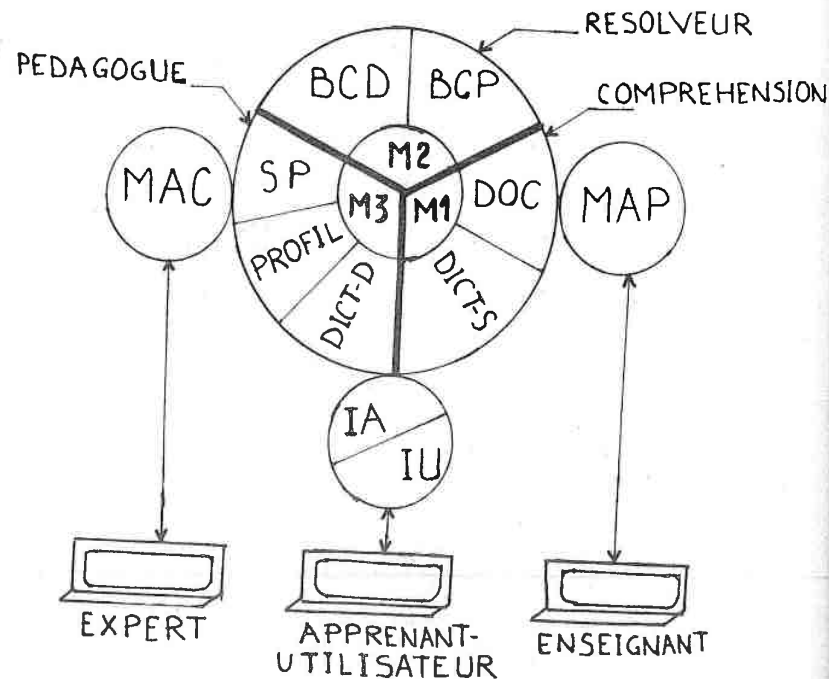
Le cycle de base est le "problème" à résoudre avec l'apprenant, qui est appelé activité élémentaire. Deux systèmes experts y coopèrent en séquence. Le premier, M1, est celui qui "comprend" l'énoncé du problème. Son usage est facultatif, en particulier si le problème est connu ou engendré par la machine. Le second, M2, est celui qui est capable de résoudre le problème et de comprendre les erreurs de l'apprenant.

On passe d'une activité élémentaire à une autre grâce à un expert "pédagogue" M3, qui est aussi capable de justifier le raisonnement établi par M2.

2.4) PRESENTATION RAPIDE DU PROGRAMME "MODIC"

2.4.1) ORGANISATION

Le logiciel comporte des interfaces, des bases de connaissances et un noyau d'interprètes selon le schéma suivant:



Les interfaces

IA : Interface Apprenant
 IU : Interface Utilisateur (mode résolution "libre" de problèmes)
 MAP : Module d'Acquisition de Problèmes
 MAC : Module d'Acquisition de Connaissances

Les bases

SP : Base de connaissances de la Stratégie Pédagogique
 PROFIL : Base de connaissances du profil de l'apprenant
 DICT-D : Dictionnaire des Définitions

BCD : Base de Connaissances du Domaine
 BCP : Base de Connaissances des Problèmes

DOC : Document standard qui véhicule un énoncé de problème
 DICT-S : Dictionnaire de Synonymies des mots d'un énoncé

Les bases SP, PROFIL, BCD et BCP sont propres à la discipline et varieront d'un domaine à l'autre.

2.4.2) LES INTERFACES

a) interface apprenant (IA)

C'est le module chargé:

- de fournir des aides à l'apprenant sur le fonctionnement global du système,
- d'établir un mini-dialogue entre l'apprenant et les experts.

b) interface utilisateur (IU)

Ce module permet l'utilisation en "libre service" du système. En particulier, il permet à un utilisateur quelconque d'appeler le moteur d'inférences M2 pour la résolution d'un problème préalablement stocké dans une base de connaissances et une base de faits (utilisation du moteur "nu").

c) module d'acquisition de problèmes (MAP)

Cette interface est un module particulier de l'expert en compréhension de problèmes, nous le traiterons dans le chapitre consacré à ce dernier.

d) module d'acquisition de connaissances (MAC)

Ce module a été réalisé par un membre de notre équipe (CARTON-85). L'objectif visé est de permettre à un non informaticien (l'auteur) de créer et de modifier les règles (cf chapitre 3) de la base de connaissances (BCD).

Il réalise quatre fonctions principales:

- acquisition de règles pour le moteur d'inférences M2, et gestion de la base par des commandes en "pseudo" langage naturel,
- détection de cycles dans les règles: les cycles "simples" sont détectés à la saisie (par exemple A1 et A2 et A3 --> A4 ou A2); les cycles "complexes" sont détectés à la fin de l'insertion de chaque règle, ainsi, si on a dans la base

A1 et A2 --> A3 ou A4
A4 et A5 --> A6 ou A7

l'introduction de A7 --> A1 provoque un cycle qui sera signalé,

- récupération de fautes de frappe par un automate basé sur une transcription phonétique simplifiée (COULON-72) et couplée à un lexique multi-entrées tolérant. Dans les cas de conflit, le module propose des solutions à l'utilisateur et lui demande de confirmer,

- compilation des R.P. sous-forme interne (compatibilité Le Lisp).

2.4.3) LES EXPERTS

2.4.3.1) MODULE D'ACQUISITION ET DE COMPREHENSION DE PROBLEMES (MACP)

Les fonctions de base de ce module sont:

- guider l'enseignant (éventuellement l'apprenant) dans sa phase de conception du problème,
- comprendre l'énoncé du problème en extrayant les faits pertinents liés à ce dernier et en établissant un filtre (obtenu à l'aide du dictionnaire des synonymies),
- transmettre ce filtre à l'expert en résolution,
- mettre à jour la base de connaissances des problèmes.

2.4.3.2) EXPERT PEDAGOGUE (STRATEG)

Ses fonctions sont:

- appliquer le M.I. (M3) en chaînage avant pour choisir les problèmes (à l'aide de la SP qui est sa base de connaissances) en tenant compte du profil de l'apprenant (base de faits),
- transmettre le problème à l'expert en résolution,
- commenter les résultats de l'apprenant (en se servant du filtre),
- justifier les résultats obtenus par l'expert en résolution en mettant à la disposition de l'apprenant un module particulier: MPC, qui permet à l'apprenant de poser les questions : POURQUOI - COMMENT.

2.4.3.3) EXPERT EN RESOLUTION DE PROBLEMES (MERP)

La fonction principale de ce module est la résolution du problème soumis par l'expert pédagogue ou par l'apprenant.

Trois modes de résolution sont mis en oeuvre par M2:

- chaînage arrière: détecter les erreurs possibles de l'apprenant, le but à résoudre étant une des réponses de l'apprenant,
- chaînage avant: en partant des faits connus liés au problème, résoudre ce dernier. Malheureusement, une phase d'apprentissage (acquisition "automatique" des faits) reste nécessaire, le MACP n'arrivant pas encore à déduire TOUS les faits. Cependant, la phase d'apprentissage est facile: il suffit d'appliquer le chaînage arrière à plusieurs problèmes et de mémoriser les faits ainsi obtenus,
- chaînage bidirectionnel: appliquer d'abord le chaînage avant puis le chaînage arrière. Ce mode a été ajouté dans le cas où les listes de faits transmis par le MACP sont incomplètes.

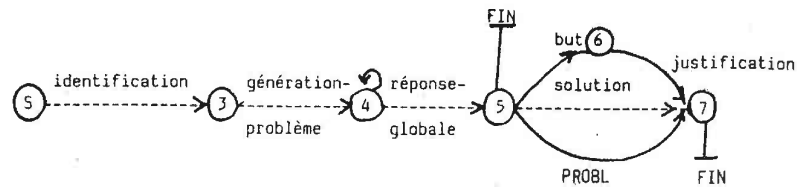
2.5) AUTOMATE D'ENCHAINEMENT DES INTERACTIONS

A chaque type d'utilisateur on associe un mode d'interactions selon le réseau suivant dans lequel les noeuds et les arcs représentent respectivement les états et les transitions (fonctions Le Lisp):

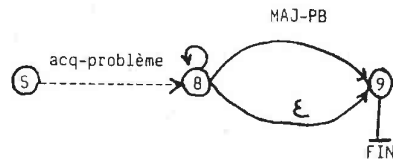
Automate principal



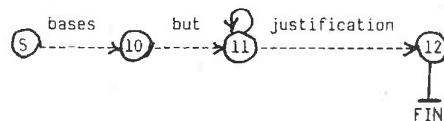
Sous-automate SESSION (mode apprenant)



sous-automate PROBL (mode enseignant)



sous-automate SERVICE (mode utilisateur)



avec :

- 5 : Etat initial
- 1 : "Bonjour" (initialisation)
- 2 : "Au revoir" - FIN
- 3 : identification de l'apprenant
- 4 : détermination et affichage du problème à poser
- 5 : Acquisition de la réponse globale (plusieurs buts)
"Fin opération en cours" (solutions exactes déterminées)
- 6 : acquisition du but à justifier (donné ou inféré)
- 7 : phase de justification (appel POURQUOI-COMMENT) pour UNE solution (but)
donnée
affichage solutions exactes : identique à 6

- passage en mode enseignant
identique à 4
- 8 : identification enseignant
acquisition du problème
- 9 : mise à jour de la base des problèmes
identique à 4
- 10 : chargement base de connaissances et base de faits
- 10 : acquisition du but à résoudre
- 11 : identique à 6
- 12 : phase de justification
: transition "vide"

2.6) EXEMPLES D'INTERACTIONS

2.6.1) FONCTION APPRENANT : (SESSION)

Script started on Sat May 11 11:29:36 1985
% lelisp

**** Nouvelle version 15 (installée le 15.02.85)
**** zone flottants = 6145

***** Le_Lisp (by INRIA) version 15 (31/Decembre/84) °vaxunix\$
= Systeme standard compile avec editeur avec environnement avec compilateur
= t
? (load modic.ll)
= modic.ll

? (session)

Le resolveur de problemes a votre service !

Connaissez-vous le mode de fonctionnement du PRP ? (o/n)
? n

```

-----
C'est simple !!!
1. Le probleme est pose sous-forme de document
2. On simule une entreprise particuliere : duval
3. Les problemes consistent a bien imputer les comptes
4. Notation : 0 ou 1
5. Repondez selon le questionnaire
BONNE CHANCE .....
-----
--> Tapez n'importe quel caractere pour continuer
? a

-->Donnez votre nom SVP
? Dupont
bonjour, Dupont
-----> phase de precompilation des regles .....

-----,
--> exercice : (op3) ;--> APPLICATION DE M3
-----,

```

DUVAL a reçu un document libelle comme suit :

```

-----
I          numero-document:15
I doit:duval
I mode-reglement:chèque
I-----
I achat-marchandises          I 900
I-----
I net-commercial              I 900
I-----

```

--> PASSEZ LES ECRITURES COMPTABLES CORRESPONDANTES .

DONNEZ LES SOLUTIONS SOUS-FORME (debit/credit nocompte) SVP.

AVEZ-VOUS UNE IMPUTATION (o/n) ? o
DONNEZ ,ALORS, une IMPUTATION :

? (debit compte-607)
AVEZ-VOUS UNE IMPUTATION (o/n) ? o
DONNEZ ,ALORS, une IMPUTATION :

? (credit compte-53)
AVEZ-VOUS UNE IMPUTATION (o/n) ? n

VOUS AVEZ TROUVE une SOLUTION(S) -No comptes- sur : 2

---> VOULEZ_VOUS SAVOIR POURQUOI (o/n) ? o

DONNEZ LE BUT1 :(debit) ou (credit) SVP ---->
? (credit)

DONNEZ LE BUT2 :(compte-numero) SVP ---->
? (compte-51)

---> n'essayez pas de tricher ! Donnez une de vos reponses

DONNEZ LE BUT1 :(debit) ou (credit) SVP ---->
? (debit)

DONNEZ LE BUT2 :(compte-numero) SVP ---->
? (compte-607)

---> goal : (debit) ;--> APPLICATION DE M2

-OK . SOLUTION JUSTE

---> goal : (compte-607)

-OK . SOLUTION JUSTE

=====

FIN DE L'OPERATION EN COURS

--> Justification de la reponse, tapez : 1
Donner un autre but , tapez : 2
Pour continuer la session, tapez : 3
Avoir la solution, tapez : 4
Pour s'arreter , tapez : 5

=====

a toi --->

? 1

```

=====
      OK. Appelez alors la fonction :
      -----> (pourquoi No) <-----
=====

? (pourquoi)                               ;--> APPLICATION DE M3
--> PARCEQUE LA REGLE r27 STIPULE QUE :
SI
  1 : (bien-destine-revente)

ALORS : ((compte-607))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA REGLE r25 STIPULE QUE :
SI
  1 : (bien-est-stockable)
  2 : (flux-entrant)

ALORS : ((bien-destine-revente) (bien-destine-consommation))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA REGLE r12 STIPULE QUE :
SI
  1 : (bien-non-durable)

ALORS : ((bien-est-stockable) (bien-non-stockable))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA REGLE r02 STIPULE QUE :
SI
  1 : (document-entrant)
  2 : (flux-reel)

ALORS : ((flux-entrant))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA REGLE r09 STIPULE QUE :
SI
  1 : (flux-bien)

ALORS : ((bien-durable) (bien-non-durable))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA PREMISSE APPARTIENT A LA BASE DES FAITS
    et MES CONNAISSANCES S'ARRETENT LA .....

```

```

=====
      FIN DE L'OPERATION EN COURS
=====

--> Justification de la reponse, tapez      : 1
      Donner un autre but , tapez          : 2
      Pour continuer la session, tapez     : 3
      Avoir la solution, tapez             : 4
      Pour s'arreter , tapez               : 5
=====
a toi --->

? 4

LA SOLUTION DU PROBLEME EST :
((debit compte-607) (credit compte-51))

--->VOULEZ-VOUS SAVOIR POURQUOI (o/n) ? n

=====
      FIN DE L'OPERATION EN COURS
=====

--> Justification de la reponse, tapez      : 1
      Donner un autre but , tapez          : 2
      Pour continuer la session, tapez     : 3
      Avoir la solution, tapez             : 4
      Pour s'arreter , tapez               : 5
=====
a toi --->

? 5

=====
I          AU          REVOIR      et      I
I          a bientôt sur MEDIAN ....I
=====

Que Le_Lisp soit avec vous.
% ^D
script done on Sat May 11 11:34:17 1985

```

2.6.2) FONCTION ENSEIGNANT : (PROBL)

Script started on Fri May 31 14:28:49 1985
% lelisp

**** Nouvelle version 15 (installée le 15.02.85)
**** zone flottants = 6145

***** Le_Lisp (by INRIA) version 15 (31/Decembre/84) °vaxunix\$
= Systeme standard compile avec editeur avec environnement avec compilateur
? (load modic.ll)
= modic.ll
? (probl)

le systeme d'acquisition de probleme a votre service !

SAVEZ-VOUS COMMENT CREER UN PROBLEME ? (o/n)
? n

c'est simple ! REPONDEZ aux questions qui vous seront posees
Cependant, quelques remarques :
1. Le nom d'un probleme est sous-forme : op1, op2, ...
2. On simule une entreprise particuliere : DUVAL
3. Le resultat du questionnaire est un document

--> pour continuer, tapez n'importe quel caractere
? a ;--> APPLICATION DE M1

DONNEZ S.V.P UN IDENT. DU PROBLEME :op1, op2,...? op11

AVEZ-VOUS UN(e) entete? o
numero-document? g23

doit? duval

mode-reglement? espece

nature? fourniture

libelle? achat-fournitures

montant? 9000

AVEZ-VOUS UN(e) reduction? o

nature? remise

libelle? remise

montant? 1000

AVEZ-VOUS UN(e) escompte? o

nature? interets

libelle? interets

montant? 1000

AVEZ-VOUS UN(e) majoration? n
AVEZ-VOUS UN(e) total-a-payer? n

DUVAL a reçu un document libelle comme suit :

I	numero-document:f23
I	doit:duval
I	mode-reglement:espece

I	achat-fournitures I 9000
I	remise I 1000
I	interets I 1000

I	-----

--> PASSEZ LES ECRITURES COMPTABLES CORRESPONDANTES .

VOULEZ-VOUS FAIRE UN ESSAI DE RESOLUTION ? o

DONNEZ LES SOLUTIONS SOUS-FORME (debit/credit nocompte) SVP.

AVEZ-VOUS UNE IMPUTATION (o/n) ? n

TOUTES VOS REPONSES SONT FAUSSES

--->VOULEZ-VOUS SAVOIR POURQUOI (o/n) ? n

=====

FIN DE L'OPERATION EN COURS

--> Justification de la reponse, tapez : 1
 Donner un autre but , tapez : 2
 Pour continuer la session, tapez : 3
 Avoir la solution, tapez : 4
 Pour s'arreter , tapez : 5

=====

a toi --->
 ? 2

---> TOUTES VOS REPONSES ONT ETE JUSTIFIEES.
 -----> fin de l'exercice !!

=====

FIN DE L'OPERATION EN COURS

--> Justification de la reponse, tapez : 1
 Donner un autre but , tapez : 2
 Pour continuer la session, tapez : 3
 Avoir la solution, tapez : 4
 Pour s'arreter , tapez : 5

=====

a toi --->
 ? 3

le systeme d'acquisition de probleme a votre service !

SAVEZ-VOUS COMMENT CREER UN PROBLEME ? (o/n)
 ? o

DONNEZ S.V.P UN IDENT. DU PROBLEME :op1, op2,...? op12

AVEZ-VOUS UN(e) entete? o

numero-document? f156

doit? soc-exit

mode-reglement? credit

nature? produit-fini

libelle? vente-de-produits-finis

montant? 5500

AVEZ-VOUS UN(e) reduction? o

nature? ristour

libelle? ristourne

montant? 500

AVEZ-VOUS UN(e) escompte? n

AVEZ-VOUS UN(e) majoration? o

nature? port

libelle? port-a-charge

montant? 500

AVEZ-VOUS UN(e) total-a-payer? o

libelle? net-financier

montant? xxxxx

DUVAL envoie a : soc-exit un document libelle comme suit :

```

-----
I          numero-document:f156
I doit:soc-exit
I mode-reglement:banque
I
I vente-de-produits-finis      I 5500
I ristourne                    I 500
I port-a-charge                I 500
I
I net-financier                I xxxxx
I
-----

```

--> PASSEZ LES ECRITURES COMPTABLES CORRESPONDANTES .

VOULEZ-VOUS FAIRE UN ESSAI DE RESOLUTION ? o

DONNEZ LES SOLUTIONS SOUS-FORME (debit/credit nocompte) SVP.

AVEZ-VOUS UNE IMPUTATION (o/n) ? o

DONNEZ ,ALORS, une IMPUTATION :

? (credit compte-709)

AVEZ-VOUS UNE IMPUTATION (o/n) ? n

TOUTES VOS REPONSES SONT FAUSSES

-->VOULEZ-VOUS SAVOIR POURQUOI (o/n) ? n

=====

```

--> Justification de la reponse, tapez : 1
      Donner un autre but , tapez : 2
      Pour continuer la session, tapez : 3
      Avoir la solution, tapez : 4
      Pour s'arreter , tapez : 5
=====

```

a toi -->
? 4

LA SOLUTION DU PROBLEME EST :
((credit compte-701) (credit compte-708) (debit compte-51))

-->VOULEZ-VOUS SAVOIR POURQUOI (o/n) ? n

=====

```

--> Justification de la reponse, tapez : 1
      Donner un autre but , tapez : 2
      Pour continuer la session, tapez : 3
      Avoir la solution, tapez : 4
      Pour s'arreter , tapez : 5
=====

```

a toi -->
? 5

```

=====
I          AU      REVOIR      et      I
I          a bientôt sur MEDIAN .....I
=====

```

Que Le_Lisp soit avec vous.

% ^D

script done on Fri May 31 14:40:18 1985

chapitre 3
TRANSFERTS ET REPRESENTATIONS
DES CONNAISSANCES

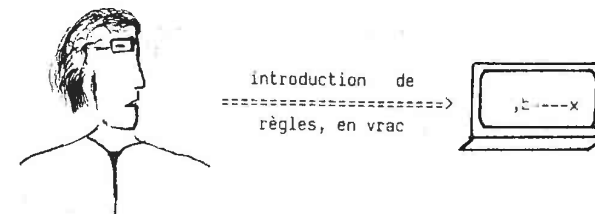
3.1) INTRODUCTION

Le coût de développement d'une base de connaissances représente une fraction importante du coût d'implantation d'un système expert. Négliger ce point, c'est vouer l'application à l'échec.

Le transfert de connaissances d'un expert vers une machine ne se fait pas sans difficulté.

