

وزارة التعليم العالي و البحث
العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de l'ingénieur Année 2003

Département d'Informatique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **MAGISTER**

UN MODELE EXPERT POUR UN SIMULATEUR PEDAGOGIQUE

Option
intelligence artificielle
Par
M^{lle} BENSALÉM HANA

DIRECTEUR DU MEMOIRE :	Mr TAHAR BENSEBAA	CC	Université de Annaba
PRESIDENT :	Mr M. SELLAMI	M.C	Université de Annaba
EXAMINATEURS:	Mr M. T.LASKRI	M.C	Université de Annaba
	Mme H. F.MAROUANI	C.C	Université de Annaba

REMERCIEMENTS

Tout d'abord j'adresse mes remerciements à Mr. T.Bensbaaa, chargé de cours à l'institut d'informatique de l'université de Annaba pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour ses conseils permanents et son dévouement à de nouvelles approches.

Je tiens aussi à remercier Mr. M.Sellami maître de conférence à l'institut d'informatique de l'université de Annaba pour avoir accepté de présider le jury.

Je remercie vivement Mr M.T. Laskri maître de conférence et Mme^e Merouani chargée des cours à l'institut d'informatique de l'université de Annaba d'avoir accepté d'examiner ce travail .

ملخص

ان أهمية استعمال التعليم بمساعدة الحاسوب في الأوساط الصناعية لم تعد مجالاً للنقاش . هذه الأهمية ما تنفك تتزايد باستعمال محاكي بيذاغوجي قادر على وضع المتلقي في توافق شكلي مصور للحقيقة. ان من أهم توابع بناء محاكي بيذاغوجي تأبيد المعرفة والممارسة التي يحتفظ بها الخبير في الميدان. هذا البحث يقدم نظام خبير نواة المحاكي قادر على تشخيص ومعرفة الأعطال بالإضافة الى إعطاء سيناريو للمعالجة. همنا الأكبر كان الأخذ بعين الاعتبار المعرفة بمختلف أنواعها، سطحية أو عميقة، إخبارية أو اجرائية.

ان اكتشاف شكلية لتمثيل المعرفة قادرة على أخذ هذا التنوع بعين الاعتبار هي أحد شروط النجاح المستقبلي للدكاء الاصطناعي.

مهما كانت الشكلية التي نختارها، انه من المهم الإجابة على السؤال-الى أي حد من التفاصيل يجب علينا تمثيل العالم ?

الكلمات الدالة:

محاكي بيذاغوجية، نظام خبير، شكلية لتمثيل المعرفة، تشخيص الأعطال، معرفة إخبارية، معرفة اجرائية.

Abstract

The use of simulation for pedagogical purpose is very interesting. One of the essential repercussions of the construction of a pedagogical simulator is the perpetuation of the 'know' and 'know-how' held by the human experts. This deals with an expert system, 'kernel of the simulator', able to diagnose and detect faults, as well as to describe scenarios of maintenance. Our major concern is to take into account the diversity of the type of knowledge held by human expert, because they tend to be procedural (functional) or declarative, founded on a confirmed theory or a simple experience lived by the expert.

The discovery of knowledge representation formalisms, able to take into account this diversity, is one of the conditions of the future success of the artificial intelligence. Whatever the selected formalism of representation is, we should answer the question 'to which level of details must one go to represent the world?'

Unfortunately, the more the structures of knowledge are complex, the more it is difficult to choose one of them. This difficulty still increases with the next setting in oeuvre. This is really related to the different interactions of this expert system in the architecture of our pedagogical simulator.

Key words:

Pedagogical simulator, knowledge representation formalism, expert system, procedural knowledge, declarative knowledge, faults diagnosis.

Résumé

L'intérêt de l'utilisation de l'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) en milieu industriel n'est plus à démontrer. Cet intérêt est d'autant plus important lorsque cet EAO s'appuie sur un simulateur pédagogique capable de mettre l'apprenant en correspondance formelle imagée avec la réalité. Une des retombées essentielles de la construction d'un simulateur pédagogique est la pérennisation du savoir et surtout du savoir-faire détenus par les experts humains. Ce travail présente un système expert, « noyau du simulateur », capable de diagnostiquer et de détecter des pannes ainsi que de décrire des scénarios de maintenance. Notre souci majeur est de prendre en compte la diversité des types de connaissances détenues par l'expert humain, car elles ont tendance à être procédurales (fonctionnelles) ou déclaratives, fondées sur une théorie confirmée ou une simple expérience vécue par l'expert. La découverte d'un formalisme de représentation de connaissances, susceptible de prendre en compte cette diversité, est l'une des conditions du succès futur de l'intelligence artificielle. Quel que soit le formalisme de représentation que nous choisissons, il est nécessaire de répondre à la question « jusqu'à quel niveau de détails doit-on aller pour représenter le monde ? ».

Malheureusement, plus les structures de connaissances sont complexes, plus il est difficile de d'en choisir une. Cette difficulté s'accroît encore avec la mise en œuvre ultérieure.

Mots clés :

Simulateur pédagogique, Formalisme de représentation de connaissances, système expert, connaissances procédurales, connaissances déclaratives, diagnostic de panne.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE :... ..1

CHAPITRE 1 : Représentation des Connaissances

I. INTRODUCTION :.....3

II. REPRESENTATION DES CONNAISSANCES5

1.DECLARATIF :.....6

1.1. La logique :.....6

1.2. Les réseaux sémantiques :.....8

1.3. Les règles de production :.....10

2. PROCEDURAL :.....11

3. LES OBJETS STRUCTURES :.....11

3.1. Les frames (schèmes).....11

3.2. Les objets.:13

3.3. comparaison.....14

III. DISCUSSION :.....15

CHAPITRE 2 : Raisonnement & aspects de la connaissance

I. INTRODUCTION.....17

II. RAISONNER SUR LES ACTIONS :18

a. Problèmes Lies a la Description des Actions :.....	18
1. <i>Le problème de la ramification</i> :.....	18
2. <i>Le problème de la qualification</i> :.....	19
3. <i>Le problème du décor</i> :.....	19
b. Minimisation de la représentation :.....	19
1. <i>La circonscription</i> :.....	20
2. <i>Notion des plus proches modèles</i> :.....	20
III. ASPECT TEMPOREL :.....	21
1. <i>La logique modale</i>	21
2. <i>La logique des intervalles</i> :.....	22
3. <i>La logique des instants de McDermott</i> :.....	23
4. <i>Les logiques réifiées</i> :.....	23
IV. ASPECT QUALITATIF :.....	24
1. L'Algèbre qualitative standard.....	24
2. Modèles qualitatifs non standards :.....	27
3. Raisonement Et Simulation Qualitatifs :.....	28
V. ASPECT CONTRAINTE :.....	29
1. Types de contraintes :	29
2. Techniques de cohérences sur les domaines finis :	30
3. programmation Logique par Contraintes :.....	31

CHAPITRE 3 : Simulation & pédagogie

I. INTRODUCTION :.....	34
II. L'EIAO :.....	34

III. SIMULATION PEDAGOGIQUE:	38
1. LA SIMULATION :	40
2. LES OBJECTIFS DE LA SIMULATION :	40
2.1 Simuler pour comprendre :.....	40
2.2 Simuler pour construire.....	41
2.3 Simuler pour apprendre.....	41
2.4 Et les autres simulations ?.....	42
3. OU CLASSER LA SIMULATION DANS L'EAO ?	42
3.1. Approche classique et approche cognitive.....	43
3.2 Classer selon les approches d'apprentissage.....	45
3.3 Approche transmission de connaissance.....	45
3.4.Approche découverte-construction de connaissances.....	45
4 .LES SIMULATIONS PEDAGOGIQUES :	48
4.1 Simulations et contextes d'utilisation pédagogique.....	49
4.2 Simulations et objectifs de l'apprenant.....	49

CHAPITRE 4 : Modèle Expert & Architecture du simulateur pédagogique

I. INTRODUCTION	52
II. MODELE EXPERT :	54
III. ELEMENTS DU MODELE PROPOSE :	59
▪ <i>Composant :</i>	59
▪ <i>Action</i>	61
▪ <i>Contraintes :</i>	62

▪ <i>Relation(rôle)</i> :.....	62
IV. EXEMPLE	63
V. RAISONNEMENT :	64
VI. ARCHITECTURE D'UN SIMULATEUR PEDAGOGIQUE :.....	65
CONCLUSION.....	71
PERSEPECTIVES	72
REFERENCES.....	74

TABLE DES FIGURES :

NOM	NUMERO	PAGE
RESEAUX SEMANTIQUES	Fig-1-	09
TUYAU	Fig-2-	24
TABLE 1	Fig-3-	25
SIMULATION PEDAGOGIQUE	Fig-4-	48
INTERSECTION DES ELEMENTS	Fig-5-	53
VUE TRIDIMENTIONNELLE	Fig-6-	56
COMPOSANT	Fig-7-	60
CYCLE D'ETAT	Fig-8-	60
ACTION	Fig-9-	61
RELATION	Fig-10-	62
CIRCUIT DE LIFSCHITZ	Fig-11-	63
CIRCUIT DE LIFSCHITZ	Fig-12-	64
ARCHITECTURE	Fig-13-	67
CROCQUIS D'EVALUATION	Fig-14-	68

INTRODUCTION GENERALE

L'Homme demeure toujours le modèle et la référence de tout acte de conception ou d'évaluation d'un système artificiel. Aujourd'hui, la question de l'apprentissage ne peut plus être posée sans faire allusion aux nouvelles technologies de l'information et de la communication, qui ont conquis actuellement tous les domaines y compris et surtout l'EAO .

La question qu'on se pose est : « si les systèmes d'EAO permettent l'enseignement d'un savoir qu'en est-il du savoir faire ? ». Il s'avère que le couplage des systèmes d'EAO à un simulateur permettrait de mettre l'apprenant en correspondance formelle imagée avec la réalité et d'enseigner ainsi un savoir-faire .

Une des retombées essentielles de la construction d'un simulateur pédagogique est la pérennisation du savoir et surtout du savoir-faire détenus par les experts humains. Ce travail présente un système expert, « noyau du simulateur », capable de diagnostiquer et de détecter des pannes ainsi que de décrire des scénarios de maintenance. Notre souci majeur est de prendre en compte la diversité des types connaissances détenues par l'expert humain, car elles ont tendance à être procédurales (fonctionnelles) ou déclaratives, fondées sur une théorie confirmée ou une simple expérience vécue par l'expert.

Pour cela, nous survolerons dans le premier chapitre, plusieurs modes de représentation et raisonnement des connaissances .

Au deuxième chapitre, nous nous attarderons sur quelques aspects de la connaissance tels que le notion d'action, l'aspect temporel, qualitatif et les contraintes.

Le troisième chapitre présentera la simulation pédagogique.

Le dernier chapitre servira à présenter notre système et expliquer les choix faits ainsi que l'architecture du système.