Avant d'arriver au schéma connu suivant, plusieurs étapes doivent être franchies:

(EXPERT)

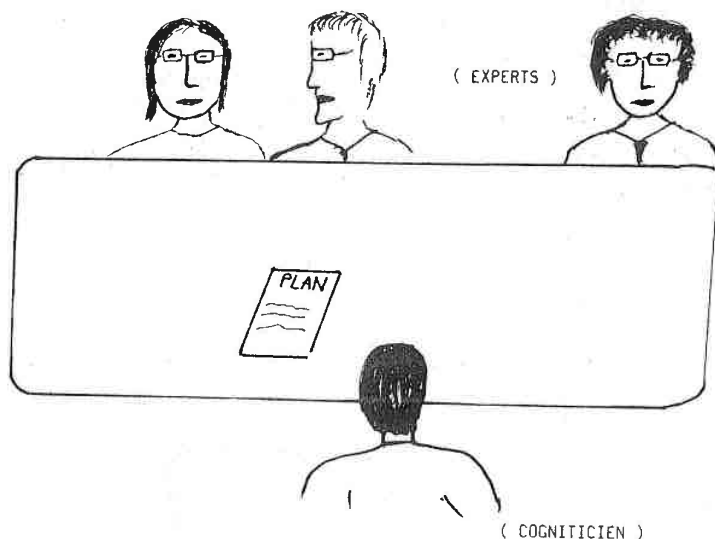


- L'expert est-il prêt à fournir les connaissances qu'il a acquises durant toute son expérience ? Et même s'il le veut, ne prétextera-t-il pas, à un moment donné, un niveau "boite noire" ?

- Quelles connaissances faut-il transmettre et sous quelles formes ?

- Les connaissances acquises par un expert sont-elles fiables ? Autrement dit, ne faut-il pas le confronter à d'autres experts pour les réorganiser et les enrichir ?

Ainsi, au schéma précédent, faut-il substituer le schéma suivant:



Le succès d'un S.E. dépend dans une large mesure de la manière de procéder du concepteur (cogniticien). Ce dernier doit:

- (1) Pour éviter le phénomène du "knowledge tsar" (le "tsar de la connaissance"), convaincre plusieurs experts de collaborer.
- (2) En collaboration avec les experts, limiter le domaine d'expertise.
- (3) Enfin, aider les experts à structurer leurs connaissances.

Pour notre part, nous avons eu la chance d'avoir 3 experts qui étaient motivés par ce travail, du fait qu'ils ont abordé le même sujet mais sous un angle différent.

Les domaines d'expertise étant différents les uns des autres (§ 2.3), on va traiter d'une manière séparée chacun de ces domaines en précisant pour chacun d'eux:

- la manière dont on a procédé pour acquérir les connaissances
- les représentations choisies pour ces connaissances.

3.2) ETUDE DU PREMIER DOMAINE D'EXPERTISE : LE MODELE COMPTABLE

3.2.1) TRANSFERT DES CONNAISSANCES

3.2.1.1) PRESENTATION DU DOMAINE

Une étude de l'activité d'une entreprise montre que pour réaliser ses objectifs économiques, l'entreprise devrait réaliser 2 types d'opérations:

- Opérations d'investissement-financement
- Opérations d'exploitation

En vue de leur analyse comptable, ces opérations peuvent être étudiées de façon détaillée par une décomposition en flux élémentaires (PEROCHON-82):

- Flux externes : réels, quasi-réels ou financiers, reliant l'entreprise à ses partenaires économiques;
- Flux internes : constatés au sein de l'entreprise (nous ne nous intéressons pas, pour le moment, à ces flux).

Chaque flux est défini par:

- Son pôle de départ (ou "ressource")
- Son pôle d'arrivée (ou "emploi")
- Son montant

Dans ce qui suit, la comptabilité est considérée comme un "ensemble d'éléments ou pôles (comptes) liés par des relations qui rendent compte du cycle d'activité de l'entreprise" (BOUSSARD-82). Elle est donc conçue de façon à enregistrer les divers flux caractéristiques de l'activité de l'entreprise; à partir de ces enregistrements systématiques, elle pourra établir, périodiquement, des documents de synthèse décrivant l'activité de la période et la situation qui en découle.

Malgré leur apparence parfois concrète (tels que les flux "réels" de bien), les flux à enregistrer sont des concepts, c'est à dire des outils intellectuels construits par l'homme pour mieux saisir et décrire une réalité complexe.

Nous appelons "modèle comptable", l'ensemble des pôles d'analyse. Ces pôles (ou comptes) sont définis comme suit:

POLES D'ANALYSE
=====

I	1)	FLUX REEL	I
I No.COMPTEI		INTITULE	I
I 20	I	immobilisations incorporelles	I
I 21	I	immobilisations corporelles - valeurs mobilières	I
I 26	I	immobilisations financières - participations et créances	I
I 27	I	autres immobilisations financières	I
I 50	I	valeurs mobilières de placement	I
I 601	I	achats stockés	I
I 602	I	achats stockés autres approvisionnement	I
I 604	I	achats incorporés directement à la production	I
I 605	I	achats incorporés directement à la production	I
I 606	I	achats non stockés de matières et fournitures	I
I 607	I	achats de marchandises	I
I 609	I	rabais, remises et ristournes obtenus	I
I 61	I	services extérieurs	I
I 62	I	autres services extérieurs	I
I 675	I	valeurs comptables des éléments d'actif cédés	I
I 701	I	ventes de produits finis	I
I 704	I	travaux	I
I 705	I	études	I
I 706	I	prestations de services	I
I 707	I	ventes de marchandises	I
I 708	I	produits des activités annexes	I
I 709	I	rabais, remises et ristournes accordés	I
I 775	I	produits des cessions d'éléments d'actif	I

I	2)	FLUX QUASI-REEL	I
I No.COMPTEI		INTITULE	I
I 63	I	impôts, taxes et versements assimilés	I
I 64	I	charges du personnel	I
I 65	I	autres charges de gestion courante	I
I 66	I	charges financières	I
I 75	I	autres produits de gestion courante	I
I 76	I	produits financiers	I

I	3)	FLUX FINANCIER	I
I No.COMPTEI		INTITULE	I
I 401	I	fournisseurs (exploitation)	I
I 403	I	fournisseurs - effets à payer	I
I 404	I	fournisseurs d'immobilisations	I
I 405	I	fournisseurs d'immobilisations - effets à payer	I
I 411	I	clients	I
I 413	I	clients - effets à recevoir	I
I 46	I	clients	I
I 51	I	banques, établissements financiers	I
I 53	I	caisse	I

3.2.1.2) STRUCTURATION DU DOMAINE

La hiérarchisation des concepts s'est révélée un moyen idéal à la disposition des experts pour structurer et transférer leurs connaissances. L'ensemble des objets manipulés, dans le domaine, peut alors être représenté sous forme d'arborescences.

Cependant, les objets manipulés étant de deux types, à savoir des concepts et des actions (exemple: Débitier le compte 607), deux types d'arborescences peuvent être mis en oeuvre:

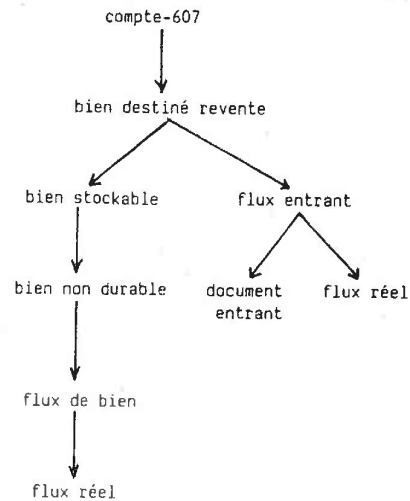
- (1) - Structure guidée par les concepts
- (2) - Structure guidée par les buts (actions)

Quelle structure faut-il choisir? Pour répondre à cette question, nous préférons donner un exemple.

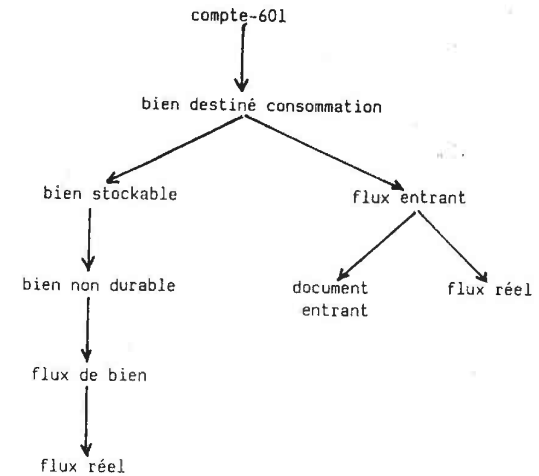
3.2.1.2.1) STRUCTURE GUIDEE PAR LES BUTS

On dénombre 26 classes d'actions. On est donc obligé de définir 26 arborescences. En voici deux exemples:

(a)



(b)



AVANTAGE :

L'avantage de cette structuration est que les actions à entreprendre sont indépendantes les unes des autres. De ce fait, on peut ajouter ou supprimer une structure (qui se traduira, comme on le verra, par une ou plusieurs règles) sans qu'il y ait une influence directe sur le système.

INCONVENIENTS :

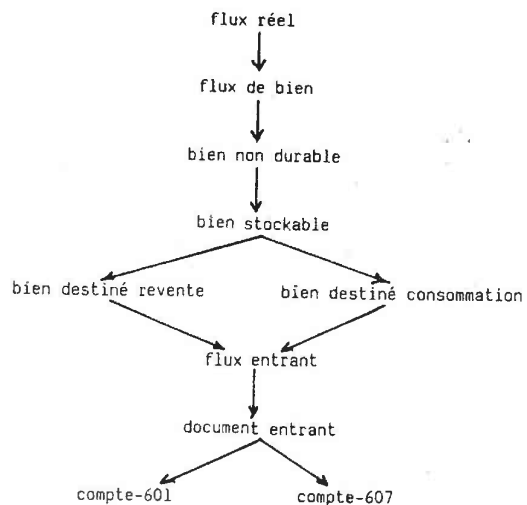
- Cette méthode s'est révélée lourde pour les experts: à un moment donné, ils sont arrivés à des contradictions.

- L'inconvénient majeur est que le déclenchement de 2 ou plusieurs actions ne porte que sur peu de concepts différents, ce qui a pour effet d'alourdir inutilement le système.

Ces inconvénients nous ont conduits à opter pour la seconde structuration.

3.2.1.2.2) STRUCTURE GUIDEE PAR LES CONCEPTS

Notre domaine comporte en tout 45 concepts. Donnons un exemple d'arborescence (relatif aux deux buts précédents):



Avantage :

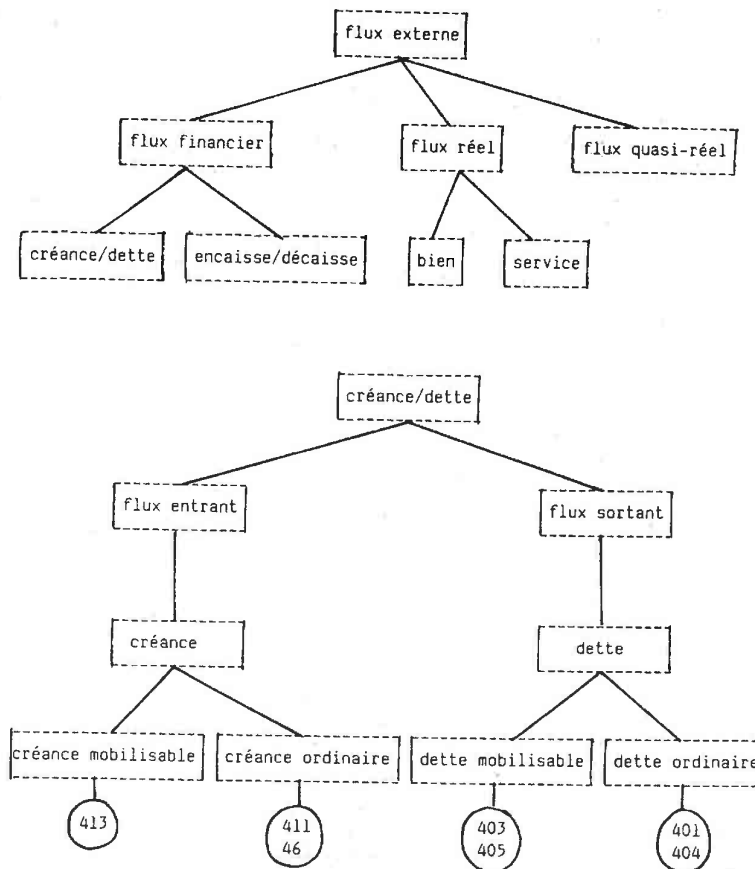
Cette façon de faire a paru naturelle aux experts. Ils sont arrivés à classer les concepts et, par là, les buts.

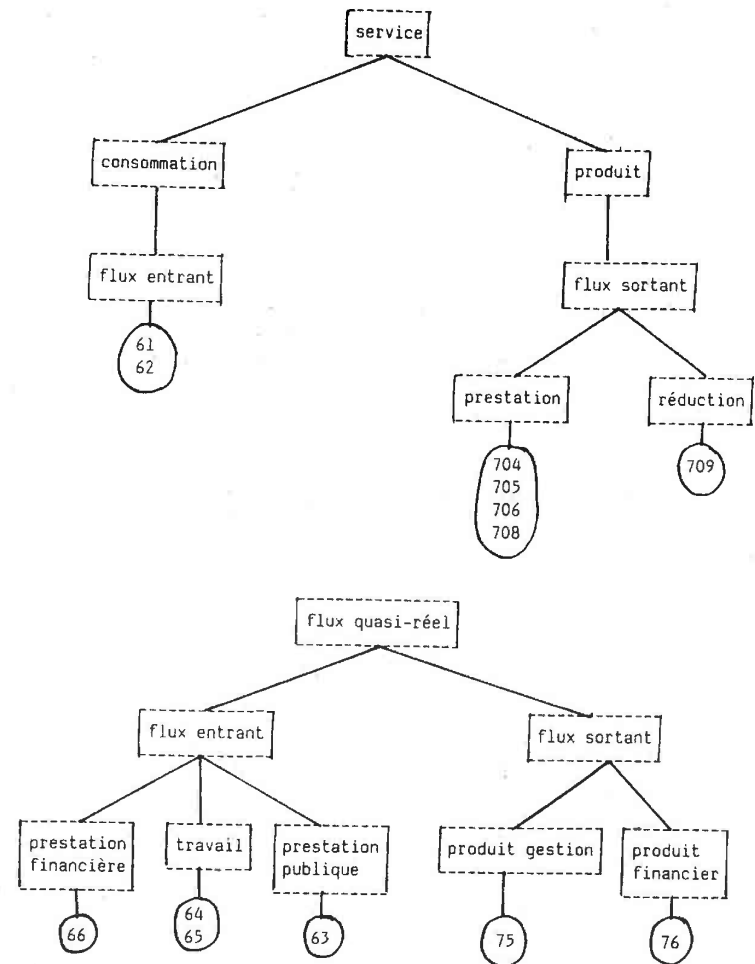
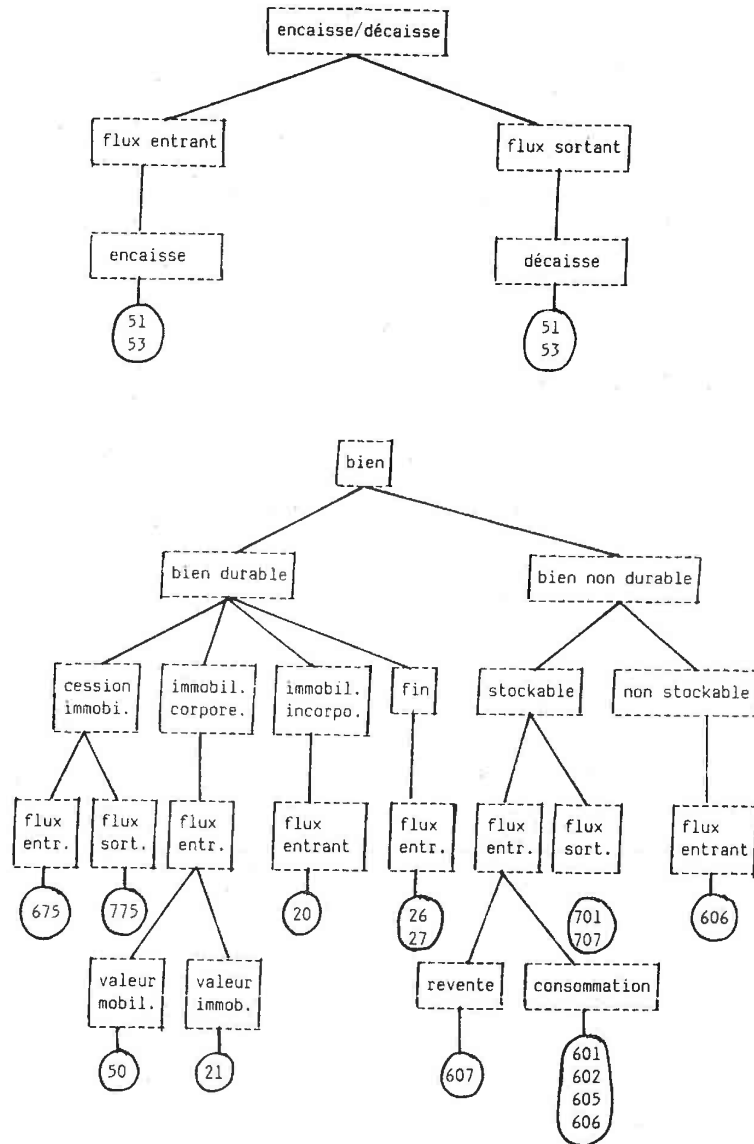
Inconvénient :

L'ajout de nouveaux concepts oblige à une réorganisation des concepts existants. Pour résoudre ce problème, une technique (décrite ultérieurement) doit être mise en oeuvre.

3.2.1.2.3) ARBRE CONCEPTUEL

Pour des raisons de présentation pratique, l'arbre a été découpé en plusieurs morceaux.





3.2.2) REPRESENTATION DES CONNAISSANCES

Après avoir donné la structure conceptuelle du domaine, quelle(s) représentation(s) faut-il choisir ? Le formalisme des règles de production nous a apparu le plus adéquat et le plus simple à mettre en oeuvre.

Une situation est représentée par un ensemble de conditions qui apparaissent à gauche de la RP.

Une action est représentée par un ensemble de buts dans la partie droite de la RP.

- où :
- Les conditions sont reliées par des "et"
 - Les buts sont reliés par des "ou" exclusifs

Ainsi, dans le graphe conceptuel précédent:

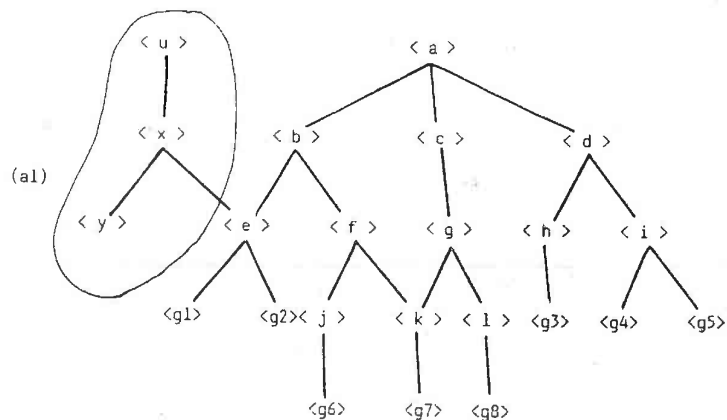
- Les noeuds représentent les conditions (concepts)
- Les liens représentent des relations conceptuelles
- Les feuilles représentent les buts (comptes)

Une fois le graphe conceptuel défini, on pourrait envisager le passage aux RP d'une manière automatique. Il suffit de choisir une méthode de définition de règles.

Dans ce qui suit, nous allons définir les modalités de passage du schéma conceptuel aux RP.