CHAPITRE 1

Représentation des Connaissances

I. INTRODUCTION :

La nature du problème, sujet de ce travail de recherche est étroitement liée aux problématiques de la connaissance et de ses différents aspects (temporel, qualitatif...). Pour cela, nous survolerons dans ce chapitre plusieurs paradigmes liés à la représentation et raisonnement des connaissances.

Les traitements de connaissances peuvent être décomposés en plusieurs catégories[TRAINF]:

- L'acquisition des connaissances propres aux domaines et aux problèmes à traiter.
- La représentation des connaissances selon des modèles aussi généraux et indépendants des traitements que possible et suffisamment sémantiques pour que l'acquisition des connaissances soit aisée.
- La mise en œuvre des raisonnements sur ces connaissances qui se traduisent par des modèles de manipulation de connaissances plus ou moins généraux, liés aux modèles de représentation traduisant les principes de raisonnement par l'absurde, par récurrence ou par analogie.
- Le contrôle des raisonnements et leur mise en œuvre sur des problèmes spécifiques pour réduire l'espace de recherche de solution.
- L'explication des raisonnements selon deux objectifs:
 - Pour laisser une trace détaillée des raisonnements entrepris, au développeur du système.
 - Pour donner une explication concise à l'utilisateur du système.
- La révision de connaissances doit déterminer dans quelle mesure on peut modifier des connaissances établies au préalable et envisager une révision automatique des connaissances (maintien de la cohérence).

Dans ce travail, nous nous intéressons à la représentation des connaissances qui est au cœur des recherches en psychologie cognitive et en intelligence artificielle.

1. DECLARATIF :

Les systèmes déclaratifs sont issus des démonstrations de théorème basées sur le principe de résolution.

1.1. La logique :

Le formalisme logique est séduisant parce qu'il suggère immédiatement un puissant moyen de déduire de nouvelles connaissances des anciennes -la déduction mathématique- dans ce formalisme, nous pouvons conclure qu'un nouvel énoncé est vrai en démontrant qu'il découle des énoncés qui sont déjà connus. On distingue principalement deux types :

➤ *La logique des propositions:*

Les propositions représentent des énoncés susceptibles d'être vrais ou faux.
Exemple: La terre tourne.

Le vocabulaire du calcul des propositions donne lieu à des assemblages (formules) par juxtaposition de connecteurs (ET, OU, \Rightarrow , \Leftrightarrow) et de propositions. L'implication est utilisée pour déterminer la valeur de vérité à une proposition par application de la règle "Modus Ponens".

SI $x \rightarrow y$ est vrai ET SI x est vrai ALORS nécessairement y est vrai.

➤ *La logique des prédicats (logique du 1er ordre) :*

Le calcul des propositions ne permet la formalisation que d'une petite partie de l'ensemble des raisonnements. Par conséquent, dès qu'on veut manipuler des propriétés générales, un peu compliquées et des relations entre objets, on est conduit à utiliser des énoncés dont la vérité dépend des variables et des quantificateurs. La logique des prédicats (permet de représenter des choses qui

ne peuvent, raisonnablement pas être représentées en logique propositionnelle.). Reprenons l'exemple de Syllogisme d'Aristote :

"Tous les hommes sont mortels, Socrate est un homme, donc Socrate est mortel ", $\forall x \text{ homme}(x) \Rightarrow \text{mortel}(x)$

Exemple : Prolog est un langage de programmation basé sur la logique du 1^{er} ordre.

➤ *Les autres logiques :*

La logique des prédicats ne fournit pas un bon moyen de représenter et de manipuler l'information importante dans tous les domaines. Une bonne part des raisonnements que les gens tiennent implique la manipulation d'un ensemble de **croiances** dont chacune d'elles est étayée par un certain nombre de preuves et peut être renforcée par une motivation personnelle pour maintenir la croyance. Pour permettre aux programmes de manipuler des systèmes de croyances, il fallait construire un système de raisonnement capable de traiter les informations incertaines et/ou incomplètes [RIC87].

Il existe des techniques variées pour traiter ces problèmes :

- *La logique non monotone* : Gère l'information de nature évolutive. Lorsqu'il y a un manque d'information, certaines estimations peuvent être faites en l'absence de preuve contradictoire. La construction de ces estimations est connue sous le nom de raisonnement par défaut. Ce raisonnement doit établir un rapport entre le manque d'une partie d'information X et une conclusion Y. L'une des définitions qu'on peut retenir : SI X n'est pas connu, alors conclure Y.
- *Le raisonnement probabiliste* : Qui rend possible la représentation d'inférences probables, mais incertaines. Ceci en utilisant la théorie des probabilités et des statistiques (théorème de Bayes).

- *La logique floue* : fournit un moyen de représenter les propriétés continues ou floues des objets.

Avantage :

- Représentation assez naturelle, assez proche du concept à exprimer
- Souple car la manière de représenter les connaissances est totalement indépendante de l'usage qui en sera fait.

Inconvénient :

- Les raisonnements peuvent être très lourds et complexes, car les connaissances ne sont pas assez organisées.
- On ne peut pas tout exprimer.

1.2. Les réseaux sémantiques :

L'idée centrale des réseaux sémantiques est de décrire la réalité sous forme d'un graphe (réseau) composé de nœuds reliés par des arcs [TRAINF]. Les nœuds et les arcs sont en général étiquetés. Aux premiers sont associés les objets (concepts, événements, situations, ...), aux seconds les relations entre ces objets : D'où la désignation de « structure objets-relations » adoptée pour ce formalisme. Exemple (Figure suivante) :

Montre : "Appareil portatif qui sert à indiquer l'heure".

Horloge : "Appareil qui indique les heures".

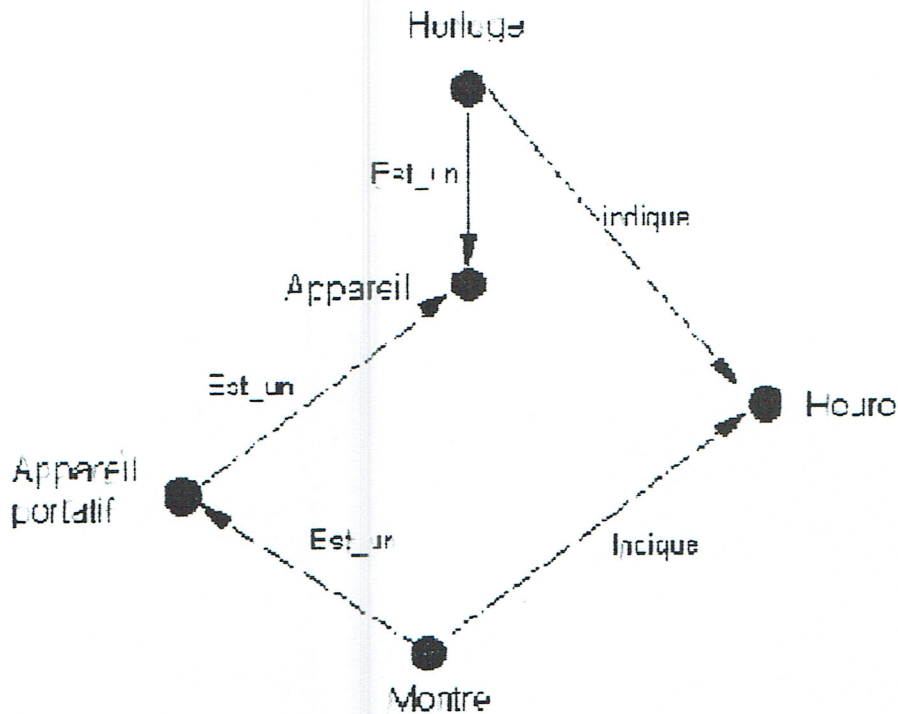


fig-1-

Grâce à un algorithme de propagation de jetons, il était capable de trouver automatiquement les points communs existant entre différents concepts. Plaçons deux jetons sur les concepts "montre" et "horloge". En propageant ces jetons le long des arcs, on obtient le résultat suivant : La montre et l'horloge sont deux appareils servant à indiquer l'heure.

Les réseaux sémantiques conviennent à toute classification et description simple des objets, et permettent de mémoriser différents types de relations sémantiques, la quantification est prise en compte en partitionnant les réseaux (les réseaux partitionnés). Cependant lorsque le nombre de nœuds et de liens devient important, la recherche des informations croît exponentiellement et par suite conduit à l'explosion combinatoire.

Ils ont été beaucoup plus employés dans les applications et projets, ayant traité de l'apprentissage des langues, dont le système SCHOLAR de CARBONELL en 1970, ayant traité de la géographie de l'Amérique Du Sud reste le plus célèbre. SCHOLAR a même été un des premiers systèmes d'IA à proposer une modélisation de raisonnement par défaut, en raisonnant sur l'absence d'informations dans le réseau pour répondre à des questions imprévues[MBAR94, PMEN91].

Du fait de l'organisation hiérarchique de concepts liés par des relations, des inférences simples peuvent être réalisées par propagation. Les limitations inhérentes à ce mode de représentation sont, bien entendu, liées au fait qu'il n'est pas possible de représenter des connaissances procédurales sur un tel mode.

1.3. Les règles de production :

Les règles de production ont connu un réel succès en tant que formalisme de représentation de connaissances pour les Systèmes Expert[SYEX].

La majorité des SE a été développée en utilisant ce type de formalisme.

La connaissance est exprimée sous forme de règles du type:

Si P_1 et P_2 et ... et P_m alors C_1 et C_2 ... et C_n . Les prémisses (P_i) décrivent une certaine situation et les conclusions (C_i) sont un ensemble d'actions, à entreprendre, si les prémisses sont satisfaites. Elles sont utilisées pour construire des représentations modulaires de compétences, avec une organisation en catégories abstraites, indépendantes des processus qui permet de réaliser, des calculs sur cette connaissance (exemple : Guidon de Clancey en 1983)[PMEN91]. Elles sont largement utilisées pour la facilité qu'elles procurent. L'un des systèmes experts les plus cités est MYCIN, effectuant le diagnostic médical. Cependant elles posent le problème de contrôle de cohérence, lors d'insertions de nouvelles règles et surtout lorsque la taille de la base est considérable, ce qui ralentit le système (dans le parcours). Les systèmes se basant sur les règles de productions, fournissent une trace explicative du raisonnement. Elles donnent aussi une représentation déclarative des procédures.

PROCEDURAL :

C'est la représentation qui mélange données factuelles et contrôle. Elle englobe en outre: Les automates finis, Les programmes ...

Elle a un certain nombre d'inconvénients:

- Difficile à modifier et à étendre en fonction de l'évolution de la connaissance.
- Ne permet ni une vision globale ni partielle des connaissances utilisées.
- Exclue toute justification des solutions trouvées.

2. LES OBJETS STRUCTURES :

Ce formalisme consiste à mêler dans une même structure des connaissances déclaratives et procédurales.