3.2.2.1) METHODES D'EXTRACTION DES REGLES

Considérons l'arbre conceptuel suivant:



(a) Extraction des règles en profondeur : De haut en bas

1. $\langle a \rangle \times \langle b \rangle \times \langle e \rangle \rightarrow \langle g1 \rangle$

2. $\langle a \rangle \times \langle b \rangle \times \langle e \rangle \rightarrow \langle g2 \rangle$ ou $\langle a \rangle \times \langle b \rangle \times \langle e \rangle \rightarrow \langle g1 \rangle \times \langle g2 \rangle$
 3. $\langle a \rangle \times \langle b \rangle \times \langle f \rangle \times \langle j \rangle \rightarrow \langle g6 \rangle$
 4. $\langle a \rangle \times \langle f \rangle \times \langle f \rangle \times \langle k \rangle \rightarrow \langle g7 \rangle$
 5. $\langle a \rangle \times \langle c \rangle \times \langle g \rangle \times \langle k \rangle \rightarrow \langle g7 \rangle$
 6. $\langle a \rangle \times \langle c \rangle \times \langle g \rangle \times \langle l \rangle \rightarrow \langle g8 \rangle$
 7. $\langle a \rangle \times \langle d \rangle \times \langle h \rangle \rightarrow \langle g3 \rangle$
 8. $\langle a \rangle \times \langle d \rangle \times \langle i \rangle \rightarrow \langle g4 \rangle$
 9. $\langle a \rangle \times \langle d \rangle \times \langle i \rangle \rightarrow \langle g5 \rangle$ ou $\langle a \rangle \times \langle d \rangle \times \langle i \rangle \rightarrow \langle g4 \rangle \times \langle g5 \rangle$

Avec le sous-arbre (a1) (ajout de nouveaux concepts), la règle 1 devient:

1. $\langle a \rangle \times \langle b \rangle \times \langle e \rangle \times \langle x \rangle \rightarrow \langle g1 \rangle \times \langle g2 \rangle$

(b) Extraction des règles par niveau

1. $\langle a \rangle \rightarrow \langle b \rangle \times \langle c \rangle \times \langle d \rangle$
 2. $\langle b \rangle \rightarrow \langle e \rangle \times \langle f \rangle$
 3. $\langle c \rangle \rightarrow \langle g \rangle$
 4. $\langle d \rangle \rightarrow \langle h \rangle \times \langle i \rangle$
 5. $\langle e \rangle \rightarrow \langle g1 \rangle \times \langle g2 \rangle$ avec (a1) : $\langle e \rangle \times \langle x \rangle \rightarrow \langle g1 \rangle \times \langle g2 \rangle$
 6. $\langle f \rangle \rightarrow \langle j \rangle \times \langle k \rangle$
 7. $\langle g \rangle \rightarrow \langle k \rangle \times \langle l \rangle$
 8. $\langle h \rangle \rightarrow \langle g3 \rangle$
 9. $\langle i \rangle \rightarrow \langle g4 \rangle \times \langle g5 \rangle$
 10. $\langle j \rangle \rightarrow \langle g6 \rangle$
 11. $\langle k \rangle \rightarrow \langle g7 \rangle$
 12. $\langle l \rangle \rightarrow \langle g8 \rangle$

(c) Méthode choisie

Notre graphe conceptuel présentant une profondeur à 7 niveaux, la première méthode s'est révélée lourde (trop de conditions à vérifier (résolution de conflit) pour une situation donnée), quant à la deuxième, elle est intéressante sur le plan EAO.

Supposons qu'on ait les 2 propositions (formalisme d'uniformité):

- $\langle p \rangle \rightarrow \langle q \rangle$
 $\langle q \rangle \rightarrow \langle r \rangle$

Ces 2 propositions véhiculent beaucoup plus d'informations que la proposition

- $\langle p \rangle \times \langle q \rangle \rightarrow \langle r \rangle$

L'intérêt de la deuxième méthode réside au niveau de la justification de la réponse (cf module MPC).

3.2.2.2) FORME DES REGLES

Nous utilisons donc des RP de la forme:

<condition,action>
ou <condition,propriété>

Chaque règle prend la forme:

SI p1 et p2 ...et pn ALORS r1 ou r2ou rj

Les prémisses sont normalisées sous la forme d'un triplet:

<objet><prédicat><valeur>
ou <objet><prédicat><objet>

Les prédicats (propriétés ou relations) sont unaires.

L'identité des objets à manipuler n'est, souvent, pas précisée. On reconnaîtra l'héritage des travaux en base de données et en compréhension du langage naturel (rôle de l'expert en compréhension de problèmes).

3.2.2.3) BASE DE CONNAISSANCES (BCD)

La base de connaissances du domaine (BCD) est une suite non ordonnée de règles de production:

- R01 SI flux est externe ALORS flux est réel OU flux est quasi-réel OU flux est financier
- R02 SI document est entrant ET flux est réel ALORS flux est entrant
- R03 SI document est entrant ET flux est quasi-réel ALORS flux est entrant
- R04 SI document est entrant ET flux est financier ALORS flux est sortant
- R05 SI document est sortant ET flux est réel ALORS flux est sortant
- R06 SI document est sortant ET flux est quasi-réel ALORS flux est sortant
- R07 SI document est sortant ET flux est financier ALORS flux est entrant
- R08 SI flux est réel ALORS flux de bien OU flux de service
- R09 SI flux de bien ALORS bien est durable OU bien est non-durable
- R10 SI flux de service ALORS service destiné consommation OU service est produit
- R11 SI bien est durable ALORS cession d'immobilisation
OU immobilisation est corporelle
OU immobilisation est incorporelle
OU immobilisation est financière
- R12 SI bien est non-durable ALORS bien est stockable OU bien est non-stockable
- R13 SI service destiné consommation ET flux est entrant
ALORS compte-61 OU compte-62
- R14 SI service est produit ET flux est sortant
ALORS produit est prestation OU produit est réduction
- R15 SI cession d'immobilisation ET flux est entrant ALORS compte-675
- R16 SI cession d'immobilisation ET flux est sortant ALORS compte-775
- R17 SI immobilisation est corporelle ET flux est entrant
ALORS valeur-mobilière de placement
OU valeur est immobilisable

- R18 SI immobilisation est incorporelle ET flux est entrant ALORS compte-20
- R19 SI immobilisation est financière ET flux est entrant
ALORS compte-26 OU compte-27
- R20 SI valeur-mobilière de placement ALORS compte-50
- R21 SI valeur est immobilisable ALORS compte-21
- R22 SI produit est prestation ALORS compte-704 OU compte-705
OU compte-706 OU compte-708
- R23 SI produit est réduction ALORS compte-709
- R24 SI bien est stockable ET flux est sortant ALORS compte-701 OU compte-707
- R25 SI bien est stockable ET flux est entrant ALORS bien destiné vente
OU bien destiné consommation
- R26 SI bien est non-stockable ET flux est entrant ALORS compte-606
- R27 SI bien destiné vente ALORS compte-607
- R28 SI bien destiné consommation ALORS compte-601 OU compte-602
OU compte-605
- R29 SI flux est quasi-réel ET flux est entrant ALORS flux de travail
OU flux de prestation-financière
OU flux de prestation-publique
- R30 SI flux de travail ALORS compte-64 OU compte-65
- R31 SI flux de prestation-financière ALORS compte-66
- R32 SI flux de prestation-publique ALORS compte-63
- R33 SI flux est quasi-réel ET flux est sortant ALORS produit de gestion
OU produit est financier
- R34 SI produit de gestion ALORS compte-75
- R35 SI produit est financier ALORS compte-76
- R36 SI flux est financier ALORS flux de créance-dette
OU flux d'encaisse-décaisse
- R37 SI flux de créance-dette ET flux est entrant ALORS flux est créance
- R38 SI flux de créance-dette ET flux est sortant ALORS flux est dette
- R39 SI flux d'encaisse-décaisse ET flux est entrant ALORS flux est encaisse
- R40 SI flux d'encaisse-décaisse ET flux est sortant ALORS flux est décaisse
- R41 SI flux est encaisse ALORS compte-51 OU compte-53
- R42 SI flux est décaisse ALORS compte-51 OU compte-53
- R43 SI flux est créance ALORS créance est mobilisable OU créance est ordinaire
- R44 SI créance est mobilisable ALORS compte-413
- R45 SI créance est ordinaire ALORS compte-411 OU compte-46
- R46 SI flux est dette ALORS dette est mobilisable OU dette est ordinaire
- R47 SI dette est mobilisable ALORS compte-403 OU compte-405
- R48 SI dette est ordinaire ALORS compte-401 OU compte-404
- R60 SI flux est entrant ALORS DEBIT
- R61 SI flux est sortant ALORS CREDIT

3.3) ETUDE DU DEUXIEME DOMAINE D'EXPERTISE : LA COMPREHENSION DE PROBLEMES

Dans ce chapitre, nous recensons et décrivons les différents types d'énoncés susceptibles de fournir des situations pédagogiques; nous proposons ensuite un langage de formulation d'un énoncé de problème, et enfin nous terminons par la description de la base de connaissances des problèmes (BCP).

3.3.1) ANALYSE DES DIFFERENTS TYPES D'ENONCES

Il est très difficile de comprendre l'activité d'une entreprise sans placer cette dernière dans un contexte particulier. On peut classer les entreprises selon divers critères:

1 -D'après leur nature juridique

- les entreprises privées qui appartiennent à des particuliers,
- les entreprises publiques qui appartiennent en totalité ou en partie à l'état.

2- D'après leur dimension

- les grandes entreprises,
- les petites et moyennes entreprises.

3- D'après leur domaine d'activité

- entreprises commerciales,
- entreprises industrielles,
- entreprises agricoles.

L'entreprise qu'on veut simuler est une petite entreprise industrielle privée et a pour nom DUVAL. Notons que son environnement (partenaires économiques) n'est pas précisé. L'activité de l'entreprise DUVAL consiste essentiellement en:

- l'achat de matières premières, de biens et de services
- la transformation des matières premières
- la vente de produits finis

Cependant, pour des raisons d'ordre pédagogique, cette entreprise réalise aussi des opérations commerciales (achats-ventes de marchandises).

En l'état actuel du projet, on a recensé 6 types d'énoncés correspondants à l'activité de l'entreprise.

Voici un exemple de chacun des 6 types d'énoncés.

1) FACTURE D'ACHAT-VENTE AU COMPTANT

DUMONT vend à DUVAL 1000F de matières premières, réglées en espèces.

Cette transaction donne lieu aux écritures comptables suivantes:

CHEZ DUVAL		CHEZ DUMONT
601 achat matières	I	53 caisse
D 1000 I	I	D 1000 I
I	I	
53 caisse	I	707 vente marchandises
D I 1000	I	D I 1000
I	I	I

2) FACTURE D'ACHAT-VENTE A CREDIT

DUMONT expédie à DUVAL diverses marchandises, payées à crédit, pour un montant de 750F.

CHEZ DUVAL		CHEZ DUMONT
607 achat marchandises	I	707 vente marchandises
D 750 I	I	D I 750
I	I	I
401 fournisseur	I	411 client
D I 750	I	D 750 I
I	I	I

3) FACTURE AVEC REDUCTION COMMERCIALE, SANS ESCOMPTE DE REGLEMENT

DUMONT adresse à son client DUVAL une facture ainsi libellée (les réductions se calculent en cascade):

I CHEMISERIE DUMONT - TOULOUSE			
I			
I doit : Mr DUVAL - NANCY			
I			
I facture No : 563I			
I date : 04.11.82 I			
I			
I REF I	ARTICLES	I MONTANT EN F. I	
I-----I-----I-----I			
IC-20 I	chemises	I 7000	I
IT-15 I	tricots coton	I 3000	I
I-----I-----I-----I			
I I	prix brut de vente	I 10000	I
I I	rebais(défaut qualité)	I 500	I
I-----I-----I-----I			
I I		I 9500	I
I I	remise 10 %	I 950	I
I-----I-----I-----I			
I I		I 8550	I
I I	remise 20 %	I 1710	I
I-----I-----I-----I			
I I	NET COMMERCIAL	I 6840	I

CHEZ DUVAL		CHEZ DUMONT	
-----		-----	
607 achat marchandises	I	701 vente produits finis	I
D _____ C	I	D _____ C	I
6840 I	I	I 6840	I
I	I	I	I
I		I	
401 fournisseur	I	411 client	I
D _____ C	I	D _____ C	I
I 6840	I	6840 I	I
I	I	I	I
I		I	

4) FACTURE AVEC ESCOMPTE DE REGLEMENT

I CHEMISERIE DUMONT - TOULOUSE			
I			
I doit : Mr DUVAL - NANCY			
I			
I facture N° :840I			
I date : 10.11.82I			
I			
I REF I	ARTICLES	I MONTANT en F. I	
I-----I-----I-----I			
IC-20 I	chemises	I 1000	I
IC-25 I	chemises	I 500	I
IT-40 I	tricots laine	I 500	I
I-----I-----I-----I			
I I	prix brut	I 2000	I
I I	remise 10%	I 200	I
I-----I-----I-----I			
I I	net commercial	I 1800	I
I I	escompte règlement 2 %	I 36	I
I-----I-----I-----I			
I I	net financier	I 1764	I

CHEZ DUVAL		CHEZ DUMONT	
-----		-----	
607 achat marchandises	I	701 vente produits finis	I
D _____ C	I	D _____ C	I
1800 I	I	I 1800	I
I	I	I	I
I		I	
401 fournisseurs	I	411 client	I
D _____ C	I	D _____ C	I
I 1764	I	1764 I	I
I	I	I	I
I		I	
76 produits finis	I	66 charges financières	I
D _____ C	I	D _____ C	I
I 36	I	36 I	I
I	I	I	I
I		I	
-----		-----	

5) FACTURE COMPORTANT DES MAJORATIONS

I CHEMISERIE DUMONT - TOULOUSE			
I			I
I doit : Mr DUVAL - NANCY			
I		I facture No : 920I	I
I		I date : 15.12.84 I	I
I-----I			
I REF I	ARTICLES	I MONTANT en F. I	I
I-----I-----I-----I			
I --- I	- - -	I === I	I
I --- I	- - -	I === I	I
I I		I-----I	I
I I	net commercial	I 5400 I	I
I I	(après rabais, remises)	I	I
I I	port à votre charge	I 120 I	I
I I		I-----I	I
I I	net financier	I 5520 I	I

CHEZ DUVAL		CHEZ DUMONT	
I		I	
607 achat marchandises	I	701 vente produits finis	I
D _____ C	I	D _____ C	I
5400 I	I	I 5400	I
I	I	I	I
401 fournisseur	I	411 client	I
D _____ C	I	D _____ C	I
I 5520	I	5520 I	I
I	I	I	I
62 autres services extérieurs	I	76 produits des activités annexes	I
D _____ C	I	D _____ C	I
120 I	I	I 120	I
I	I	I	I

6) L'ACHAT EST UN INVESTISSEMENT POUR L'ACHETEUR

I ENTREPRISE RAMONT - MULHOUSE			
I			I
I doit : Mr DUVAL - NANCY			
I		I facture No : 1120I	I
I		I date : 16.12.82 I	I
I-----I			
I REF I	ARTICLES	I MONTANT en F. I	I
I-----I-----I-----I			
I M5 I	2 machines outils	I 185 000 I	I
I I	frais de transport	I 18 000 I	I
I I		I-----I	I
I I	net financier	I 203 000 I	I

CHEZ DUVAL		CHEZ RAMONT	
I		I	
21 immobilisation corporelle	I	701 vente de produits finis	I
D _____ C	I	D _____ C	I
203000 I	I	I 185000	I
I	I	I	I
404 fournisseur d'immobilisation	I	401 client	I
D _____ C	I	D _____ C	I
I 203000	I	203000 I	I
I	I	I	I
	I	708 produits des activités annexes	I
	I	D _____ C	I
	I	I 18000	I
	I	I	I

3.3.2) REPRESENTATION DES CONNAISSANCES

Dans ce paragraphe, on entend par connaissances les faits liés aux problèmes. Ces faits peuvent être donnés ou inférés.

3.3.2.1) DOCUMENT STANDARD

L'analyse des opérations précédentes nous a conduits à décrire une forme standard de document. Le document est partagé en zones. Chaque zone correspond à un ou plusieurs types d'opération.

I			I
I	DOIT	: --F1--	I
Z1	I	MODE DE REGLEMENT : --F2--	I

I			I
I	libellé article	--F3--	I
I			I
I			I
I			I
I	REDUCTION		I
I			I
I			I
I	ESCOMPTE		I
I			I
I			I
I	MAJORATION		I
I			I

où :

ZONE Z1 : correspond à l'une des opérations:

- achat-vente au comptant
- achat-vente à crédit
- achat-vente d'investissement

F1 : l'interprétation de F1 fournit le type du document: entrant/sortant, ce qui correspond à achat/vente.

F2 : l'interprétation de F2 fournit le mode de règlement: au comptant/ à crédit.

F3 : l'interprétation de F3 permet de connaître la nature de l'objet acheté/vendu.

ZONE Z2 : correspond à l'opération de REDUCTION (rabais, remises, ..)

ZONE Z3 : correspond à l'opération d'ESCOMPTE

ZONE Z4 : correspond à l'opération de MAJORATION (port, ..)

ZONE Z5 : correspond aux valeurs en francs associées aux opérations

REMARQUE : Les zones Z1 et Z5 sont toujours présentes. Les autres zones peuvent être présentes ou absentes.

L'acquisition du problème se fait à partir d'un questionnaire posé par le module d'acquisition de problèmes (MAP). Ce questionnaire est établi à partir de la forme interne, suivante, du document:

```
(ident-probleme
(Z1 ((entete)(no-document)(doit)(mode-reglement)(nature)
      (libellé)(montant)))
(Z2 ((reduction)(nature)(libellé)(montant)))
(Z3 ((escompte)(nature)(libellé)(montant)))
(Z4 ((majoration)(nature)(libellé)(montant)))
(Z5 ((total-a-payer)(libellé)(montant))) )
```

3.3.2.2) LE DICTIONNAIRE DES SYNONYMIES

Il comprend les différentes synonymies liées à chaque pôle d'analyse.

Ce dictionnaire permet:

- d'identifier les différents mots introduits par l'enseignant ou l'apprenant,
- d'évaluer les règles relatives à l'interprétation d'un énoncé,
- de produire le filtre: à un ensemble de mots on associe un but (pôle) nécessaire au moteur d'inférences M2.

Les différents mots du dictionnaire sont classés par type de flux et par pôle.

1) FLUX REEL	
No.COMPTE!	SYNONYMIES
20	concessions-brevets-licences-marques-droits-fonds de commerce!
21	frais d'établissement
26	terrains-constructions-installations techniques, matériels et
27	outillages industriels-matériel de transport, de bureau, in-
	formatique-mobilier
26	titres de participation-actions-intérêts
27	titres immobiliers-droits de propriété, de créances-actions-
	obligations-prêts-dépôts et cautionnements
50	actions-obligations-bons du trésor-bons émis
601	matière A-matière B-....-fournitures A,B,C....
602	matières_fournitures consommables-combustibles-produits d'en-
	tretiens-fournitures de bureau/atelier/usine-emballages
605	matériel-équipement-travaux
606	eau-énergie-fournitures administratives
607	marchandises A,B,...
61	sous traitance-redevances de crédit-bail-locations-charges
	locatives et de copropriétés-travaux d'entretien et répara-
	tions-primés d'assurances-études et recherches
62	honoraires-publicités-publications-transport de bien/person-
	nel-déplacements-missions-frais postaux/télé communication-
	services bancaires-port
675	terrains-immeubles(compte 2)
701	produit fini A,B,...
704	travaux
705	études
706	prestation de service
707	marchandise A,B, ..
708	port-frais factures-primés sur ventes
709	rabais-remise-ristourne
775	terrains-immeubles-...

2) FLUX QUASI-REEL	
No.COMPTE!	SYNONYMIES
63	impôts-taxes-allocations
64	rémunération du personnel-salaires-charges de SS-URCSSAF-
	ASSEDIC-cotisations
65	redevances pour concessions-brevets-licences-marques-pertes
	sur créances-faillite-non paiement
66	charges d'intérêts-intérêts des emprunts-dettes-comptes ban-
	caires-escomptes-charges nettes sur V.M.P.
75	redevances pour concessions-brevets-licences-revenus des
	immeubles
76	produits de participations-revenus des titres de participa-
	tions-escomptes
3) FLUX FINANCIER	
No.COMPTE!	SYNONYMIES
401	à crédit-dettes
403	effet de commerce-effet à payer
404	à crédit-dettes
405	effet de commerce-effet à payer
411	à crédit-dettes
413	effet de commerce-effet à recevoir
46	à crédit-dettes
51	banques-CCP-BNP-crédit lyonnais-chèque-concours bancaire-
	valeur à l'encaissement
53	au comptant-en espèces-caisse siège social-caisse succursale
	caisse

3.3.2.3) LA BASE DE CONNAISSANCES DES PROBLEMES (BCP)

La BCP est structurée de la manière suivante:

((faits-complémentaires)
(problème)
(faits-initiaux))

a) faits complémentaires :

Ce sont les faits déduits par le module de compréhension de problèmes (MCP).

b) problème :

Le problème contient les noms des variables de la forme interne du document et leurs instanciations respectives obtenues lors du dialogue. Nous imposons cependant une restriction en ce qui concerne l'identificateur du problème car c'est une donnée partagée avec la stratégie pédagogique.

c) faits initiaux :

A chaque problème sont associés deux faits:

- (flux est externe)
- (document est entrant) ou (document est sortant)

Le premier fait doit toujours être présent dans la base (nous n'avons pas traité le cas des flux internes à l'entreprise). Les seconds sont déduits par le MCP.

3.3.3) EXTENSION : PASSAGE A D'AUTRES TYPES D'ENONCES

Le support d'un énoncé étant un document comptable, le passage à d'autres types d'énoncés se traduit par une extension de la forme interne du document. Trois types d'opérations restent à étudier:

- la T.V.A.
- les emballages
- les travaux de fin d'exercice (amortissements, provisions)

Exemple: Facturation de la T.V.A.

Si tous les articles de la facture sont imposables au même taux, on peut représenter le document de la façon suivante:

	I	prix hors taxe	I
	I		I
	I	.	I
	I	.	I
	I		I
Montant total H.T.	I	12 000	I
TVA à 18 %	I	2 232	I
	I		I
Net à payer	I	14 232	I

De ce fait, la forme interne du document sera:

(Z1 ((entete)))
.....
(Z5 ((total-HT)(libellé)(montant)))
(Z6 ((TVA)(taux)(montant)))
(Z7 ((net-à-payer)(libellé)(montant)))

3.4) ETUDE DU TROISIEME DOMAINE D'EXPERTISE : LA PEDAGOGIE

3.4.1) INTRODUCTION

Au sens commun des termes, la pédagogie permet de répondre à la question: comment enseigner une matière. En effet, il est évident que l'on n'enseigne pas les mathématiques en classe de seconde comme on enseigne la littérature française en classe de sixième. Cette diversité donc, de méthodes et de techniques ne permet pas de dégager une méthodologie globale d'enseignement.

Cependant de tout temps le bon pédagogue a su que:

- il ne faut pas présenter à l'élève la matière à enseigner dans n'importe quel ordre,
- il faut adapter l'enseignement à chaque élève,
- il ne faut pas laisser ce dernier s'ennuyer
- il ne faut pas le laisser s'enfoncer dans son erreur ou se résigner à son ignorance.

Ces principes peuvent paraître trop généraux et c'est pourquoi la "pédagogie rencontre beaucoup de difficultés à se constituer en tant que science" (MIALARET-79). En effet, il paraît impossible qu'enseigner soit autre chose qu'un art.

Nous allons donc procéder d'une manière pragmatique, consistant à partir de l'existant (qu'est-ce que le pédagogue d'un système tel que DIANE ?) et à spécifier le rôle du pédagogue dans notre système.

Le résultat de cette comparaison se trouve consigné dans le tableau, page suivante, qui sépare le niveau de l'activité élémentaire (pour nous le problème)

et le niveau de l'enchaînement des activités. Dans ce qui suit, on va s'attacher à définir le portrait de l'apprenant et les règles générales de choix et de génération d'une activité au vu de ce portrait et d'un objectif général d'enseignement (§ 3.4.2), en essayant d'approcher le plus près possible les principes cités ci-dessus. Le travail n'a pas été assez poussé, notre objectif est de donner simplement quelques "pistes".

! FONCTIONNALITE	! E.A.O. TUTORIEL (DIANE)	! PARTENAIRE DE RESOLUTION DE PROBLEMES (PRP)
! NIVEAU ACTIVITE ELEMENTAIRE	! SOLICITATION (MEMORISEE)	! PROBLEME (MEMORISE - GENERE - POSE PAR L'APPRENANT)
	! ACTION DU SYSTEME	! APPORT DE L'AUTEUR
! analyse de la performance (correct/incorrect/nature de l'erreur)	! comparaison à des modèles (analyse de réponse)	! fourniture des modèles
! comportement en cas de réponse incorrecte	! envoi d'une scène et/ou bouclage (jugement de réponse)	! description de la scène; choix du nombre d'essais autorisés
	! fourniture d'aide à la demande de l'apprenant	! fourniture et autorisation d'aide
	! fourniture de la réponse correcte (pas dans DIANE)	! autorisation
! évaluation de l'activité	! modification de la valeur de variables (CALCULER de DIANE)	! définition des variables et programmation au coup par coup
! NIVEAU ENCHAÎNEMENT D'ACTIVITES	! DESCRIPTION DE DIALOGUE DU DIDACTICIEL	! MOTEUR D'ENCHAÎNEMENT
	! ACTION DU SYSTEME	! APPORT DE L'AUTEUR
! activité à l'initiative de l'auteur	! branchement sur conditions portant sur les valeurs des variables	! écriture explicite de cet algorithme
! activité à l'initiative de l'apprenant	! branchement sur un dialogue particulier (requête DIANE)	! description des dialogues et autorisation
		! proposition d'activité

3.4.2) DEFINITION DES OBJECTIFS ET STRUCTURATION DE LA MATIERE A ENSEIGNER

Comme il a été vu au chapitre 3.3, l'entreprise modélisée réalise six types d'opérations:

- .achat-vente au comptant
- .achat-vente à crédit

- .réduction commerciale
- .majoration
- .escompte de règlement
- .achat-vente d'investissement

L'objectif final est d'arriver, pour l'apprenant, à maîtriser les éléments concourant à la formation du "compte-résultat". Ce dernier comporte 3 niveaux:

I NIVEAUX	I CHARGES	I PRODUITS
I exploitation	I comptes 60 à 65	I compte 70 à 75
I financier	I compte 66	I compte 76
I exception	I compte 67	I compte 77

De ce fait, on peut schématiser les "activités" de la manière suivante:

I COMPTE RESULTAT I		
	I	
	I	
	I	
	I	
	I	
	I	
I EXPLOITATION I	I FINANCIER I	I EXCEPTIONNEL I
	I	I
	I	I
	I	I
	I	I
	I	I
I FACTURE I	I I FACTURE I	I
I SIMPLE I	I I REDUCTION I	I
	I	I
	I	I
	I	I
	I	I
comptant crédit	rem. rist. rab.I	investissement
	I	I
majoration	escompte	

3.4.3) CHOIX D'UNE STRATEGIE PEDAGOGIQUE

La question posée est: quelle technique d'apprentissage utiliser? Autrement dit:

- dans quel ordre présenter les situations pédagogiques à l'apprenant?
- comment traiter les cas d'erreurs?

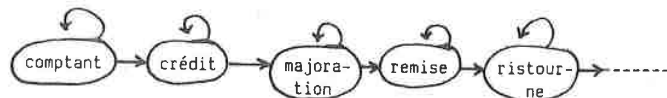
Pour répondre à ces questions, nous allons nous inspirer des premières techniques de l'enseignement programmé.

3.4.3.1) ORDRE DE PRESENTATION DES SITUATIONS PEDAGOGIQUES

Trois techniques peuvent être appliquées:

a) programme linéaire de Pressey

L'application de cette technique peut être schématisée de la manière suivante:



L'inconvénient de cette technique est que l'apprenant ne progresse pas tant qu'il n'a pas trouvé la bonne réponse, ceci est dû au fait qu'il n'y a pas de traitement des erreurs possibles (non tolérance à l'échec).

b) programme "descendant"

L'idée est de partir du comportement final exigé pour, par différenciations successives, en faire assimiler les parties. Pratiquement cela se traduit par la présentation du problème le plus complexe (englobant tous les types d'opérations), l'analyse des réponses et l'orientation de l'apprenant vers l'opération véhiculant le concept mal acquis.

L'idée est intéressante si la population concernée a déjà des notions sur le domaine enseigné.

c) approche basée sur le concept de programme ramifié amélioré

La technique du programme ramifié a le mérite de prévoir les erreurs possibles.

Nous allons donc nous inspirer de ce principe pour définir notre stratégie pédagogique et l'adapter à un modèle de résolution de problèmes dans lequel les erreurs ne sont pas prévues à priori.

A ce principe, nous ajoutons un principe de non directivité en autorisant, au moment opportun, l'apprenant à poser ses propres problèmes.

3.4.3.2) TRAITEMENT DES ERREURS

Quelle stratégie appliquer en cas d'erreur?

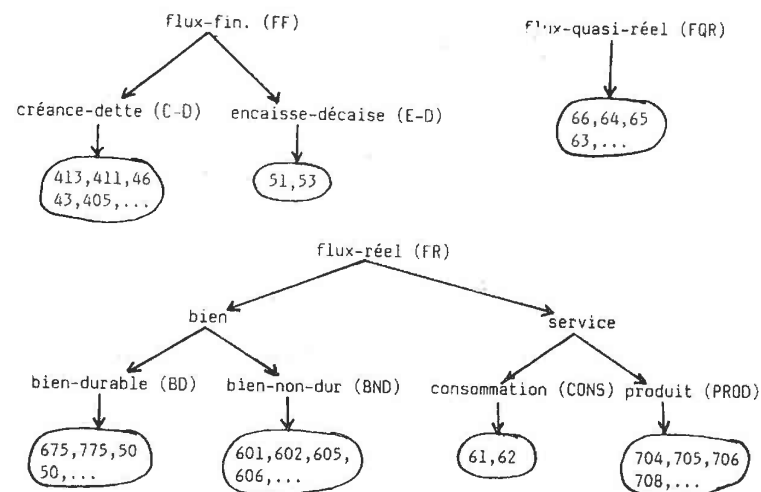
La stratégie choisie est de:

- détecter d'abord les erreurs de l'apprenant: erreurs de raisonnement et oublis (rôle de l'expert en résolution),
- expliquer ces erreurs et justifier la solution exacte inférée (rôle d'un module particulier: POURQUOI-COMMENT),
- orienter l'apprenant vers un problème véhiculant le concept non acquis et/ou lui laisser le choix de poser son propre problème.

C'est ce dernier point que nous allons traiter.

3.4.3.2.1) CHOIX DU NIVEAU D'EXPERTISE

Dans l'état actuel, il nous paraît souhaitable de limiter le niveau d'expertise (afin de faciliter les traitements d'erreurs) aux sous-arbres suivants:



Supposons qu'au cours d'une résolution particulière d'un problème, l'apprenant a fait une erreur relevant du sous-arbre (FR):

3.4.3.2.2) ERREURS INTERNES

Supposons qu'un noeud particulier (par exemple BND) est un noeud-solution (appartient au chemin-solution).

On appelle "erreur interne" à un noeud toute erreur intervenant dans un noeud fils (par exemple "bien stockable").

On applique alors la stratégie suivante (principe du "programme linéaire"):
Au cas où l'erreur de l'apprenant est due à la non compréhension d'un concept Ci, qui est un "sous-concept" d'un concept Cj, lui expliquer son erreur et lui proposer un problème véhiculant le concept Cj.

3.4.3.2.3) ERREURS LOCALES

On appelle "erreur locale" à un noeud toute erreur intervenant dans un noeud "voisin" (par exemple CONS).

On applique alors la stratégie suivante (principe du "programme ramifié" avec retour au noeud initial):

Au cas où l'erreur de l'apprenant est due à la non compréhension d'un concept Ci "voisin" d'un concept Cj:

- lui expliquer son erreur et lui proposer un problème véhiculant le concept Ci,
- lui poser un problème véhiculant le concept Cj.

3.4.3.2.4) ERREURS GLOBALES

On appelle "erreur globale" toute erreur intervenant dans un arbre Ai différent d'un arbre Aj (par exemple {FR} et {FF}).

On applique la stratégie suivante (principe du "programme linéaire": bouclage):

Au cas où l'erreur de l'apprenant se situe dans un arbre voisin, alors:

- justifier l'erreur,
- poser un problème véhiculant les concepts de l'arbre Aj.

3.4.4) REPRESENTATION DES CONNAISSANCES

Le formalisme des règles de production peut être appliqué avec succès pour l'implantation de stratégies pédagogiques (S.P.) adaptatives (c'est à dire des S.P. qui s'adaptent individuellement aux apprenants, et cela durant toute une séance d'apprentissage).

Les connaissances sont représentées dans une base de faits (PROFIL) et une base de connaissances (STRATEGIE PEDAGOGIQUE).

3.4.4.1) LE PROFIL OU LE PORTRAIT

Le PROFIL contient les valeurs des variables (de comportement) que l'on désire étudier chez l'apprenant. On s'intéresse plus particulièrement aux variables suivantes:

nom : nom de l'apprenant
derop : opération sur laquelle portait le dernier problème exécuté (au comptant, à crédit, escompte,...)
derpb : dernier problème exécuté dans derop (identifié par: opl, op2,...)
état : état courant de l'apprenant (au comptant, à crédit,)
erreur-interne : dernier concept erroné dans ce type d'erreurs
erreur-locale : dernier concept erroné dans ce type d'erreurs
erreur-globale : dernier concept erroné dans ce type d'erreurs
solution : noeud-solution du problème en cours (concept obligatoire)
score : cumul des notes antérieures
note : note courante
nbop : nombre total des problèmes effectivement exécutés

EXEMPLE : (derop escompte)(derpb opl0)(etat au-comptant)
(erreur-interne bien-non-durable)(solution bien-non-durable)
(score 15)(nom xxxxx)(nbpb 18)(note 0)

3.4.4.2) LA STRATEGIE PEDAGOGIQUE

a) règle générale

SI la réponse de l'apprenant au dernier problème est juste
et SI les conditions de passage d'une opération à l'autre sont satisfaites
ALORS lui permettre de poser un problème
ET passer opération suivante

L'apprenant a droit de poser une question à ce niveau parce que tous les problèmes relevant de ce type d'opération sont terminés.

b) règles de passage d'une opération à l'autre

Nous allons définir ces règles à partir d'un exemple en donnant les instantiations possibles de chaque variable du profil:

derop : comptant, crédit, majoration, remise, ristourne, rabais, escompte, investissement

derpb : on suppose qu'on a 4 problèmes par type d'opération, à savoir: opl, op2, op3, ...

erreurs : bien-durable ("BD"), bien-non-durable ("BND"), (feuilles de l'arbre défini en 3.4.3.2.1)

solution : noeud-solution du problème posé (feuilles de l'arbre)

score : note globale qui varie de 0 à 28

note : note associée à un problème: 0 ou 1

nbpb : nombre total de problèmes: 28

```
RP1 :  SI derop = comptant      ; si la dernière opération exécutée par
      et SI score > 2          ; l'apprenant est de type "au comptant"
      et SI nbpb <= 4          ; et s'il a un score > 2 et le nombre de
      ALORS etat = comptant    ; problèmes exécutés n'excède pas 4
      (execute-op derop derpb) ; alors on peut dire qu'il a acquis le
      AVEC (majbf nbpb note score) ; concept "au comptant".
```

-(execute-op derop derpb) est une action qui a pour effet de mettre à jour la base de faits (PROFIL). Dans ce cas : (derop credit), (derpb opX) et on passe alors à l'opération "credit".

-(majbf nbpb note score): Avant de passer à l'action (execute-op), mettre à jour les faits : nbpb = nbpb + 1, note = note + 1, score = score + 1

```
RP2 :  SI derop = credit      ; si la dernière opération est "à crédit"
      et SI score > 6
      et SI etat = comptant
      et SI nbpb <= 9
      ALORS etat = majoration
      (execute-op derop derpb)
      AVEC (majbf nbpb note score)
```

Remarques: - Dans ce qui suit "<=" désigne "sous-concept"

----- - On considère les arbres définis en 3.4.3.2.1

c) erreurs internes

```
RI : SI noeud-erroné <= x      ; si le noeud erroné est un sous-concept
    ALORS justifier l'erreur    ; d'un concept x, ....
    ET justifier la solution
    ET reposer un problème incluant le concept x
```

Des instantiations particulières de cette règle sont par exemple:

RI1 : SI noeud-erroné <= "BND"

```
ALORS justifier l'erreur
ET justifier la solution
ET reposer un problème incluant le concept "BND"
```

```
RI2 : SI noeud-erroné <= "CONS"
    ALORS justifier l'erreur
    ET justifier la solution
    ET reposer un problème incluant le concept "CONS"
```

d) erreurs locales

```
RL : SI noeud-solution <= y
    ALORS appliquer la règle relative aux erreurs internes (RI)
    ET reposer un problème incluant le concept y
```

Exemples d'instanciation:

```
RL1 : SI noeud-solution <= "BND"
    ALORS appliquer RI2
    ET reposer problème incluant le concept "BND"
```

```
RL2 : SI noeud-solution <= "CONS"
    ALORS appliquer RI1
    ET reposer problème incluant le concept "CONS"
```

e) erreurs globales

```
RG : SI noeud-solution <= x
    ALORS appliquer la règle relative aux erreurs locales (RL)
```

Exemple d'instanciation:

```
RG1 : SI noeud-solution <= "FR"
    ALORS appliquer RL1 ou RL2
```

3.5) CONCLUSION

Une nouvelle discipline est en train de voir le jour: la cognitive (BONNET-B4). Dans ce chapitre, nous voulions simplement montrer l'intérêt d'avoir des méthodes appropriées pour la délivrance d'expertise par les experts des domaines.

Nous avons proposé des méthodes, qui d'ailleurs pourraient être inadéquates dans d'autres domaines, qui nous ont aidé dans la phase de conception des bases de connaissances.

Nous pensons que beaucoup de travail reste à faire dans le domaine du génie de la connaissance.

chapitre 4
LES EXPERTS

4.1) INTRODUCTION

L'objet de ce chapitre est de montrer, sur un exemple, comment sont manipulées les connaissances définies dans le chapitre précédent.

Nous prenons comme exemple le problème suivant, identifié par le mot-clé "OP12".

I	ENTREPRISE DUMONT - MULHOUSE	I
I		I
I	doit : Mr DUVAL - NANCY	I
I		I
I		I facture no : FACT12
I		I date : 17.12.82
I		I
I	REF I	ARTICLES
I	I	MONTANT EN F.
I	M12	Achat à crédit de marchandises
I	I	1800
I	I	I
I	I	net commercial
I	I	1800
I	I	escompte 2 %
I	I	36
I	I	port à charge
I	I	50
I	I	I
I	I	net à payer
I	I	1814
I	I	I

A partir de cet exemple, nous définirons les mécanismes de raisonnement mis en oeuvre par chaque expert en précisant les faits échangés entre ces derniers qui rappellent-les, coopèrent en séquence.

4.2) L'EXPERT EN ACQUISITION ET COMPREHENSION DE PROBLEMES

4.2.1) PRESENTATION

Nous avons défini dans le chapitre 3 les différents types de problèmes qui peuvent être posés à l'apprenant. Il faut maintenant définir les techniques à utiliser pour:

- d'une part, permettre à l'enseignant (ou à l'apprenant) d'introduire ses problèmes;
- d'autre part, "comprendre" ces problèmes, les intégrer à la base des problèmes, et exploiter cette base.

La solution que nous proposons est une solution ad-hoc basée sur la forme interne du document, en nous limitant aux problèmes ne mettant en oeuvre que certaines opérations (chapitre 3.3). Cependant, un de nos objectifs à court terme est d'utiliser les techniques mises en oeuvre pour la compréhension des énoncés arithmétiques (MEDIAN-84), (FAY-84) afin de généraliser les problèmes à d'autres types d'opérations.

Dans la suite, on va décrire la solution choisie en séparant les deux niveaux:

- acquisition de problèmes,
- compréhension de problèmes.

4.2.2) LE MODULE D'ACQUISITION DE PROBLEMES (MAP)

4.2.2.1) ACQUISITION

L'acquisition du problème se fait à partir d'un questionnaire. Ce dernier est établi à partir de l'image du document standard. Rappelons la forme interne du document:

```
(ident-probleme
(Z1 ((entete)(no-document)(doit)(mode-reglement)(nature)
    (libelle)(montant)))
(Z2 ((reduction)(nature)(libelle)(montant)))
(Z3 ((escompte)(nature)(libelle)(montant)))
(Z4 ((majoration)(nature)(libelle)(montant)))
(Z5 ((total-a-payer)(libelle)(montant))) )
```

A l'issue de ce questionnaire, le MAP détermine les faits initiaux, nécessaires à toute résolution et déduit la représentation interne du problème.

La représentation interne du problème contient les noms des variables de la forme interne du document et leurs instanciations respectives. Nous imposons cependant une restriction en ce qui concerne l'identificateur du problème car c'est une donnée partagée avec la stratégie pédagogique.

Supposons que l'enseignant (ou l'apprenant) veut poser le problème représenté par le document FACT-12. Le dialogue suivant s'instaure:

a) le dialogue

```
Script started on Fri Jun 28 09:32:07 1985
% lelisp
```

```
**** Nouvelle version 15 (installée le 15.02.85)
**** zone flottants = 6145
```

```
***** Le_Lisp (by INRIA) version 15 (31/Decembre/84) %vaxunix$
= Systeme standard compile avec editeur avec environnement avec compilateur
? (load modic.11)
```

```
? (probl)
```

```
-----
le systeme d'acquisition de probleme a votre service !
-----
```

```
SAVEZ-VOUS COMMENT CREER UN PROBLEME ? (o/n)
? n
```

```
-----
c'est simple ! REPONDEZ aux questions qui vous seront posees
Cependant, quelques remarques :
1. Le nom d'un probleme est sous-forme : opl, op2, ...
2. On simule une entreprise particuliere : DUVAL
3. Le resultat du questionnaire est un document
-----
```

```
--> pour continuer, tapez n'importe quel caractere
? a
```

```
DONNEZ S.V.P UN IDENT. DU PROBLEME :opl, op2,...? opl2
```

```
AVEZ-VOUS UN(e) entete? o
```

```
numero-document? FACT12
```

```
doit? DUVAL
```

```
mode-reglement? a-credit
```

```
nature? marchandise
```

```
libelle? achat-de-marchandises
```

```
montant? 1800
```

```
AVEZ-VOUS UN(e) reduction? n
```

```
AVEZ-VOUS UN(e) escompte? o
nature? escompte
```

```
libelle? escompte-2%
```

```
montant? 36
```

```
AVEZ-VOUS UN(e) majoration? o
nature? port
```

```
libelle? port-a-votre-charge
```

```
montant? 50
```

AVEZ-VOUS UN(e) total-a-payer? o
libelle? net-a-payer

montant? xxxxx

De ce dialogue, le MAP déduit:

- les faits: ((flux est externe)(document est sortant)), puisque c'est DUVAL l'acheteur;
- la représentation interne du problème.

b) la représentation interne du problème

La représentation interne est structurée comme suit:

```
(opl2
(Z1 ((entete)(no-document FACT12)(doit DUVAL)(mode-reglement a-credit)
      (nature marchandise)(libelle achat-de-marchandises)(montant 1800)))
(Z2 ((reduction nil)(nature)(libelle)(montant)))
(Z3 ((escompte)(nature escompte)(libelle escompte-2%)(montant 36)))
(Z4 ((majoration)(nature port)(libelle port-a-votre charge)(montant 50)))
(Z5 ((total-a-payer)(libelle net-a-payer)(montant xxxxx))) )
```

4.2.2.2) RESTITUTION

Une fois la représentation interne définie, la restitution (affichage) du problème s'obtient moyennant une petite transformation de cette dernière. Pour le problème opl2, cet affichage est le suivant:

DUVAL reçoit un document libellé comme suit:

```
-----
I          numero-document:FACT12
I doit:DUVAL
I mode-reglement:a-credit
I-----
I achat-de-marchandises          I 1800
I escompte-2%                    I 36
I port-a-votre-charge            I 50
I-----
I net-a-payer                    I xxxxx
I-----
```

--> PASSEZ LES ECRITURES COMPTABLES CORRESPONDANTES .