1. Les frames (schèmes):

Marvin Minsky s'est inspiré des théories psychologiques pour introduire la notion de frame [MIN81] :

Un frame est une structure de données représentant une situation stéréotypée, comme se trouver dans un certain type de salon ou se rendre à un goûter d'anniversaire d'un enfant. Divers types d'informations sont associés à chaque frame. Certaines d'entre elles concernent l'utilisation de ce frame. D'autres portent sur ce que l'on s'attend à ce qu'il arrive par la suite. D'autres encore portent sur ce qu'il faut faire si ces attentes ne sont pas confirmées.

On définit un " frame " comme une structure de données regroupant l'ensemble des connaissances relatives à un concept. Un frame est un prototype décrivant une situation ou un objet standard. Il sert de référence pour comparer des objets que l'on désire reconnaître, analyser ou classer. Les prototypes doivent prendre

en compte toutes les formes possibles d'expression de la connaissance. Les frames possèdent par conséquent une richesse descriptive que n'offrent pas les classes.

Un " frame " est composé d'un ensemble d'attributs. Ces attributs contiennent des facettes qui décrivent l'ensemble des valeurs possibles pour cet attribut. Ces facettes peuvent être de deux formes : déclaratives et procédurales. Les premières associent des valeurs aux attributs, alors que les secondes décrivent les procédures appelées réflexes, qui sont activées lors des accès à ces valeurs. Un frame n'a donc pas de comportement propre décrit par des méthodes. Un sous frame est une spécialisation d'un ou plusieurs frames pères, appelés super-frames dont il hérite les couples attribut - facette. L'héritage est dynamique. Les couples hérités ne sont pas recopiés dans les frames. De cette façon, aucune mise à jour n'est nécessaire lorsqu'une propriété d'un frame, héritée et non masquée, est modifiée dans l'un des super-frames.

Le frame mentionne tout à la fois les liens avec les autres concepts, les valeurs par défaut de certains paramètres, les informations qu'il permet de déduire, les procédures informatiques à activer. Toutes ces informations sont des attributs ("slots") du frame de départ. Elles seront calculées ou bien déduites par inférence. Ces déductions sont effectuées principalement via "l'héritage" d'attributs à partir des frames-pères.

Un frame est une structure à trois niveaux :

frame : représente un concept en modélisant ses différentes propriétés.

Un attribut (slot): représentent les propriétés caractérisant le concept. Il est décrit par un ensemble de facettes qui spécifient ces caractéristiques.

Il existe deux types de facettes :

Les facettes déclaratives : Décrivent les caractéristiques statiques liées à la valeur de l'attribut (valeurs par défaut).

Les facettes procédurales : introduisent des réflexes à déclenchés lors des accès à l'attribut. On peut y trouver, ceux déclenchés par un accès en lecture/ écriture, avant/après.

2. Les objets :

La notion d'objet s'impose de plus en plus comme une notion centrale en informatique, chaque domaine particulier mettant plus ou moins l'accent sur certaines particularités des objets, devenant un point de rencontre des différents domaines de l'informatique : les langages de programmation, les bases de données, l'Intelligence artificielle, et le calcul parallèle.

"La notion d'objet, une fois exhibée, semble avoir toujours existé. La philosophie, à travers de nombreuses discussions sur sa nature, a toujours montré l'importance de l'être, notion essentielle pour la compréhension de la philosophie occidentale. A l'encontre de la logique mathématique moderne, la conception "objet" considère que la mise en relation est secondaire par rapport à la prééminence de la chose et de ses propriétés. Comme le signale [REPCO], un objet ne peut être asserté ou postulé. Il n'est ni vrai ni faux. Il existe, tout du moins dans l'esprit des individus. les objets peuvent être considérés sous trois points de vue complémentaires :

- Aspect structurel : un objet est une structure de donnée définie par un type et ses opérations (Point de vue génie logiciel)
- Aspect conceptuel : un objet représente quelque chose du monde abstrait ou concret (Point de vue représentation des connaissances, Intelligence artificielle et base de données objet).

- Aspect actanciel : un objet est un agent autonome capable d'interagir avec d'autres agents par envoi de messages (Point de vue de la programmation concurrente, Intelligence artificielle distribuée)

En général un objet ayant une identité propre est constitué de trois types de composants élémentaires.

Attributs : Les attributs(son état propre) qui définissent les propriétés statiques.

Méthodes : Les méthodes (ce qu'il sait faire) définissent le comportement des objets. Elles sont généralement mises en facteur au niveau d'une classe(propriété comportementale).

Héritage : L'héritage peut être simple (arbre) ou multiple (réseau acyclique). Lorsque l'héritage est multiple, il faut définir précisément le sens de parcours du graphe. L'héritage peut s'appliquer de façon différente sur les attributs, les relations et les méthodes, avec notamment diverses possibilités de surcharge.

Le logiciel S.C.A.R.A.B.E'. E (Système de Conception Assisté de Récits d'Aventures dans le But d'Enseigner l'Ecriture) en est un exemple[CCOU], car il a utilisé le langage ZOO(Z Orienté Objet, fortement inspiré de smaltalk) pour représenter les objets structurés du module expert.

3.Comparaison (objet, frame) :

- Les objets sont destinés avant tous à la programmation cependant les frames à la représentation des connaissances.ceci explique le fait que les frames soient pourvus d'un mécanisme d'inférence.
- Les objets possèdent des méthodes qui définissent le comportement de ses instances alors qu'un frame n'a pas de comportement propre mais des

procédures attachées à ses attributs. donc une méthode est activée par envoi de message pendant qu'un réflexe est un effet de bord des accès aux attributs [FDAH00, FZAI96]

Remarque :

On n'a pas mentionné quelques variantes de représentation telles que : les graphes conceptuels (une amélioration des réseaux sémantiques), les dépendances conceptuelles (structure plus spécifique que les réseaux sémantiques), les scriptes (structure plus spécialisée que les frames)...