4.2.3) LE MODULE DE COMPREHENSION DE PROBLEMES (MCP)

Un problème est une suite de sous-problèmes (opérations) à résoudre et chaque sous-problème a ses propres faits.

On entend par compréhension d'un problème l'acquisition des faits nécessaires (ces faits identifient les sous-problèmes) à sa résolution.

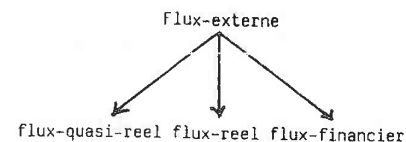
Dans ce qui suit, nous donnons les règles permettant la détermination de ces faits qui constituent une mémoire de travail temporaire.

Cependant deux techniques peuvent être appliquées pour résoudre, connaissant ces faits, un problème donné:

- augmenter l'ensemble des faits et appeler l'expert en résolution,
- résoudre d'une manière grossière le problème à l'aide d'un filtre obtenu à partir du dictionnaire.

4.2.3.1) DETERMINATION DES FAITS NECESSAIRES : LES TYPES DE FLUX EXTERNES

Le MCP se sert de la représentation interne pour déterminer les différents types de flux externes. Rappelons la partie du schéma conceptuel nécessaire à la compréhension:



Le MCP, connaissant la "nature" des opérations, a pour rôle de les déduire. La détermination de ces faits se fait grâce aux règles procédurales suivantes:

- 1- si, dans un problème, existent des opérations d'ESCOMPTE et de MAJORATION, alors les faits à déduire sont: ((flux est financier)(flux est réel)(flux est quasi-réel)(flux est réel))
- 2- si, dans un problème, existe une opération d'ESCOMPTE, alors déduire les faits suivants: ((flux est financier)(flux est réel)(flux est quasi-réel))
- 3- si, dans un problème, existe une opération de MAJORATION, alors déduire les faits suivants: ((flux est financier)(flux est réel)(flux est réel))
- 4- sinon, les faits à déduire sont: ((flux est financier)(flux est réel))

Certains faits paraissent redondants et c'est vrai. Cependant, cette redondance permet:

- d'une part, d'identifier tous les sous-problèmes (opérations),
- d'autre part, de connaître le nombre d'éléments de la solution d'un problème.

EXEMPLE

Considérons le problème OP12.

- Les sous-problèmes sont: "vente de marchandises", "escompte" et "port". La base de faits déduite est:

((flux est financier)(flux est réel)(flux est quasi-réel)(flux est réel))

- Les éléments de la solution qui seront inférées, sont alors au nombre de quatre:

- (crédit compte-401) : imputation du flux financier
- (débit compte-607) : imputation du premier flux réel
- (crédit compte-76) : imputation du flux quasi-réel
- (crédit compte-62) : imputation du second flux réel

4.2.3.2) DETERMINATION DES FAITS LIES A CHAQUE TYPE DE FLUX EXTERNE

Ces faits sont déterminés uniquement dans le cas où l'expert en résolution utilise le chaînage avant. En effet, la présence des "OU" exclusifs dans la partie conclusion des règles de la B.C.D. (§ 3.2.2.3) nécessite la confirmation d'une des conclusions.

Pour y arriver, on utilise le dictionnaire des synonymies (§ 3.3.2.3) dont la structure partielle est la suivante:

f

numéro compte -----> opération, où f est une application surjective

Connaissant l'opération, ou la "nature" dans la R.I.,

- on applique la fonction inverse pour déterminer un ensemble de numéros de comptes,

- une fois cet ensemble déterminé, on applique la fonction suivante qui, à une classe de "numéros de comptes" associe un concept. Ce concept est alors un des faits associé à un type de flux externe.

ICLASSEI	numéros de comptes	I	concept (fait)	I
I	I	I	I	I
I 1	I 2,50,(601,607),675,701,707,775	I	flux de bien	I
I 2	I 61,62,704,705,706,708,709	I	flux de service	I
I 3	I (601,607),701,707	I	bien est non-durable	I
I 4	I 2,50,675,775	I	bien est durable	I
I 5	I 675,775	I	cession d'immobilisation	I
I 6	I 21,50	I	immobilisation est corpor.	I
I 7	I 20	I	immobil. est incorporelle	I
I 8	I 26,27	I	immobil. est financière	I
I 9	I 21	I	valeur est immobilière	I
I 10	I 50	I	valeur-mobil. de placement	I
I 11	I 606,707	I	bien est non-stockable	I
I 12	I (601,605),607,701	I	bien est stockable	I
I 13	I 607	I	bien destiné revente	I
I 14	I 601,602,605	I	bien destiné consommation	I
I 15	I 61,62	I	service destiné consommation	I
I 16	I 701,704,705,706,708,709	I	service est produit	I
I 17	I 76	I	produit est financier	I
I 18	I 704,705,706,708	I	produit est prestation	I
I 19	I 75	I	produit de gestion	I
I 20	I 5	I	flux d'encaisse-décaisse	I
I 21	I 4	I	flux de créance-dette	I
I 22	I 401,405	I	flux est dette	I
I 23	I 411,46	I	flux est créance	I
I 24	I 51,53	I	encaisse ou décaisse	I
I 25	I 66	I	flux de prestation-financ.	I
I 26	I 63	I	flux de prestation-publique	I
I 27	I 709	I	flux est réduction	I
I 28	I 64,65	I	flux de travail	I
I 29	I 413	I	créance est mobilisable	I
I 30	I 411,46	I	créance est ordinaire	I
I 31	I 403,405	I	dette est mobilisable	I
I 32	I 401,404	I	dette est ordinaire	I
I	I	I	I	I

EXEMPLE D'APPLICATION

Considérons le problème OP12 et supposons qu'on veuille déterminer les faits liés au flux externe (flux est réel) (opération "achat marchandises"). Pour les obtenir, on procède en deux étapes:

1- application du dictionnaire des synonymies: on remarque que le compte 607 est un des comptes solutions,

2- application de la table précédente: On parcourt toute la table pour déterminer tous les faits. La mémoire de travail temporaire est alors:

((flux est réel)(flux de bien)(bien est non-durable)(bien est stockable)
(bien destiné revente))

On appelle ces faits faits complémentaires, pour les différencier des faits initiaux ((flux est externe)(document est entrant)) qui sont déduits par le MAP et qui sont toujours présents lors de la résolution d'un problème. En effet, une fois qu'un sous-problème est résolu, les faits complémentaires sont supprimés et remplacés par d'autres faits liés à l'opération en cours.

4.2.3.3) RESOLUTION A L'AIDE D'UN FILTRE

Rappelons la structure du dictionnaire:

type de flux / numéro compte / liste de synonymies

Connaissant les types de flux (faits nécessaires déduits précédemment) et les opérations associées à chaque énoncé (BCP), on peut déduire aisément le numéro de compte (solution du problème) associé à chaque opération.

Cependant, ce mode de résolution est grossier, son seul intérêt réside dans l'obtention de l'ensemble des solutions possibles. Ces derniers constitueront alors l'ensemble des buts à résoudre pour l'expert en résolution fonctionnant en chaînage arrière.

4.2.4) DONNEES COMMUNES AVEC LES AUTRES EXPERTS

Rappelons la structure, dynamique, de la base de connaissances des problèmes (BCP):

(... (faits initiaux du problème i)
(représentation interne du problème i)
(faits complémentaires du problème i))

Le MACP (Module d'Acquisition et de Compréhension de Problèmes) partage avec:

- l'expert en résolution : les faits liés à un problème. En fait, la BCP est la mémoire de travail de cet expert,

- l'expert pédagogue : Les identificateurs de problèmes qu'il a imposés à l'utilisateur lors de l'acquisition de ces derniers. Ces identificateurs seront des buts à résoudre pour l'expert pédagogue.

4.3) L'EXPERT EN RESOLUTION DE PROBLEMES

4.3.1) INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on entend par "résolution de problèmes" la mise en évidence du raisonnement correct qui permet d'aboutir à la solution. Considérons le problème suivant:

"X expédie à Y 1000 fr de marchandises réglées en espèces.
Donnez les écritures comptables correspondantes."

Trois mécanismes de raisonnement peuvent être appliqués:

- considérer le problème donné comme problème à résoudre et, dans ce cas, trouver l'ensemble des composants de la solution (chaînage avant);

- considérer la solution proposée par l'apprenant comme le problème à résoudre et dans ce cas, vérifier que sa solution est juste, partiellement juste ou fausse (chaînage arrière);

- combiner les deux modes de raisonnement précédents (chaînage bidirectionnel).

Dans la suite on décrira, à partir de l'exemple OP12, ces mécanismes de raisonnement, et on mettra en relief le moyen de détecter les erreurs de l'apprenant.

4.3.2) RESOLUTION DE PROBLEMES

4.3.2.1) RAPPEL

Un problème étant une suite d'opérations (ou sous-problèmes), la résolution d'un problème consiste en la résolution de ces sous-problèmes. Chaque sous-problème a ses propres faits: les faits complémentaires.

Les faits communs à ces sous-problèmes sont les faits initiaux (faits permanents). Ces faits sont toujours présents dans la mémoire de travail qui est mise à jour à chaque résolution de sous-problème.

4.3.2.2) CHAINAGE ARRIERE

Le "chaînage arrière", seul, permet de considérer la réponse-apprenant comme un ensemble de buts à résoudre et essaie d'appliquer les règles aboutissant aux faits.

Si la réponse de l'apprenant est incomplète, ou si l'une des réponses partielles est fausse (erreur dans l'imputation d'un compte), le système s'en rend compte (voir § 4.3.3).

Soit le problème OP12 dans lequel la solution attendue est:

(debit compte-607) et (credit compte-765) et (debit compte-624) et (credit compte-401)

(1) ANALYSE DE L'ENONCE (MACP)

(a) LES FAITS INITIAUX

.flux externe
.document entrant

(b) DEFINITION DES TYPES DE FLUX EXTERNES

.(flux est financier)	(ff)	<==>	net à payer
.(flux est réel)	(fr)	<==>	marchandise
.(flux est quasi-réel)	(fqr)	<==>	escompte
.(flux est réel)	(fr)	<==>	majoration

(2) APPLICATION DES REGLES

1/ imputation du flux réel : débit (compte-607)

a/ But1 = compte-607 ?

```

FLUX EXTENE
IR1
I
flux réel
IR8
I
flux de bien      DOC.ENTR  FLUX REEL  doc.sort  flux financ
I
IR9                'R2'          'R7'
I
I                  'et'          'et'
bien non-durable
I
IR12               ---          ---          .....
I
I                  'ou'
bien stockable     flux entrant
                    '
                    R25
                    '
                    'et'
                    bien destiné revente
                    I
                    IR27
                    I
                    607 ACHAT MARCHANDISES

```

b/ But2 = débit ?

```

DOC.ENTR. FLUX REEL  doc.sort.  flux fin.
'
R2 '          'R7'
'et'          'et'
'
'
===          ===          .....
'ou'
flux entrant
I
IR60
I
DEBIT

```

2/ imputation du flux quasi-réel : crédit (compte-765)

a/ But1 = compte-765 ?

```

DOC.ENTR F.Q.R.   F.Q.R. doc.sort
  \ R3 '           \ R6 '
  'et'             'et'
  ,               ,
  ou , ou..
FLUX SORT F.Q.R.
  \ R33 '
  'et'   '
PRODUIT FINANCIER
  I
  IR35
  I
765 PRODUIT FINANCIER
(escomptes obtenus)

```

b/ But2 = crédit ?

```

FLUX SORTANT
  I
  IR61
  I
CREDIT

```

3/ Imputation du flux réel : débit (compte-624)

a/ But1 = compte-624 ?

```

DOC.ENTR F.R.   doc.sort f.f.   F.R.
  \ R2 '           \ R7 '           I
  'et'             'et'             IR8
  ,               ,               I
  ou , ou ,       FLUX SERVICE
  FLUX ENTR       I
  SERVICE CONSOM. I
  IR10
  I
  R13 '
  'et'
624 TRANSPORT

```

b/ But2 = débit ?

```

FLUX ENTR.
  I
  IR60
  I
DEBIT

```

4/ Imputation du flux financier : crédit (compte-401)

a/ but1 = compte-401 ?

```
DOC.ENTR F.F. doc.sort f.q.r.
```

```
      R4      R6      F.F.  
    et'      et'  
          ,  
        ou  
      , ,  
FLUX SORTANT CREANCE-DETTE
```

```
      R38  
    et'  
FLUX-DETTE  
I  
IR46  
I  
DETTE ORDINAIRE  
I  
IR48  
I  
401 FOURNISSEUR
```

b/ But2 = crédit ?

FLUX SORTANT
I
IR61
I
CREDIT

4.3.2.3) CHAINAGE AVANT

On utilise le "chaînage avant" dans le cas où:

- (1) La réponse-apprenant est incomplète (il n'a pas imputé un ou plusieurs comptes) ;
- (2) On ne veut pas seulement répondre par vrai ou faux à la réponse-apprenant;

Considérons toujours le problème OP12 et supposons que l'élève n'a pas débité le compte 607.

2 questions se posent:

- (1) Comment savoir qu'il n'a pas imputé un compte ?
- (2) Pourquoi le compte 607 ?

- Les règles définissant les différents types de flux externes (analyse de l'énoncé) permettent de répondre à la première question: à tout flux réel correspond un flux financier;

- Par application du chaînage avant, connaissant les faits du problème (analyse de l'énoncé-détermination des faits liés à chaque type de flux externe), on aboutit au compte 607; ceci répond à la deuxième question.

(1) ANALYSE DE L'ENONCE (MACP)

(a) LES FAITS INITIAUX

```
.flux externe
.document entrant
```

(b) DEFINITION DES TYPES DE FLUX EXTERNES

FLUX EXTERNE
, , , ,
, , , ,
, , , ,
ET
, , , ,
, , , ,
FLUX FLUX FLUX FLUX
REEL FINANCIER REEL QUASI-REEL

La règle appliquée par le MACP est: "si, dans un problème, existent des opérations d'ESCOMPTE et de MAJORATION, alors les faits à déduire sont: ((flux est financier) (flux est réel)(flux est quasi-réel)(flux est réel))

(c) DETERMINATION DES FAITS LIES A CHAQUE TYPE DE FLUX

La partie droite des règles de production étant constituée de conclusions reliées par des OU exclusifs, la confirmation de l'une d'elles (choix d'une de ces conclusions) reste nécessaire. Ce choix a été fait par le MACP au moment de la mise à jour de la mémoire de travail.

Exemple: La détermination des faits liés au flux réel, pour l'imputation du compte 607, a été faite au § 4.2.3.2. et on a obtenu la base de faits suivante:

```
((flux est réel)(flux de bien)(bien est non-durable)(bien est stockable)
(bien destiné revente))
```

(2) APPLICATION DES REGLES (pourquoi le compte-607?)

```

flux-externe
I
IR1          * : noeud insoluble
I
F.R.
'
'ou
' R8
* flux bien
f.serv.
'ou
' R9
* bien non dur.
bien dur.
'ou
' R12
* bien stock.      doc-entrant flux-reel
bien non stoc.      et
                    ' ET ' R02
                    f.entr --> avec : f.entrant
                    'ou
                    ' R25
* bien destiné vente
bien destiné cons. I
IR27
I
COMPTE-607

```

4.3.2.4) CHAINAGE BIDIRECTIONNEL

Actuellement, cette stratégie n'est pas mise en oeuvre. Elle a été prévue dans le cas où:

- un énoncé présente des caractéristiques (exemples "mode de paiement", "nature" d'une opération, ...) imprévues (caractéristiques inexistantes dans le dictionnaire des synonymies), que le MACP n'arrive pas à analyser,
- on ne veut pas obligatoirement poser la question à l'utilisateur (enseignant ou apprenant) pour confirmer ou infirmer le fait.

Les faits liés au problème sont donc incomplets.

EXEMPLE :

Considérons toujours le problème OP12 et supposons que l'apprenant a donné une des solutions justes: (debit compte-607).

Supposons que le MACP n'est arrivé à déduire que les faits suivants:

```

(flux-externe)(document-entrant)
(flux-reel)(flux-financier)(flux-bien)(flux-entrant)

```

(1) APPLICATION DU CHAINAGE AVANT

```

flux-externe
' et ' R01
f-fin.    f-reel
'ou
' R08
*
f-serv    f-bien
'ou
' R09
?         ?
b-durab.  b.non-durab.

```

A ce moment, le moteur est dans l'impasse. Quelle prémisse choisir ? C'est à ce niveau, qu'on déclenche le chaînage arrière.

(2) APPLICATION DU CHAINAGE ARRIERE

```

compte-607
  I
  I R27
  I
  bien-destine-revente
  ,
  , et R25
  ,
  bien-sock. flux-entr.
  I
  I R12
  I
  bien-non-dur.
  I
  I R09
  I
  flux-bien

```

Les prémisses: (flux-bien), (flux-entrant) appartenant à la base de faits, le but (compte-607) est donc démontré.

4.3.3) DETECTION DES ERREURS

4.3.3.1) ERREUR DANS LE RAISONNEMENT

Considérons toujours OP12 et supposons qu'au lieu de donner une des réponses correctes, à savoir (debit compte-607), l'apprenant a répondu (debit compte-701).

Les faits sont:

(flux-externe)(document-entrant)(flux-reel)

Par application du chaînage arrière, on obtient l'arbre suivant:

```

(compte-701)
  , et R24
  ,
  bien-stock. flux-sortant
  I
  R12 I , et R5
  I *
  bien-non-dur. flux-reel doc-sortant
  I
  R09 I
  I
  flux-bien
  I
  R08 I
  I
  flux-reel

```

Le noeud (document-sortant) étant insoluble, on en déduit que la réponse de l'apprenant (debit compte-701) est fausse.

4.3.3.2) SOLUTIONS MANQUANTES

Dans ce cas, l'apprenant n'a pas fourni toutes les réponses partielles attendues. Le système procède en deux étapes:

- Grâce aux règles définissant les différents types de flux externes, Le MACP s'en rend compte: à tout flux déduit doit correspondre l'imputation d'un compte.

- Pour déterminer quelle est la solution manquante, on applique le chaînage avant, en ayant comme fait complémentaire le type de flux correspondant (voir exemple d'application du chaînage avant).

4.3.4) DONNEES COMMUNES AVEC LES AUTRES EXPERTS

L'expert en résolution reçoit les informations suivantes:

- l'identificateur du problème à résoudre, via l'expert pédagogue,
- les faits liés au problème, via l'expert en acquisition et compréhension de problème,

et transmet les listes de faits inférés ainsi que les résultats (solutions vraies ou erreurs) à l'expert pédagogue.

4.4) L'EXPERT PEDAGOGUE

4.4.1) APPRENTISSAGE DE CONCEPTS PAR RESOLUTION DE PROBLEMES

Une des caractéristiques de l'intelligence est la capacité qu'a une personne d'améliorer, par expérience, ses facultés de résolution de problèmes.

La modélisation de ce type d'apprentissage est un des objectifs de l'I.A. parce qu'elle constitue un moyen, à la fois, de comprendre la nature de l'intelligence et d'améliorer les programmes de résolution de problèmes.

En ce qui nous concerne, nous ne nous intéressons pas à l'étude de l'apprentissage des concepts chez l'être humain, mais étant dans un contexte d'EA0, nous voulons permettre aux apprenants d'apprendre à apprendre, c'est à dire développer leur capacité de raisonnement, d'expérimentation ou de maîtrise des principes.

Trois facteurs essentiels ont une influence dans une séance d'apprentissage (HARTLEY-80):

- L'influence de la structuration du domaine à enseigner. Dans notre cas, le domaine étant structuré hiérarchiquement, l'acquisition des concepts par les apprenants se trouve facilitée par le fait que tous les concepts à acquérir suivent un ordre logique et conceptuel (§ 3.4.2).

- L'importance d'encourager les apprenants en les gardant les plus actifs possible, en leur posant des problèmes adaptés à leur niveau, savoir les guider au moment opportun et leur permettre de poser leurs propres problèmes: ce sera le rôle de la STRATEGIE PEDAGOGIQUE.

- Le besoin de fournir un feed-back "informationnel" adapté à une situation donnée (et non par "vrai" ou faux") en leur montrant et justifiant les points critiques du raisonnement mis en oeuvre lors de la résolution: ce sera le rôle du module POURQUOI-COMMENT (MPC).

4.4.2) ACTIVITE ELEMENTAIRE : LE MODULE D'EXPLICATION PC

Le module PC permet à l'apprenant (ou à l'enseignant) d'interroger le système pour comprendre le raisonnement qui a été utilisé pendant une résolution particulière d'un problème.

Pendant une résolution, le module PC fournit les explications relatives au raisonnement qui l'a conduit à la solution si l'utilisateur le lui demande et cela grâce à deux commandes particulières: POURQUOI et COMMENT (MYCIN).

Le principe est le suivant: Supposons qu' à un moment donné, on déduit le sous-but c, par la chaîne suivante:

....a ==> b ==> c

(1) Si la question utilisateur est:

- POURQUOI c ? (pourquoi est-il important d'avoir c ?)
- La réponse sera : parce que b
- POURQUOI b ?
- parce que a

Notons que la réponse diffère si on fournit une explication lors d'un raisonnement en chaînage avant ou lors d'un raisonnement en chaînage arrière:

- On rappelle que le chaînage avant est appliqué quand la réponse de l'apprenant est incomplète: dans ce cas PC gère des AFFIRMATIONS.

- Le module PC est utilisé en chaînage arrière lorsque la réponse-apprenant est erronée et que l'on veut lui fournir la ou les causes d'erreurs: dans ce cas PC gère des NEGATIONS.

(2) Si la question est:

- COMMENT c ?

on suppose que l'utilisateur n'a pas compris le sous-but (le concept) c, et qu'il désire avoir de plus amples renseignements sur ce sujet. Le système accède alors à la table des définitions des concepts (DICT-D) et lui fournit les explications nécessaires.

4.4.2.1) TABLE DES DEFINITIONS (DICT-D)

Nous donnons un morceau de cette table à titre d'exemple.

CONCEPTS	DEFINITIONS
flux	! mouvements de valeurs homogènes
flux externe	! ENTREPRISE E =====> ENTREPRISE F
flux interne	! ENTREPRISE E: ATELIER 1 =====> ATELIER 2
imputation	! inscription d'une somme dans un compte, à son débit ou à son crédit.
débit	! porter une somme à son débit. Un compte est débité si pour l'opération qui le concerne il enregistre un emploi.
créditer un compte	! porter une somme à son crédit. Un compte est crédité si pour l'opération qui le concerne il enregistre une ressource.
solde d'un compte	! différence entre le total de ses débits et le total de ses crédits ou différence opposée.
solde créditeur	! si crédit > débit
solde débiteur	! si débit > crédit
compte soldé	! si crédit = débit
flux de travail	! la mesure est le total des salaires et des charges connexes : ENTREPRISE <===== PERSONNEL
flux de prestation financière	! la mesure est le montant des intérêts à payer: ENTREPRISE <===== PRETEURS
flux de prestation publique	! la mesure (indirecte) est le total des impôts à payer: ENTREPRISE <===== ETAT

rabais	: réductions pratiquées exceptionnellement sur le prix de vente préalablement convenu, pour tenir compte, par exemple, d'un défaut de qualité ou de conformité des ob- jets vendus
remises	: réductions pratiquées habituellement sur le prix courant de vente en considération, par exemple, de l'importance de la vente ou de la profession du client, et généralement calculées par application d'un pourcentage au prix courant de vente
ristournes	: réductions de prix calculées sur l'ensemble des opérations faites avec un client pendant une période déterminée
escompte de régle- ment	: réduction accordée aux clients qui paient leurs achats avant le terme normal d'exigibilité

4.4.2.2) PC EN CHAINAGE AVANT

Soit toujours le problème OP12. Supposons que l'apprenant n'a pas débité le compte 607.

En appliquant le chaînage avant, l'expert aboutit à:

```
M _ le compte qui reste à débiter est 607
A _ POURQUOI ? (pourquoi imputes-tu le compte-607 ?)
M _ parce que la règle 27 stipule que:
    SI 01 : le bien est destiné à la revente
    ALORS : le compte est 607
A _ COMMENT 01 ? (que veut dire bien destiné à la revente ?)
M _ parce que : (accès à la table des définitions des concepts)
    "les matières achetées ne sont pas destinées à la consommation"
A _ POURQUOI 01 ? (pourquoi est-il important d'avoir un bien destiné à la
    revente)
M _ parce que la règle 25 dit :
    SI 01 : le bien est stockable
    02 : le flux est entrant
    ALORS : le bien est destiné à la revente
A _ POURQUOI 02 ?
M _ ===
    === etc ===
```

4.4.2.3) PC EN CHAINAGE ARRIERE

Supposons qu'au lieu de créditer le compte 76 (escompte), l'apprenant a débité (ou crédité) le compte 66.

En appliquant le chaînage arrière, on détecte la cause de l'erreur.

```
doc.ent' flux réel ?   dac.sort flux fin ?
    ,
    R3 ,                R5 ,
    'et'               'et'
    ,
    ou                  ou
    ==                 == .....
    == ==            ....
    ,
F.Q.R. flux entr
    ,
    R29 ,
    'et' ,
    ,
prestatiOn financière
I
IR31
I
66 charges financières
```

On remarque qu'il y a contradiction entre le fait initial (FQR) et les faits déduits (flux réel et financier);

```

A _ DEBIT COMPTE-66 (CHARGES FINANCIERES)
M _ non c'est faux
A _ POURQUOI ?
M _ parce que la règle 31 dit:
    SI 01 : flux de prestation financière
    ALORS : le compte est 66
    MAIS : on n'a pas une prestation financière
A _ COMMENT 01 ? (que veut dire prestation financière ?)
M _ parce que (accès à la table des définitions)
    "la mesure est le montant des intérêts à payer:
        ENTREPRISE <===== PRETEURS"
A _ POURQUOI NON 01 ?
M _ parce que la règle 29 dit que:
    SI 01 : flux est quasi-réel
    O2 : flux est entrant
    ALORS : flux de prestation financière
    MAIS : 02 est contradictoire avec le fait initial (flux sortant)
A _ POURQUOI NON 02 ?
M _ = = =
    = = = etc

```

4.4.3) ENCHAINEMENT DES ACTIVITES

Nous avons présenté en 3.4.4.2 les règles de la stratégie pédagogique. Ces règles comportant des variables, nous avons besoin d'un autre moteur d'inférences. Dans l'attente de la disponibilité du moteur TANGO (CORDIER-84a), nous avons utilisé un petit jeu de règles sans variables à la place des autres règles, ce qui nous permettait d'avoir un logiciel "complet". On trouvera en annexe le mini pédagogue réalisé.

4.4.4) DONNEES COMMUNES AVEC LES AUTRES EXPERTS

STRATEG est le superviseur des deux autres experts: il génère le problème à poser à l'apprenant et

- propose à l'expert en compréhension de déterminer les faits liés à ce problème,
- commande à l'expert en résolution de le résoudre.

De ce fait, il transmet aux deux experts l'identificateur du problème et reçoit de l'expert en résolution:

- le score réalisé par l'apprenant (réponse juste ou fausse),
- les données nécessaires au module PC.

4.5) CONCLUSION

Reportant à plus tard la compréhension d'un énoncé de problème formulé en langage naturel, nous avons contourné cette difficulté en proposant à l'enseignant (ou à l'apprenant) un questionnaire, simple d'emploi, dont le résultat est un document où ne figurent que les termes essentiels de l'énoncé.

Le résultat final produit par cet expert est la base de connaissances des problèmes (BCP).

Ce système présente des insuffisances au niveau de la mise à jour de la base et du passage à d'autres types d'énoncés. Un de nos objectifs à court terme est de remédier à ces insuffisances en appliquant des techniques d'apprentissage rendues possibles par une meilleure modélisation des concepts.

Grâce aux trois mécanismes de raisonnement mis en oeuvre, et à la complexité de l'expert en compréhension de problèmes, l'expert en résolution peut traiter une grande variété de problèmes relevant du domaine enseigné. Ces problèmes peuvent être soumis par l'expert pédagogue ou posés par l'apprenant qui, de ce fait, dispose d'un outil supplémentaire pour tester et approfondir ses propres connaissances.

Le degré de "précision" des connaissances dépend du niveau de profondeur de l'arbre généré. Actuellement, l'expert génère un plan de résolution à sept

niveaux et une augmentation du nombre de règles de la base de connaissances (les nouvelles règles auront pour but de préciser et justifier les règles existantes) reste souhaitable.

La représentation des connaissances de la stratégie pédagogique que nous avons adoptée nous paraît à la fois puissante et naturelle. Mais n'enseignant que depuis peu, je me trouve dans l'incapacité de fournir une expertise "complète" et je souhaite que des formateurs professionnels y collaboreront.

Le module POURQUOI-COMMENT renforce l'apprentissage du fait qu'il constitue une aide et un feed-back précieux pour l'apprenant.

chapitre 5
REALISATION

5.1) INTRODUCTION

Après avoir donné, dans les chapitres précédents, les spécifications du logiciel, nous décrivons ici l'ensemble des fonctions que nous avons définies et leurs articulations.

Dans un premier temps, nous rappelons l'architecture du programme. Nous décrivons ensuite l'enchaînement des fonctions liées à chaque type d'utilisateur puis nous présentons le coeur du logiciel, à savoir le moteur de l'expert M2.

Toutes les fonctions sont écrites en Le-Lisp version 1.5. Le programme a été mis au point sur VAX 750 et une grande partie tourne sur SM90.

5.2) PRESENTATION DU LOGICIEL

Rappelons la démarche que nous avons suivie et les différents partenaires du logiciel:

- phase d'acquisition et de représentation des connaissances:

Deux types d'experts, à savoir l'expert du domaine d'enseignement et l'expert pédagogue, communiquent leur savoir via le Module d'Acquisition de Connaissances (M.A.C.).

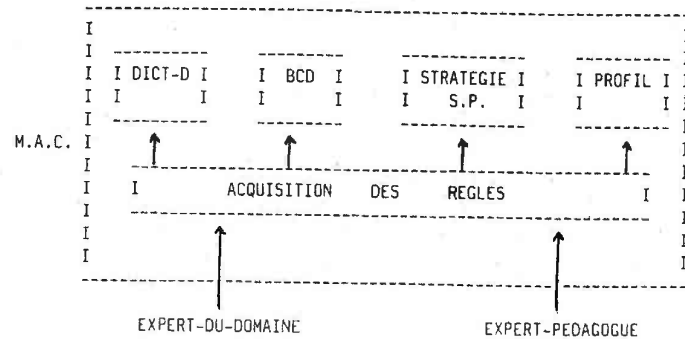
- phase d'utilisation des connaissances:

Deux types d'utilisateurs utilisent les connaissances définies précédemment, à savoir l'enseignant (ou l'apprenant) qui pose des problèmes relevant du domaine et l'apprenant qui est en situation d'apprentissage. Toutes les fonctions qui sont définies pour l'un sont permises pour l'autre.

A ces quatre partenaires, on en a ajouté un cinquième: un utilisateur "inconnu" du système qui peut appeler toutes les fonctions et surtout celles qui permettent de:

- créer une base de connaissances
- créer une base de faits
- résoudre un problème

5.2.1) PHASE D'ACQUISITION ET DE REPRESENTATION DES CONNAISSANCES



Par l'intermédiaire du M.A.C.,

- l'expert du domaine met à jour:
 - .la base de connaissances : BCD
 - .la table de définition des prémisses nécessaire au module MPC : DICT-D
- l'expert pédagogue met à jour:
 - .la stratégie pédagogique : S.P.
 - .le profil de l'apprenant : PROFIL

Les différentes bases de connaissances sont organisées comme suit:

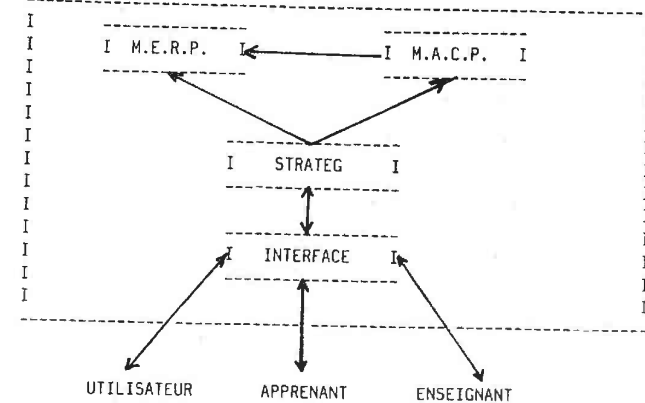
```

(lactions ((action-1)...(action-k)) )
(R01 ( (premise-1).....(premise-n) )
      ( (conclusion-1)...(conclusion-j) ) )
(R02 ( (premise-1).....(premise-i) )
      ( (conclusion-1)...(conclusion-m) ) )
(R03 ( ..... )
      ( ..... ) )
  
```

Les règles sont des expressions Le-Lisp.

5.2.2) PHASE D'UTILISATION DES CONNAISSANCES

Les différents modules sont organisés de la manière suivante:

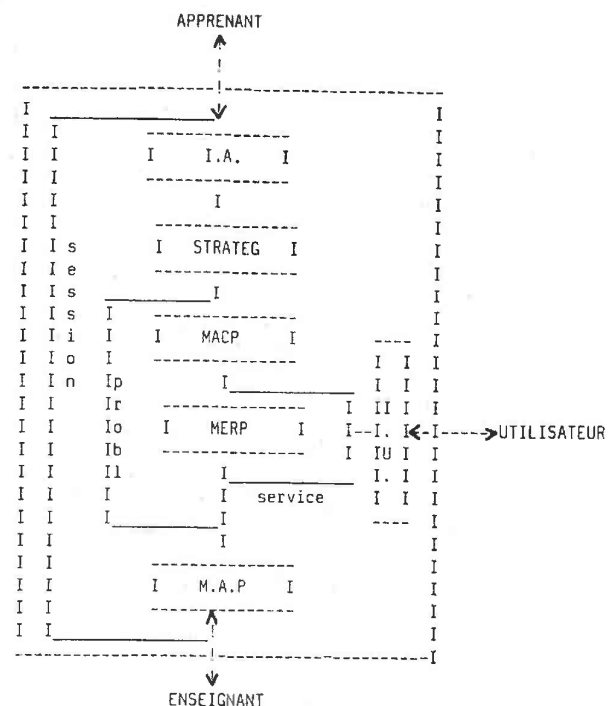


- M.E.R.P. : Module Expert en Résolution de problèmes
- M.A.C.P. : Module d'Acquisition et de Compréhension de Problèmes
- STRATEG : Expert pédagogue

A chaque partenaire correspond une fonction particulière:

- apprenant ----> (session) ou (probl)
- enseignant ---> (probl)
- utilisateur --> (service)

A l'appel de chacune de ces fonctions, les différents modules s'articulent comme suit:



Les modules communs à ces fonctions sont:

- (avant) : appel du M.I. en chaînage avant
- (arriere) : appel du M.I. en chaînage arrière
- (mpc) : module de justification des solutions

Par la suite, nous allons décrire l'enchaînement des fonctions relatives à chaque partenaire.

5.3) FONCTION APPRENANT : (session)

5.3.1) APPEL

appel : (session)

C'est le point d'entrée du système. A l'appel de cette fonction, le système enchaîne toutes les fonctions suivantes:

(1) (entree) , ()

```

-----
I      BIENVENUE SUR LE SYSTEME MODIC      I
I
I      salut : < login > !                    I
I
I      N'OUBLIEZ PAS , en cas de detresse d'appeler la
I      fonction : (service)                  I
I      -----                               I
I      Voulez-vous :                          I
I      -Continuer le cours                    : 1  I
I      -Poser un problème                     : 2  I
I      -Des informations sur le système : 3      I
I
I
-----

```

Cette fonction a donc pour objectifs de:

1. Charger les BC concernées (en tenant compte du profil de l'apprenant)
2. Créer de nouvelles bases de connaissances (problèmes)
3. Fournir de plus amples renseignements sur le fonctionnement du système: (service)

(2) (compilreg) , () : Précompilation des règles des différentes BC concernées

(3) (chain-avant SP PROFIL) : Appel du MI, en chaînage avant, pour déterminer le problème à poser

(4) (exercice) : Affichage du problème

(5) (but) : Acquisition de la réponse

(6) (avant),(arriere) : Appel du MI en chaînage avant ou arrière (selon les cas)

(7) (message) : Message destiné à l'apprenant:

I
I - OK ! Réponse juste
I ou
I -But inexistant (réponse hors sujet)
I ou
I -Ta réponse est fausse, MOI je ne suis arrivé
I qu' à inférer le but : (.....)
I
I-----
I SI TU VEUX PLUS DE RENSEIGNEMENTS APPELLE :
I (pourquoi) OU (comment)

(8) (maj-profil) : mise à jour du profil de l'apprenant (fichier PROFIL)

(9) (arret),(session) : continuer ou non la session

5.3.2) MODULE : MPC

Ce module permet de justifier les résultats obtenus. En schématisant, on pourrait dire que ce module explique ce que l'expert en résolution infère.

(1) FONCTION : (pourquoi)

Appel : (pourquoi Nopremisse)

(pourquoi i)

```

si non vide (suivant(linfer(i)))
alors imprimer (suivant(linfer(i)))
sinon imprimer ('la prémisses appartient aux faits, et mes connaissances
s'arrêtent là')

```

- i : Numéro de la prémisses
- linfer : chaîne d'inférences déduite par MERP

(2) FONCTION : (comment)

appel : (comment Nopremisse)

```
(comment i)
```

```
si non vide (DICT-D(linfer(i))
alors imprimer (DICT-D(linfer(i))
sinon imprimer ("je n'ai pas d'informations sur cette prémisses ")
```

5.4) FONCTION ENSEIGNANT : (probl)

appel : (probl)

Cette fonction est le point d'entrée du système pour l'enseignant. A l'appel de cette fonction, le programme enchaîne les fonctions suivantes:

(1) (service-ens) , () : fonction de service pour l'enseignant.

Le Système d'Acquisition de Problèmes
à votre service

Pour créer un problème, il suffit de répondre aux questions qui vous seront posées. Cependant, quelques remarques :

1. Le nom d'un problème est sous-forme : op1,op2,...
2. On simule une entreprise particulière : DUVAL
3. Le résultat du questionnaire suivant est un document

TAPER N'IMPORTE QUEL CARACTERE POUR CONTINUER :

(2) (type-probleme) : image du document. Ce dernier est constitué de zones:

```
(zone1 ((entete)(numero)(doit)(mode-reglement)...))
(zone2 ((reduction).....))
(zone3 ((escompte).....))
(zone4 ((majoration).....))
(zone5 ((total-a-payer)...))
```

Les différentes variables de chaque zone servent de questionnaire: elles seront instanciées lors du dialogue. Le document final engendré sera alors le problème (pb) à poser.

(3) (afficher pb) : afficher le problème (document)

- (4) (det-faits pb) : détermination des faits (initiaux) liés au problème

- (5) (det-type-flux pb) : détermination des types de flux (faits complémentaires)

- (6) (ajout_pb lfacts) : mise à jour du fichier des problèmes (ajout du problème
----- et des faits)
- (7) (resolution) , () : résolution du problème posé

Cette fonction enchaîne les fonctions de résolution de problèmes .
A savoir: Acquisition des réponses, chaînage arrière, justification...
- (8) (finop) : passage ou non à d'autres opérations .

5.5) FONCTION UTILISATEUR : (service)

5.5.1) APPEL

appel : (service)

C'est le point d'entrée pour un utilisateur inconnu du système. Cette fonction utilise le moteur d'inférences nu. Nous donnons deux exemples de fonctionnement sur des bases de connaissances différentes de celle de la comptabilité.

5.5.2) EXEMPLE 1 : LA CLIMATOLOGIE

Supposons qu'on veuille déterminer le type de climat d'une région donnée.