Connaissance et système expert :

Le diagnostic, la conduite, le traitement des situations critiques, ... ont été et sont encore des domaines d'application privilégiés des systèmes experts, surtout dans le domaine industriel. Après la première vague des systèmes experts, accompagnée de l'apparition du cogniticien - l'intermédiaire humain chargé de mettre dans la machine les talents et le savoir-faire de l'expert - une réflexion a eu lieu sur le type de connaissance qu'utilisaient ces systèmes et les capacités qui en résultaient. Cela a conduit à s'intéresser non plus aux réflexes ou au savoir-faire de l'expert dans la résolution d'un problème, mais aux connaissances de base qui lui ont permis par l'expérience de se forger sa qualité d'expert. La méthodologie alternative à celle de la première génération de systèmes experts consiste donc en une collecte de la connaissance de base de l'expert, sa représentation en machine, puis la reconstruction du système "réflexe" de diagnostic, de conduite, etc.

La "**connaissance profonde**" dont il est question ici peut être de divers ordres: cela peut être une connaissance de la fonction; mais l'on peut aller plus loin en prenant en compte les processus physiques intimes qui gouvernent le comportement du système. La fonction des composants peut alors être redécouverte. Cela va permettre, par exemple, le comportement d'un composant peut très bien ne pas correspondre à sa fonction normale si ce composant ou un

de ses voisins change de type de comportement, par exemple en cas de panne ou de dysfonctionnement[JEAD89].

III. Discussion :

Nous pensons que l'idéal est d'avoir un formalisme qui hybride la puissance et la simplicité de la logique avec l'opportunité d'une description aussi minutieuse et organisée que possible, d'ordre statique ou dynamique soit-elle des objets structurés.

Or ce n'est pas du ressort de notre travail de concevoir un tel outil. Cependant l'usage de plusieurs modes de représentation dans un même système peut nous faire bénéficier des avantages de chacun. Toujours est-il, nous n'essayons en aucune manière, d'imposer a priori cet amalgame au système, car notre choix se fera au chapitre 4, après une explicitation des éléments du système considéré c.a.d après avoir touché à la réponse de la question :

A quel niveau de détail doit-on aller pour représenter le monde ?

CHAPITRE 2

Raisonnement & aspects de la connaissance

I. INTRODUCTION :

Ce chapitre traitera de quelques aspects et notions liées à la connaissance. La notion d'action qui s'impose d'elle-même dès qu'on fait allusion aux scénarios de maintenance, de même l'aspect temporel, contraintes et qualitatif seront précisément développés dans ce chapitre. Cela afin de préparer le terrain pour une meilleure compréhension des concepts utilisés par la suite.

II. RAISONNER SUR LES ACTIONS :

Le raisonnement sur les actions est une problématique présente en intelligence artificielle dès les années 60. Aujourd'hui après plus de trente ans de recherche, il n'existe pas encore une théorie universellement reconnue [CAST00].

Le problème de décrire les effets d'une action, étant donnée une base de connaissance, se pose quand le monde qu'elle décrit change. On cherche à déterminer l'état du monde après cette évolution. Parmi les hypothèses fait dans ce domaine, l'hypothèse de l'inertie qui considère que le monde ne peut évoluer que sous l'effet d'actions explicites. Autrement dit, s'il n'y a pas d'exécution d'action le monde ne bouge pas.

Pour pouvoir exprimer les concepts liés à la problématique du raisonnement sur les actions, on a besoin d'une représentation du temps.

En général, pour caractériser un problème concernant les systèmes évolutifs, il faut représenter les lois qui gèrent les relations entre les faits. Dans une situation donnée appelée contrainte d'intégrité ou lois statiques, les lois qui décrivent les effets des actions appelées lois dynamiques et les données de la situation initiale.

Cette représentation doit permettre de déduire les conclusions attendues sur l'évolution du monde quand se déroule le scénario du problème. Précisons cependant les principaux problèmes rencontrés quand on a à décrire des actions :

a. Problèmes Liés à la Description des Actions :

La littérature distingue essentiellement trois problèmes :

1. *Le problème de la ramification* : C'est le problème de déterminer toutes les conséquences d'une action. Lorsqu'une action est exécutée, elle induit plus de changements que ceux que représentent ses conséquences directes.

Des exemples montrent que les ramifications potentielles d'une action peuvent être nombreuses et que des actions qui semblent insignifiantes sont parfois lourdes de conséquences.

2. *Le problème de la qualification* : C'est un problème lié à la détermination des pré-conditions d'une action. Il est impossible de préciser toutes les pré-conditions d'une action. Il faudrait connaître toutes les situations exceptionnelles au bon déroulement de chaque action. On peut cependant exprimer que, par défaut, l'action se déroule normalement sauf pour certaines exceptions que l'on doit préciser. Une solution réside certainement dans l'utilisation supplémentaire mais limitée de techniques de la non-monotonie.
3. *Le problème du décor* : C'est le problème dual de celui de la ramification. C'est le problème de déterminer ce qui n'est pas affecté par le changement. On le rencontre dès que l'on essaie d'exprimer que les valeurs de certains faits ne sont pas modifiées, situation après situation, quand seulement des actions irrelevantes à ces faits s'exécutent. La description d'une action doit comprendre non seulement la façon dont elle modifie le monde mais il faut aussi spécifier tout ce qu'elle laisse inchangé. Ceci est en général trop encombrant et difficile à représenter et de nombreuses approches s'attachent à définir l'inertie par défaut.

Présenter une solution pour ces problèmes consiste, en premier lieu, à trouver une façon économique de décrire les effets d'une action donnée. Etudions donc ce qui est fait classiquement dans ce domaine.

b. Minimisation de la représentation : Nous présentons deux styles d'approches pour résoudre les problèmes que nous venons d'évoquer

sont à la base de plusieurs formalismes utilisés pour déterminer l'état du monde après l'exécution d'une action dont les ((non effets)) sont implicites.

1. *La circonscription* : repose sur le principe suivant. Circonscrire une propriété dans une base de connaissance consiste à limiter le domaine de vérification de cette propriété à ce qui est exigé. Il faut remarquer que certains ensembles consistants de formules peuvent devenir inconsistants lors du processus de circonscription. On peut cependant déterminer des conditions suffisantes de préservation de consistance. Une façon naturelle de résoudre ce problème est de prendre en compte une notion supplémentaire « la notion de dépendance/indépendance » entre une action et les atomes du langage. En fait, on ne représente pas la relation d'indépendance mais la relation de dépendance. En effet, lorsqu'on exécute une action, ce qui est modifié est beaucoup plus restreint que ce qui ne l'est pas. On peut même considérer que la plupart des faits ne dépendent pas de l'action ; c'est ce qui est à l'origine du problème du décor. Cela est dû à l'hypothèse d'inertie. Par l'intermédiaire de la relation de dépendance, on peut ainsi représenter de façon, économique, quels sont les faits non affectés par l'exécution d'une action. Le principe d'inertie permet alors de coder facilement les non-effets d'une action. Avec ces données, on n'a donc pas de mal à traiter le problème du décor.
2. *Notion des plus proches modèles* : L'approche des modèles possibles PMA de Marianne Winslett [MWin90] est une approche sémantique basée elle aussi sur un principe de minimisation. Mais ce que l'on cherche à minimiser ce sont les changements entre la situation initiale et la situation résultant de l'exécution d'une action élémentaire. La notion de changement est ici relative à la valeur de vérité des atomes.

On ne considère plus des modèles globaux du monde en évolution mais les Modèles possibles du monde dans des situations. Ils seront caractérisés par l'ensemble des atomes vrais dans ces situations.

la résolution des problèmes du décor et de la ramification passe par une représentation plus complète des connaissances à modéliser plutôt que par la mise au point de mécanismes complexes de déduction. D'après [CAST00], deux approches ont été proposées (causalité , dépendance). Mais elle représente certaines insuffisances face au problème de la ramification.

III. ASPECT TEMPORELS :

La plupart des formalismes développés en Intelligence Artificielle, dont certains présentés ci- après, sont des formalismes de raisonnement déductif. Ainsi, les formalismes statiques de raisonnement temporel nous guideront pour trouver des méthodes de représentation du temps et du déroulement des événements

Raisonnement temporel

1.La logique modale

La plupart des formalismes de raisonnement temporel sont des logiques, et le plus ancien est sans doute la logique modale. Il s'agit d'une généralisation de la logique classique mathématique dans laquelle on ajoute un opérateur de nécessité L, son opposé M (défini par $Mp \Leftrightarrow \neg L\neg p$) et un ensemble de mondes possibles W muni d'une relation d'accessibilité.

Les logiques modales ont permis de formaliser les notions de croyance, de savoir, ou des notions temporelles, selon le système dans lequel on se place et l'interprétation que l'on fait de l'opérateur L. En logique temporelle, l'ensemble

des mondes possibles devient un ensemble des moments possibles, et la relation d'accessibilité est une relation de précédence temporelle, généralement transitive.

L'une des principales logiques modales temporelles est la logique des instants PL de Prior (1957), dans laquelle L est renommé F pour le futur, P pour le passé, et M est renommé G (futur) et H (passé). $\models_w Fp$ signifie alors que p sera toujours vraie dans le futur de l'instant w, et $\models_w Hp$ signifie que p a été vraie au moins une fois dans le passé. Les logiques modales temporelles permettent d'effectuer des raisonnements complexes et puissants sur des instants, en donnant des prédicats relatifs à un monde, donc à un point de vue.

2. La logique des intervalles :

Proposée par Allen dans [JALL81], la logique des intervalles est un formalisme permettant de raisonner sur des graphes temporels. Un graphe temporel est une structure de donnée qui représente la connaissance temporelle d'un système sur les événements et sur les effets des processus. En logique des intervalles, il est possible de représenter des connaissances temporelles sous forme de contraintes, à l'aide des 13 opérateurs de comparaison entre les intervalles. Par exemple, si nous avons la phrase : « J'ai dormi pendant le spectacle », l'arête entre Dodo et Spectacle est étiquetée par {eq,o,oi,s,si,f,fi}.

A partir d'un graphe de données initiales, il faut déterminer automatiquement s'il est cohérent, « alléger » les arêtes et trouver les relations inconnues (par exemple, si l'on a ApB et BpC , la relation entre A et C est ApC). Mais la définition des intervalles est à la charge de l'utilisateur. En outre, ces formalismes fondés sur les intervalles utilisent un temps continu et des événements ayant une durée.