5.5.2.1) BASE DE CONNAISSANCES "CLIMAT"

Pour des raisons de présentation, cette base est incomplète:

```
(R01( ((climat est chaud)(pluie toute annee)(pluie-an > 1.5M)
      (non-presente 2-maxima))
      ((climat est mousson))))
(R02( ((climat est chaud)(pluie-an > 1.5)(non-presente 2-maxima))
      ((climat est mousson))))
(R03( ((climat est chaud)(pluie toute annee)(pluie-an > 1.5M)
      (presente 2-maxima))
      ((climat est equatorial))))
```

```
(R04( ((climat est chaud)(pluie-an > 1.5M)(presente 2-maxima))
      ((climat est equatorial))))
(R05( ((climat est chaud)(climat est pluvieux)(non-pluie toute annee)
      ((climat est tropical-humide))))
(R06( ((climat est chaud)(climat est non-pluvieux)
      (climat a pluies-regulieres))
      ((climat est tropical-sec))))
(R07( ((climat est chaud)(climat est non-pluvieux)
      (climat a pluies-regulieres))
      ((climat est desertique))))
(R08( ((climat est tempere)(climat a hiver-doux)
      (moy-temp-hiver < 7-degrees)(ete est pluvieux))
      ((climat est subtropical-humide))))
(R09( ((climat est tempere)(climat a hiver-doux)
      (moy-temp-hiver < 7-degrees)(ete est non-pluvieux))
      ((climat est oceanique))))
(R10( ((climat est tempere)(climat a hiver-doux)(climat a ete-sec))
      ((climat est mediterraneen))))
(R11( ((climat est tempere)(climat a hiver-non-doux)(climat est non-pluvieux))
      ((climat est continental))))
(R12( ((climat est tempere)(climat a hiver-non-doux)(climat est pluvieux))
      ((climat est polaire))))
(R15( ((moy-temp-an <= 20-degrees))
      ((climat est non-chaud))))
(R18( ((climat est non-chaud)(moy-temp-hiver >= -15-degrees))
      ((climat est tempere))))
(R20( ((moy-temp-hiver > 0-degre))
      ((climat a hiver-doux))))
(R23( ((climat a saison-seche-ete))
      ((climat a ete-sec))))
(R25( ((moy-temp-hiver > 0-degre))
      ((moy-temp-hiver >= -15-degrees))))
(R27( ((moy-temp-hiver > 7-degrees))
      ((moy-temp-hiver > 0-degre))))
```

5.5.2.2) DIALOGUE : Application du chaînage avant

Script started on Tue Jul 9 10:16:10 1985
% lelisp

**** Nouvelle version 15 (installée le 15.02.85)
**** zone flottants = 6145

***** Le_Lisp (by INRIA) version 15 (31/Decembre/84) °vaxunix\$
= Systeme standard compile avec editeur avec environnement avec compilateur
? (load modic.ll)
= modic.ll

? (service)

```

-----
      MEDIAN a votre service ....
1. Si vous avez une base de connaissances deja creee :
   FAITES : (load 'nombaseconn.ll)
             (init) : donner le but a demontrer
             (avant) ou (arriere) selon les cas
2. Si vous voulez resoudre un probleme particulier :
   FAITES : (init-pb)
             (avant) ou (arriere) selon les cas
3. Si vous voulez poser un probleme :
   FAITES : (probl)
-----

? (load climat.ll)
= climat.ll

? (init)

DONNEZ VOTRE BASE DE FAITS s.v.p.
? ((moy-temp-an <= 20-degrees)(moy-temp-hiver > 7-degrees)
? (climat a saison-seche-ete))

? (avant)

-----
DONNEZ LE BUT S.V.P. ----->
? (climat est semi-continental)
-----

---> GOAL = (climat est semi-continental)
---> but a demontrer : (climat est semi-continental)

=====
DES 2 CHOSES L'UNE :
      OU BIEN : LA BASE DE CONNAIS. EST INCOMPLETE
      OU BIEN : T'ES HORS SUJET
---> MOI, je ne suis arrive qu'a inferer le sous-but :
      (climat est mediterraneen)
=====

=====
      FIN DE L'OPERATION EN COURS

---> Justification de la reponse, tapez : 1
      Donner un autre but , tapez : 2
      Pour continuer la session, tapez : 3
      Avoir la solution, tapez : 4
      Pour s'arreter , tapez : 5
=====
a toi --->
? 1

```

```

=====
      OK. Appelez alors la fonction :
      ----- (pourquoi No) <-----
=====

? (pourquoi)
--> PARCEQUE LA REGLE r10 STIPULE QUE :
SI
  1 : (climat est tempere)
  2 : (climat a hiver-doux)
  3 : (climat a ete-sec)

ALORS : ((climat est mediterraneen))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA REGLE r18 STIPULE QUE :
SI
  1 : (climat est non-chaud)
  2 : (moy-temp-hiver >= -15-degrees)

ALORS : ((climat est tempere))

? (pourquoi)
--> PARCEQUE LA REGLE r20 STIPULE QUE :
SI
  1 : (moy-temp-hiver > 0-degre)

ALORS : ((climat a hiver-doux))

? (pourquoi)
--> PARCEQUE LA REGLE r23 STIPULE QUE :
SI
  1 : (climat a saison-seche-ete)

ALORS : ((climat a ete-sec))

? (pourquoi)
--> PARCEQUE LA REGLE r15 STIPULE QUE :
SI
  1 : (moy-temp-an <= 20-degrees)

ALORS : ((climat est non-chaud))

? (pourquoi)
--> PARCEQUE LA REGLE r20 STIPULE QUE :
SI
  1 : (moy-temp-hiver > 0-degre)

ALORS : ((climat a hiver-doux))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA REGLE r27 STIPULE QUE :

```

```

SI
  1 : (moy-temp-hiver > 7-degres)

ALORS : ((moy-temp-hiver > 0-degre))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA PREMISSE APPARTIENT A LA BASE DES FAITS
    et MES CONNAISSANCES S'ARRETERENT LA .....

=====
      FIN DE L'OPERATION EN COURS
=====

--> Justification de la reponse, tapez      : 1
      Donner un autre but , tapez          : 2
      Pour continuer la session, tapez      : 3
      Avoir la solution, tapez              : 4
      Pour s'arreter , tapez                : 5
=====
a toi --->

? 5
=====
I      AU      REVOIR      et      I
I      a bientôt sur MEDIAN .....I
=====

Que Le_Lisp soit avec vous.
% ^D
script done on Tue Jul 9 10:21:38 1985
-----

```

5.5.3) EXEMPLE 2 : LA CLASSIFICATION DES ANIMAUX

5.5.3.1) BASE DE CONNAISSANCES "BASE-ZOO"

```

(R01( ((animal)(a-des-pois))
      ((mammifere))))
(R02( ((animal)(donne-du-lait))
      ((mammifere))))
(R03( ((animal)(a-des-plumes))
      ((oiseau))))
(R04( ((animal)(vole)(pond-des-oeufs))
      ((oiseau))))
(R05( ((mammifere)(mange-de-la-viande))
      ((carnivore))))
(R06( ((mammifere)(a-des-dents-pointues)(a-des-griffes))
      ((carnivore))))
(R07( ((mammifere)(a-des-sabots))
      ((ongulide))))
(R08( ((mammifere)(rumine))

```

```

      ((ongulide))))
(R09( ((carnivore)(a-une-couleur-fauve)(a-des-taches-noires))
      ((guepard))))
(R10( ((carnivore)(a-une-couleur-fauve)(a-des-stries-noires))
      ((tigre))))
(R11( ((ongulide)(a-de-longues-pattes)(a-un-long-cou)(a-une-couleur-fauve)
      (a-des-taches-noires))
      ((girafe))))
(R12( ((ongulide)(est-blanc)(a-des-stries-noires))
      ((zebre))))
(R13( ((oiseau)(ne-vole-pas)(a-de-longues-pattes)(a-un-long-cou)
      (est-blanc)(est-noir))
      ((autruche))))
(R14( ((oiseau)(ne-vole-pas)(nage)(est-blanc)(est-noir))
      ((pingouin))))
(R15( ((oiseau)(vole-bien))
      ((albatros))))

```

5.5.3.2) DIALOGUE : Application du chaînage arrière

```

Script started on Tue Jul 9 13:38:57 1985
% lelisp

```

```

**** Nouvelle version 15 (installée le 15.02.85)
**** zone flottants = 6145

```

```

***** Le_Lisp (by INRIA) version 15 (31/Decembre/84) ^vaxunix$
= Systeme standard compile avec editeur avec environnement avec compilateur
? (load modic.ll)
= modic.ll

```

```

? (load base-zoo.ll)
= base-zoo.ll

```

```

? (init)

```

```

DONNEZ VOTRE BASE DE FAITS s.v.p.
? ((mammifere)(a-des-sabots)(est-blanc)(a-des-stries-noires))

```

```

? (arriere)

```

```

-----
DONNEZ LE BUT S.V.P. ----->
? (zebre)
-----

```

```

---> goal : (zebre)

*****
-OK . SOLUTION JUSTE
*****

=====
      FIN DE L'OPERATION EN COURS
=====

--> Justification de la reponse, tapez      : 1
      Donner un autre but , tapez          : 2
      Pour continuer la session, tapez      : 3
      Avoir la solution, tapez              : 4
      Pour s'arreter , tapez                : 5
=====
a toi --->
? 1

=====
      OK. Appelez alors la fonction :
      ----> (pourquoi No) <-----
=====

? (pourquoi)
--> PARCEQUE LA REGLE r12 STIPULE QUE :
SI
  1 : (ongulide)
  2 : (est-blanc)
  3 : (a-des-stries-noires)

ALORS : ((zebre))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA REGLE r07 STIPULE QUE :
SI
  1 : (mammifere)
  2 : (a-des-sabots)

ALORS : ((ongulide))

? (pourquoi 1)
--> PARCEQUE LA PREMISSE APPARTIENT A LA BASE DES FAITS
      et MES CONNAISSANCES S'ARRETERENT LA .....

Que Le_Lisp soit avec vous,
% ^D
script done on Tue Jul 9 13:41:27 1985

```

5.6) LE MOTEUR D'INFERENCES

5.6.1) STRATEGIE DE CONTROLE ET RESOLUTION DE CONFLIT

5.6.1.1) INTRODUCTION

La plupart des systèmes à règles de production utilisent la même structure de contrôle, à savoir un cycle à 3 temps:

- a) identification des règles candidates
- b) choix d'une règle (résolution de conflit)
- c) application de la règle choisie

La stratégie que nous utilisons est la méthode en "profondeur d'abord" dans le cas du chaînage arrière, et la méthode en "largeur d'abord" dans le cas du chaînage avant (NILSON-71), (KOWALSKI-79).

5.6.1.2) CYCLES

a) Identification des règles

L'opération de base est l'appariement (pattern-matching):

- d'une prémisse ou d'une conclusion (règle)
- d'un fait ou d'un but (base des faits)

b) Choix d'une règle

On utilise un régime irrévocable: le choix porte sur la première règle rencontrée.

c) Application de la règle

On met à jour la base des faits par:

- Ajout d'un nouveau fait (chaînage avant)
- Ajout d'un nouveau but (chaînage arrière)

5.6.2) DES ALGORITHMES

5.6.2.1) CHAINAGE ARRIERE. FONCTIONS : (arriere) et (chain-arr)

VARIABLES LIEES : -1 : liste des règles compilées de la B.C.
 -bfaits : base de faits

(1) APPEL : (arriere)

```

-----
si  cod-compta = 0          ; Pour la comptabilité, cod-compta=1
  alors lire (goal)
  sinon lire (d/c)          ; Le but en compta est sous-forme:
    lire (goal)            ; (deb/cred compte) ==> 2 buts

    mis-a-jour (bfaits goal) ; Ajout des faits liés au problème
    chain-arr (1 bfaits d/c) ; résoudre le pb (debit) ou (credit)

linfer = nil                ; Initialisation de la chaîne
                                ; d'inférences
chain-arr (1 bfaits goal)   ; Résoudre le problème donné

finop                       ; Suite des opérations
  
```

(2) APPEL : (chain-arr 1 bfaits goal)

```

-----
lbar = nil                  ; Liste des buts à résoudre
empiler(lbar,goal)          ; Goal: 1er but à résoudre
fin = faux                  ; Booléen d'arrêt de résolution
tant-que (non fin) et (lbar <> nil)
faire
  but = depiler(lbar)       ; But: sous-but à résoudre
  reg-choisie = nil         ; Règle à choisir
  l-reg-cand = nil          ; Liste des règles candidates
  determiner-reg-cand (but)  ; Déterminer les règles candidates
  choix-reg-arr (bfaits cod-compta) ; Choisir une règle
  si appartient(consequent(reg-choisie),but) ; Si but appartient à la conclusion
    alors majlinfer(linfer,but) ; Ajout du but à linfer
      majbf (bfaits,but) ; Ajout but à bfaits
      empiler(lbar,premise(reg-choisie)); Prémisses deviennent sous-buts
      fin=FRESOL(lbar,bfaits) ; Voir si le but initial est soluble
    sinon fin=FINSOL(lbar,bfaits) ; Voir si le noeud est insoluble
    ; si noeud insoluble, pas de retour
  ; arriere
ffaire
  
```

```

si (fin) et (lbar=nil)
  alors ecrire('Ok, solution juste')
  sinon ecrire('Je n'arrive pas à démontrer le but :',but)
  
```

(c) DEFINITIONS DES NOEUDS SOLUBLES ET INSOLUBLES

Les définitions de noeuds solubles et insolubles sont récursives.

1) FONCTION FRESOL(LBAR):BOOL

Cette fonction permet d'étiqueter les noeuds solubles. La définition des noeuds solubles est la suivante:

- les noeuds terminaux (prémisses appartenant à la base de faits) sont solubles;
- un noeud non terminal avec des successeurs OU est soluble si et seulement si un de ses successeurs est soluble;

exemple :

```

-----
a,b---->c      FAITS : a,b
d---->c

      c
      |
      'ou'
      |
      'et' *      * : insoluble
      |  d
      |
      a    b
  
```

- un noeud non terminal avec des successeurs ET est soluble si et seulement si tous ses successeurs sont solubles.

2) FONCTION FINSOL(LBAR):BOOL

Cette fonction permet d'étiqueter des noeuds insolubles qui sont définis comme suit:

- un noeud non terminal et sans successeurs est insoluble (prémisses demandables);
- un noeud non terminal avec des successeurs "OU" est insoluble si et seulement si tous ses successeurs sont insolubles;
- un noeud non terminal avec des successeurs "ET" est insoluble si et seulement si un de ses successeurs est insoluble.

5.6.2.2) CHAINAGE AVANT. FONCTIONS : (avant) et (chain-avant)

VARIABLES LIEES : -1 : liste des règles compilées de la B.C.
 -bfaits : base de faits
 -lactions : liste des actions de la B.C.
 (pour BCD, lactions = nil)

(1) APPEL : (avant)

```

si code-compta = 0
  alors lire (goal)
  sinon lire (d/c)
    lire (goal)
    chain-arr (1 bfaits d/c)          ; Pour (debit) ou (credit),
                                      ; appliquer chaînage arrière
linfer = nil                          ; Chaîne d'inférences
newg = nil                            ; but à inférer par chain-avant
fin = false                           ; test d'arrêt pour chain-avant
chain-avant (1 bfaits newg lactions)

si newg = goal                        ; si but déduit = but donné
  alors ecrire ('Ok! but démontré ==> solution juste')
  sinon ecrire ('Votre réponse est hors sujet')

finop                                ; suite des opérations

```

(2) APPEL : chain-avant (1 bfaits newgoal lactions)

```

si (non fin)
alors
  choixreg (1 bfaits)                ; Détermination des règles candi-
                                      ; dates et choix d'une règle

  confirme (reg-choisie)              ; Confirmation de la partie conc-
                                      ; lusion de la règle choisie
                                      ; résultat: newgoal (nouveau but)

  majlinfer (linfer,premise(reg-choisie)) ; Mise à jour: liste d'inférences
  majbf (bfaits,newgoal)              ; Mise à jour: base de faits

  si appartient (lactions,newgoal)    ; Si nouveau but est une action
  ou si vide (1)                      ; Si aucune règle à appliquer
  ou si newgoal = goal                 ; Si nouveau but = but donné
    alors fin = vrai
    sinon supprimerreg                ; Suppression de la règle choisie

```

5.6.2.3) CHAINAGE BIDIRECTIONNEL

Le chaînage bidirectionnel est effectué en appliquant d'abord le chaînage avant puis le chaînage arrière.

```

- avant                               ; Application du chaînage avant
- si non atteint (goal)               ; Si but donné non démontré
  alors chain-arr (1 bfaits goal)      ; Appel de chain-arr avec :
                                      ; -goal : but donné
                                      ; -bfaits : base de faits mise à
                                      ; jour lors du chaînage avant

```

REMARQUE : Ce mode de résolution n'est pas encore appliqué dans notre système.

5.6.3) QUELQUES CAS A RESOUDRE

CAS-1 : RETOURS ARRIERES ET RECURSIVITE

p2,p3----->p4
p4----->p3

FAITS: p2
PB. : p3

```

p3<-----I
I          I
I          I
V          I
p4         I
','        I
'et
,
p2

```

SOLUTION : On a prévu un algorithme qui permet de vérifier la fermeture transitive, à l'état statique (lors de l'acquisition des règles).

CAS-2 : SYSTEMES OUVERTS

(a) p1,p2----->p4
p4----->p3

FAITS: p2
pb. : p3

```

      p3
      I
      I
      , \
      'et \
      *
      p1  p2

```

* : insoluble

SOLUTION : DEMANDE(p1)

(b) p1,p2---->p4
p4---->p3
p5---->p3

FAITS: p5
PB. : p3

```

      p3
      , \
      'ou \
      p4  p5
      , \
      'et \
      *
      p1  p2

```

* : insoluble

SOLUTION : inutile DEMANDE(p1,p2) ==> choisir p5

CAS-3 : NOEUD INITIAL INSOLUBLE - BUT INEXISTANT

```

      p1,p2---->p4
      p3---->p2

```

FAITS:
PB. : p3

```

      p3
      I
      I
      *

```

SOLUTION : APPEL(auteur)

CAS-4 : UN CHOIX

p1---->p3

```

      p2---->p3
      p4,p5---->p1
      p6,p2---->p5
      p7,p8---->p2

```

FAITS: p4,p6,p7,p8
PB. : p3

```

      p3
      , \
      C1''ou`C2
      , \
      p1  p2 <=====II
      , \ , \ II
      'et` ,ou` II
      , \ , \ II
      p4  p5 p7 p8 II
      'et`=====II
      p6

```

'' : C1
' : C2

SOLUTION : Faut-il choisir C1 ou C2 ?

5.7) CONCLUSION

L'Agence de l'Informatique nous ayant prêté un ordinateur SM 90 pour la réalisation pratique de ce système, cela a induit des choix d'implantation.

Après avoir défini notre problème (formalisation des domaines, besoins de l'application), la question que nous nous sommes posée est: faut-il écrire un moteur d'inférences ou en choisir un qui répond à notre problème ? ou, plus précisément, existe-t-il UN moteur d'inférences qui puisse supporter les DEUX domaines d'application (comptabilité et pédagogie) ?

La réponse est "non", du fait que le premier domaine se contente d'un moteur d'ordre zéro et que le second nécessite un moteur avec variables.

Pour des raisons de validation de nos règles, on en a écrit un sans variables, applicable pour les deux domaines, en transformant les règles du second domaine sous forme de propositions. Cette transformation a eu pour effet, bien sûr, de faire perdre au "pédagogue" la puissance désirée.

5.8) UTILISATION DE TANGO

Dans la suite du projet MEDIAN, nous comptons utiliser le moteur d'inférences TANGO (développé au L.R.I. d'ORSAY) pour implanter notre "pédagogue".

TANGO possède un certain nombre de caractéristiques intéressantes pour notre application:

- le langage associé permet l'utilisation de variables,
- la possibilité d'actions dans les règles donne au système la propriété d'être un "système ouvert", c'est à dire que la solution du problème passe par le déclenchement effectif des règles actions,
- déclenchement des règles en chaînage avant.

Dans ce qui suit, nous allons essayer d'exprimer les règles du "pédagogue" dans un formalisme proche des règles de TANGO.

a) structure des règles

Les règles sont structurées de la manière suivante (les parties entre parenthèses sont facultatives):

```
Rident si < ensemble de conditions >
      (et non < ensemble de conditions négatives >)
      (et si < ensemble de conditions évaluées >)
      alors < ensemble de conclusions > *
```

ou la variante suivante:

```
Rident si < ensemble de conditions >
      (et non < ensemble de conditions négatives >)
      ( et si < ensemble de conditions évaluées >)
      essayer < action >
      pour < ensemble de conclusions > *
```

Remarques:

- les conditions négatives sont placées avant les conditions évaluées,
- les conditions évaluées sont des conditions booléennes,
- il ne peut y avoir qu'une action par règle,
- le nombre de conditions et de conclusions est quelconque,
- "pour" permet de récupérer de nouveaux faits
- "pour" et "alors" sont des mots clés équivalents,
- "essayer" introduit des actions qui sont des procédures externes au moteur pouvant affirmer de nouveaux faits (fonctions Lelisp).

b) les termes

Un terme est l'expression d'une condition, d'une conclusion ou d'une action. Il s'agit d'une relation n-aire du type:

(relation arg1 ... argn)

où relation représente le nom atomique de la relation et argi ses arguments.

- l'arité de la relation est quelconque,
- les arguments peuvent être soit des constantes, soit des variables (identificateurs atomiques précédés de "?").

c) exemples d'application

Le passage des règles informelles énoncées en 3.4.4 au formalisme TANGO est facile. Il faut cependant opérer quelques transformations puisque TANGO ne permet pas l'utilisation de plusieurs actions. Dans ce qui suit nous nous limiterons à quelques exemples:

règle générale

On décompose cette règle en autant de règles que d'opérations (?). Exemple:

```
RS1-1 : si (nom ?apprenant)
          et si (note ?n)
          et si (= ?n 1)
          et si (derop ?o)
          et si (= ?o comptant)
          essayer (appliquer-RP1 ?apprenant ?n ?o)
          pour (etat ?e)(derop ?o)(derpb ?d) *
```

Cette règle peut être interprétée de cette manière: "si l'apprenant en cours de session a répondu juste au dernier problème (note = 1) qui lui a été posé et si l'opération en cours est celle d'achat-vente au comptant, alors essayer d'appliquer les règles de passage de l'opération "comptant" à l'opération "crédit". Si cette action est déclenchée, permettre à l'apprenant de poser son propre problème".

En effet, on doit prévoir dans l'action "appliquer-RP1" la possibilité pour l'apprenant de poser son problème (fonction PROBL).

Dans "pour", on veut récupérer les faits modifiés dans le PROFIL.

passage d'une opération à l'autre

Prenons comme exemple la règle RP1:

```

RP1 : si (derop ?d)
      et si (= ?d comptant)
      et si (score ?s)
      et si (> ?s 2)
      et si (nbpb ?nbp)
      et si (<= ?nbp 4)
      essayer (execute-op ?apprenant ?d)
      pour (etat comptant)(derop credit)(derpb ?x) *

```

Cette règle s'interprète de la même manière que précédemment. Dans l'action "execute-pb", on génère un problème relevant de l'opération "achat-vente à crédit" et on met à jour la base de faits.

```

RP2 : si (derop ?d)
      et si (= ?d credit)
      et si (score ?s)
      et si (> ?s 6)
      et si (nbpb ?nbp)
      et si (>= ?nbpb 7)
      et si (etat ?e)
      et si (= ?e comptant)
      essayer (execute-op ?apprenant credit)
      pour (etat credit)(derop majoration)(derpb ?x) *

```

Les autres règles de passage d'une opération à l'autre, à savoir RP3, RP4, RP5, RP6 et RP7, suivent le même formalisme. Cependant, la règle RP7 est une règle spéciale parce qu'elle représente la fin d'apprentissage dans le domaine (objectif pédagogique atteint). Ce cas n'est pas encore traité.

```

RP7 : si (derop ?d)
      et si (= ?d escompte)
      et si (score ?s)
      et si (>= ?s 26)
      et si (nbpb ?nbp)
      et si (= nbp 28)
      et si (etat ?e)
      et si (= ?e escompte)
      essayer (domaine ?apprenant ?dom) *

```

erreurs internes

Considérons la règle relative à l'erreur interne "bien non durable" (BND):

```

RI1 : si (erreur-interne ?x)
      et si (<= ?x BND)
      et si (derop ?d)
      et si (derpb ?y)
      essayer (poser ?x ?d ?y)
      pour (nbop ?z)(note 0)(derpb ?y) *

```

Interprétation: "si l'apprenant, pendant une opération courante, n'a pas compris le concept "bien non durable" alors lui proposer un autre problème relevant de l'opération en cours".

erreurs locales

Soit la règle RL1:

```

RL1-1 : si (solution ?x)
        et si (<= ?x BND)
        et si (erreur-locale ?y)
        et si (<= ?y CONS)
        essayer (appliquer RI2 ?y)
        pour (derop ?d)(derpb ?pb) *

```

Si l'erreur de l'apprenant se situe au niveau du concept "consommation", alors lui poser un problème véhiculant ce concept (règle RI2) et lui poser ensuite un problème véhiculant le concept valide, à savoir "bien non durable".

On remarque que chaque règle énoncée plus haut (erreurs locales) doit être transformée en trois règles (afin de déterminer le type de règle "erreurs internes" à appliquer).

De la même manière on transforme les règles relatives aux "erreurs globales".

CONCLUSION

Au travers de cette conclusion, nous voudrions:

- tout d'abord, rappeler les idées principales et présenter les perspectives d'utilisation du travail réalisé,
- ensuite, esquisser quelques perspectives de développement que nous envisageons comme suite à ce travail.

Tout ceux qui, un jour ou l'autre, ont eu à enseigner, savent que la pédagogie n'est pas une tâche aisée. Même si elle se transforme, elle ne le sera pas davantage avec les moyens dont nous disposons déjà et ceux que le progrès nous permet d'envisager pour demain.

Dans ce travail, nous avons décrit et réalisé les principales fonctions d'un système d'enseignement intelligemment assisté par ordinateur. Ce travail étant pluridisciplinaire, j'espère que les "experts" m'ont pardonné les erreurs et omissions concernant telle ou telle partie.

L'approche Partenaire de Résolution de Problèmes (PRP) nous a permis de mettre en relief trois unités conceptuellement indépendantes qui ont pour but:

- de comprendre des énoncés de problèmes,
- de résoudre des problèmes,
- d'en proposer de nouveaux et de justifier les solutions émises par les apprenants ou inférées par le résolveur de problèmes.

Les bénéfices de cette approche sont multiples:

- grâce à des objectifs pédagogiques adaptés à chaque apprenant, cette approche donnera au travail des apprenants une grande efficacité. Ces derniers seront plus motivés et apprendront à avoir l'esprit critique, du fait qu'ils pourront contester les affirmations émises par le système,

- on redoute souvent que l'automatisation de l'enseignement ne rende le travail de l'enseignant superflu. Au contraire, cette approche suppose de sa part un travail plus hautement qualifié. En effet, il dispose d'un assistant expert en résolution de problèmes aussi sûr et constant dans ses raisonnements que capable de s'adapter à de nouvelles situations, puisqu'en modifiant quelques molécules de connaissances, l'enseignant, sans qu'il soit auteur, peut adapter le didacticiel à ses besoins,

- cette approche offrira, sans aucun doute, des possibilités supplémentaires au travail créateur des auteurs.

Notre but à court terme, est de montrer qu'on peut regrouper dans le système DIANE:

- la plupart des fonctions de l'éditeur fonctionnel,
- un éditeur de "bases de connaissances" commun si possible à différentes disciplines,
- un PRP collaborant avec l'interprète pour l'exécution des didacticiels.

Nous avons soulevé beaucoup de problèmes allant du transfert d'expertise jusqu'à l'implantation d'un système à bases de connaissances et proposé quelques voies de solutions à ces problèmes.

Si la compréhension des énoncés de problèmes et leur résolution bénéficient des recherches faites dans les disciplines de la science de la cognition, la modélisation de la pédagogie est encore peu explorée. Des recherches en psychologie cognitive, en intelligence artificielle et dans les sciences de l'éducation doivent être engagées, ensemble, dans ce domaine.

ANNEXE

UN MINI PEDAGOGUE

1) LA STRATEGIE PEDAGOGIQUE

La STRATEGIE-PEDAGOGIQUE est décrite sous forme de R.P. ordonnées.

- types d'objets :

-ETAT : état courant de l'apprenant (dernier concept acquis)
(c1, c2, c3,)
-SCORE : note avant test : (0,20)
-NBOP : nombre total des opérations (problèmes) exécutées
-DEROP : dernier problème exécuté
(op1, op2, op3,)

- types d'actions :

-STOP : l'apprenant a atteint l'objectif désiré dans le domaine en cours
de session
-op1 : donne l'ordre à MERP d'exécuter le problème op1
-op2 : donne l'ordre à MERP d'exécuter le problème op2
-....

- forme des règles : SI condition (s) ALORS action

Exemple : SI (derop = op5) ET (etat = c1) ALORS op8
Interprétation : Si le dernier problème exécuté par l'apprenant est op5,
Si ce dernier a acquis le concept C1
Alors lui soumettre le problème op8

- exemples de règles

Considérons les règles suivantes:

R1 : si etat = c2 alors stop
R2 : si score > 5 et nbop = 10 alors stop
R3 : si score <= 5 et nbop = 5 alors stop
R4 : si etat = c1 alors op2
R5 : si derop = op2 et score > 5 et nbop > 7 et nbop < 10 alors op2

R6 : si derop = op2 et score <= 5 et nbop > 2 alors op2
 R7 : si derop = opl et score <= 5 et nbop > 2 alors op2
 R8 : si derop = opl et score > 5 alors op2
 R9 : si derop = op2 alors op2
 R10: si alors opl

2) LE PROFIL

Nous n'avons pris en compte comme variables de profil que: SCORE, DEROP, ETAT et NBOP.

Cette base est initialisée de la manière suivante:

```
(ELEV1 (SCORE = 0)
        (DEROP = NIL)
        (ETAT = NIL)
        (NBOP = 0) )
```

```
(ELEV2 (SCORE = 0)
        -----
        -----
        (-----) )
```

```
(ELEV3 (-----) )
```

Où ELEV_i : nom de l'apprenant en cours de session.

3) RESOLUTION

Supposons qu'en cours de session, l'apprenant ELEV5 a le profil:

```
(score = 3)(derop = opl)(etat = nil)(nbop = 3)
```

Par application du chaînage avant, l'expert infère l'arbre suivant:

```
(derop = opl) (score = 3) (nbop = 3)(etat = nil)
```

```

      ,
     , R7 ,
    , ,
   , ,
  , et ,
 , OP2 ,

```

Une fois que le type de problème est inféré, STRATEG donne l'ordre à l'expert en résolution d'exécuter le problème OP2.

4) MISE A JOUR DU PROFIL

- Avant de donner l'ordre à l'expert en résolution d'exécuter le problème, l'expert pédagogue met à jour les objets: (derop) et (nbop)

```
(ELEV3 (score = 3)
        (derop = op2)
        (etat = nil)
        (nbop = 4) )
```

- Une fois que l'apprenant a répondu aux questions, il met à jour les objets: (score) et (etat)

exemple :

```
(ELEV3 (score = 4)
        (derop = op2)
        (etat = cl)
        (nbop = 4) )
```

BIBLIOGRAPHIE

- (ADAM-83) J.P. ADAM, J. FARGUES, J.C. PAGES
BSM Project. The EXPERT SYSTEM
IBM
- (BIPE-81) BIPE
Rapport de synthèse, EAO (2 tomes)
- (BONNET-81a) A. BONNET, G. FAFIOTTE, M. QUERE
Actes de la journées de synthèse sur l'utilisation
des ordinateurs dans l'enseignement, Gif-sur-Yvette
- (BONNET-81b) A. BONNET
Application de l'intelligence artificielle : Les systèmes
experts
RAIRO Informatique, vol. 15
- (BONNET-82) A. BONNET, J. HARRY, J.G. GANASCIA
LITHO, un système expert inférant la géologie du sous-sol
T.S.I., vol 1, No 5
- (BONNET-84) A. BONNET
Système expert et cognitif
Bulletin de liaison de l'INRIA, No 97
- (BOTTINO-85) R.M. BOTTINO et al.
Developing Expert Systems For Education: An Experimental
Project
actes "cognitiva 85. De l'intelligence artificielle aux
biosciences", Paris
- (BOUDJOGHRA-84) A. BOUDJOGHRA, A. MEDVEDEFF, M. QUERE
EAO : Vers un Partenaire de Résolution de Problèmes utilisant
plusieurs experts. Le Projet MEDIAN
Actes colloque "systèmes experts", Avignon
- (BOUDJOGHRA-85) A. BOUDJOGHRA
E.A.O. : Vers des Systèmes à Bases de Connaissances.
Application au projet MEDIAN
Vith Congress "Information Processing And Automatic Control",
Madrid
- (BOUSSARD-82) D. BOUSSARD
Notion de modèle et pédagogie de la comptabilité
Techniques Economiques, No 131
- (BUCHANAN-71) B.G. BUCHANAN, A.M. DUFFIELD, A.V. ROBERTSON
An Application of AI to the Interpretation of Mass Spectra
Mass Spectrometry: Techniques and Appliances, C.W.A.M., WILEY

- (CARBONELL-70) J. CARBONELL
A.I. in C.A.I. : An Artificial Intelligence approach to
computer assisted instruction
IEEE Transactions on man-machine systems, vol MMS-11
- (CARTON-85) J.L. CARTON
Acquisition interactive de règles pour un système à base
de connaissances
Rapport de DEA, CRIN, NANCY 1
- (CORDIER-84a) M.O. CORDIER, M.C. ROUSSET
TANGO : Moteur d'inférences pour un système expert avec
variables.
Actes colloque "reconnaitances des formes et intelligence
artificielle", AFCET, Paris
- (CORDIER-84b) M.O. CORDIER
Les systèmes experts
La recherche No 151
- (COULON-72) D. COULON, D. KAYSER
Analyse de réponses rédigées en français courant pour une
réalisation d'enseignement programmé
R.A.I.R.O.
- (COULON-74) D. COULON
Construction d'un modèle informatique pour interpréter
des énoncés
Thèse de doctorat ès sciences, I.P. de Paris
- (COULON-81) D. COULON, D. KAYSER
Utilisation des techniques de raisonnement à profondeur
variable dans un système de réponse aux questions
Actes colloque "systèmes experts", Avignon
- (DIANE-82) ADI
Projet DIANE, manuel de l'utilisateur
SERMAP
- (ECRIN-82) Rapport ECRIN
Spécification des fonctionnalités d'un système d'EAO
CRIN, université de NANCY 1
- (EPI-84) Systèmes experts et enseignement
Association Enseignement Public et Informatique, no spécial
- (FAY-84) C. FAY, M. QUERE
Vers l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur:
comprendre, résoudre et expliquer un problème.
Journal de l'EAO et de la Formation Continue, juillet
- (FORGY-81) C.L. FORGY

- OPSS user's manual
Carnegie-Mellon University
- (GRUMBACH-84) A. GRUMBACH
Vers un modèle de processus d'apprentissage
Actes colloque "les modes de raisonnement", A.R.C.
- (HARTLEY-80) R. HARTLEY
Computer assisted learning
Human interaction with computers,
H.T. SMITH and T.R.G. CREEN, ACADEMIC PRESS
- (JEROME-81) P. JEROME
Simulation applied to teaching of experimental sciences.
WCCE, part1, North-Holland
- (KAYSER-81) D. KAYSER
Une méthode simple : Les ATN sémantiques
Actes 3eme congrès "reconnaissance des formes et intelligence
artificielle", Nancy
- (KOWALSKI-79) R. KOWALSKI
Logic for problem solving
The Computer Science Library
- (LANG-84) B. LANG, G. KHAN, P. SIMON, P. LUDEAU, G. LATGE
L'EAO : Un domaine d'application du génie logiciel ?
Actes colloque "EAO 84", Lyon
- (LAURENT-84) J.P. LAURENT
Les moteurs de systèmes experts : Typologie, comparaisons et
guide du concepteur
Actes colloque "systèmes experts", Avignon
- (LAURIERE-81) J.L. LAURIERE, A. PERROT
Représentation et utilisation des connaissances dans
l'industrie pétrolière
Actes colloque "systèmes experts", Avignon
- (LAURIERE-84) J.L. LAURIERE
Un moteur d'inférences pour systèmes experts en logique du
premier ordre : SNARK
Bulletin de liaison de l'INRIA, no 97
- (LENAT-81) D.B. LENAT
Eurisko : a program that learns new heuristics and domain
concepts
Artificial Intelligence journal, vol 21, no 1,2
- (LE NY-75) J.F. LE NY
Le conditionnement et l'apprentissage
PUF

- (LETTRE-85) Lettre Intelligence Artificielle, no 4
CESTA/SELF/INRP
- (LUCCI-84) A. LUCCI
Programmation en logique en enseignement assisté par ordinateur
Actes colloque "EA084", LYON
- (MARTELLI-80) A. MARTELLI, U. MONTANARI
An efficient unification algorithm
Pisa, Italy
- (Mc CORDUCK-79) P. Mc CORDUCK
Machines who think
W.H. Freeman and Company
- (MEDIAN-84) A. BOUDJOGHRA, A. MEDVEDEFF, M. QUERE
Projet MEDIAN : Spécification
Rapport interne CRIN , no 84-R-102
- (MERRILL-79) D. MERRILL
Learner control in computer based learning
Computer And Education, vol 4
- (MIALARET-79) G. MIALARET
Les sciences de l'éducation
PUF
- (MONTMOLLIN-75) G. de MONTMOLLIN
Enseignement programmé
PUF
- (NEWELL-69) A. NEWELL, G.W. ERNST
GPS : A Case Study in Generality and Problem Solving
Academic Press
- (NILSON-71) J. NILSON
Problem solving methods in artificial intelligence
Computer Sciences Series
- (O'SHEA-79) T. O'SHEA
Rule-Based Computer Tutors
Expert Systems In Micro-electronic Age
Donald Michie
- (OTAN-68) Colloque de l'OTAN, Bruxelles
Enseignement programmé
DUNOD
- (PAPERT-70) S. PAPERT
Teaching children programming
IFIP conference on Computer Education, Amsterdam,

- North Holland
- (PEROCHON-82) C. PEROCHON
Comptabilité Générale
T.Q.J.
- (PEUCHOT-70) M. PEUCHOT
langage Course Writer
E.A.O., IBM
- (PIERREL-81) J.M. PIERREL
Etude et mise en oeuvre des contraintes linguistiques en compréhension automatique du discours continu
Thèse de Doctorat ès-sciences mathématiques, Nancy I
- (PITRAT-82) J. PITRAT
Les connaissances déclaratives
Actes colloque "utilisation des connaissances déclaratives"
publication groupe de recherche 22, Le Mans
- (QUERE-80) M. QUERE
Contribution à l'amélioration des processus d'enseignement, d'apprentissage et d'organisation de l'éducation. L'ordinateur outil et objet de formation. Application au projet SATIRE.
Thèse de doctorat d'état, université de NANCY 1
- (QUERE-85) M. QUERE
Expert Systems : Towards CAI of the future ?
WCCE 85, Norfolk
- (SCHANK-75) R.C. SCHANK
Conceptual Information Processing.
Fundamental Studies in Computer Science, vol 3
North Holland/American Elsevier
- (SIMON-84) H.A. SIMON
L'unité des arts et des sciences : La psychologie de la pensée et de la découverte
AFCET/INTERFACE
- (SOWA-84) J.S. SOWA
Conceptual structures. Information processing in mind and machine
The Systems Programing Series
- (VAN MELLE-81) W.J. VAN MELLE
System Aids in Constructing Consultations Programs
UMI Research Press
- (WEIZENBAUM-66) J. WEIZENBAUM
ELIZA-A Computer Program For the Study of Natural Language Communication Between Man And Machine

bibliographie

6

- Communications of the ACM, vol.9, number 1
- (WINOGRAD-72) T. WINOGRAD
Understanding Natural Language
Academic Press New York and London
- (WINSTON-77) P.H. WINSTON
Artificial Intelligence
M.I.T.
- (WOODS-70) W.A. WOODS
Transition Network Grammar for Natural Language Analysis
Communications of the ACM, vol 13, number 10
- (WOODS-82) W.A. WOODS
Optimal Search Strategie for Speech Understanding Control
Communications of the ACM, vol 18, number 3



institut
national
polytechnique
de lorraine

Le Président,

N/Réf. : Scol.

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE DE DOCTORAT-D'INGENIEUR

VU LE RAPPORT ETABLI PAR :

Madame le Professeur QUERE Maryse

le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine autorise :

Monsieur BOUDJOGHRA Ammar

à soutenir, devant l'I.N.P.L., une thèse intitulée :

CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME A BASES DE CONNAISSANCES.

APPLICATION A L'ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR

en vue de l'obtention du titre de DOCTEUR-INGENIEUR

Spécialité "INFORMATIQUE"

Fait à NANCY, le 3 Septembre 1985

Le Président de l'I.N.P.L.

M. LUCIUS



RESUME

Cette thèse est une contribution à la méthodologie de conception de logiciels d'enseignement intelligemment assisté par ordinateur basés sur la technique des systèmes à bases de connaissances. Elle permet en particulier de mettre en évidence trois entités conceptuellement indépendantes et débouchant chacune sur une expertise:

- la compréhension d'énoncés de problèmes formulés dans le langage de la discipline objet d'apprentissage,
- la résolution de problèmes et la détection des erreurs de l'apprenant par mise en évidence des raisonnements correspondants,
- la justification des raisonnements précédents et le guidage de l'apprenant dans le didacticiel en fonction de l'ensemble de son comportement.

Après avoir présenté l'environnement du travail et défini les objectifs du projet, on décrit pour chaque domaine d'expertise les phases de transfert, de représentation et d'utilisation des connaissances dans une discipline particulière: la comptabilité générale. On termine par la présentation du logiciel réalisé.

MOTS CLES

Enseignement assisté par ordinateur - Expertise - Langage naturel - Modèle comptable - Résolution de problèmes - Stratégie pédagogique - Système à bases de connaissances - Transfert, représentation et utilisation des connaissances.