3. La logique des instants de McDermott :

McDermott propose dans [DMCD82] une autre approche pour faire des graphes temporels : la logique des instants. Il s'agit d'une logique multi-sortée, en notation préfixe, dans laquelle les entités sont des événements et des instants. On considère un ensemble d'états S muni d'une fonction de date, et un ensemble de propositions P . On dit que $p \in s$ si et seulement si p est vraie dans l'état s . Les états sont partiellement ordonnés par la relation \leq compatible avec la fonction date. Les nœuds du graphe sont étiquetés par des instants et les arcs expriment des relations de précédence : ils sont étiquetés par la durée séparant les deux instants. Cette représentation est généralement moins concise et plus complexe que la représentation par intervalles d'Allen, pour un problème donné. De plus, elle n'est pas aussi expressive (il n'est pas possible de représenter des disjonctions). Enfin, pour McDermott, le futur est indéterminé.

Les graphes temporels ne sont qu'une représentation du temps qui n'intègre aucune relation de cause à effet : ils donnent simplement le moment où un phénomène se produit. De nombreuses extensions de ces formalismes ont été proposées pour répondre à ce besoin.

4. Les logiques réifiées :

Les logiques réifiées furent introduites dans le but d'étudier la causalité. Le principe est d'associer des composants atemporels (des propositions) et temporels (intervalles ou instants). Dans [JALL84], Allen définit trois composants de base pour le raisonnement temporel avec sa théorie des intervalles : les propriétés, les événements et les processus. Il exprime :

- qu'une propriété P est vraie pendant un intervalle I
- qu'un événement E se produit pendant un intervalle I .

- Qu'un processus est en train de se dérouler pendant un intervalle I .
- Qu'un événement est la cause d'un autre.
- Que l'agent A est la cause d'une action (événement ou processus) .

Ceci permet le raisonnement causal.

Un processus exprime un changement continu, alors qu'un événement est instantané et déclenche une réaction de la vue.

IV. ASPECT QUALITATIF :

Le terme *qualitatif* est utilisé par les économistes depuis plus de quarante ans en tant que synonyme de *raisonner sur les signes*. Un nouvel intérêt pour les techniques qualitatives est récemment apparu dans d'autres domaines, tels que l'automatique et l'intelligence artificielle. La première étape a consisté à développer des modèles, outils et techniques pour raisonner dans l'espace de quantités qualitatives $\{+,0,-,?\}$.

Nous allons présenter un exemple de modèle pour le raisonnement qualitatif (de [JEAD90]), et certaines de ses propriétés.

1.L'Algèbre qualitative standard

1.1. Confluences

Considérons un système très simple : un tuyau

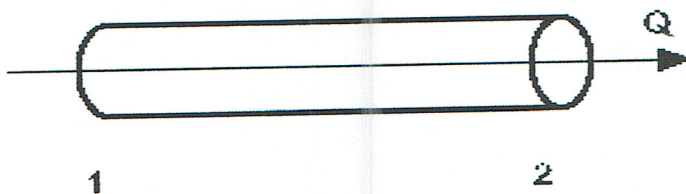


Fig-2-

Un modèle simple du comportement d'un fluide coulant dans le tuyau est donné par l'équation $Q = CA(2P/r)^{1/2}$ (1) où Q est le flux à travers le tuyau, P la différence de pression entre les extrémités du tuyau, A la section du tuyau, C le coefficient de décharge et r la densité massique du fluide. Des déductions

simples comme "Si Q augmente alors que A et r ne changent pas, alors P augmente également" sont évidentes. C'est ce que les *équations qualitatives* ou *confluences*, tentent de prendre en compte. Une confluence est une relation reliant des signes. Par exemple, la confluence pour le tuyau - lorsque r est supposé constante - est :

$$?P - ?Q + ?A \sim 0 \quad (2)$$

c.a.d : supposer que Q augmente et A reste constant est équivalent à $?Q=+$ et $?A=0$. En substituant ces valeurs dans Eq. (2), nous obtenons :

$$?P - [+] + [0] \sim 0 \quad (3)$$

1.2. Les modèles qualitatifs basés sur les signes

Dans la notation algébrique pour le calcul qualitatif basé sur les signes, on considère l'ensemble $S=\{+,0,-,?\}$. L'élément $?$ dans l'ensemble S est nécessaire pour définir l'addition : par exemple, $(+)+(-)$ est défini comme étant $?$. L'addition et la multiplication sont définies dans la Table 1. $[x]$ désigne le signe du réel X .

+	0	+	-	?
0	0	+	-	?
+	+	+	?	?
-	-	?	-	?
?	?	?	?	?

*	0	+	-	?
0	0	0	0	0
+	0	+	-	?
-	0	-	+	?
?	0	?	?	?

Table 1: L'addition et la multiplication des signes

Fig-3-

Alors que le symbole $=$ désigne l'égalité usuelle, \sim est défini sur S comme suit : pour tout a et b de S , $a \sim b$ si et seulement si $a=b$ ou $a=?$ ou $b=?$. La relation \sim est appelée *compatibilité des signes* ou *égalité qualitative*.

Un système d'équations qualitatives ne mentionnant pas à la fois le signe d'une quantité physique et de sa dérivée est appelé *système linéaire qualitatif* (SLQ). Si une quantité et une de ses dérivées apparaissent, alors on a affaire à un *système différentiel linéaire qualitatif* (SDLQ).

un SLQ est noté sous forme matricielle $AX \sim B$. Celui-ci provenant d'une situation physique, et X étant donc le vecteur des signes des quantités physiques décrivant le système, X ne peut avoir de composante $?$. Résoudre ce SLQ consiste donc à trouver tous les vecteurs qualitatifs X sans composante valant $?$ et satisfaisant les équations.

Il s'avère que les notions et les résultats qui précèdent sont, pour les systèmes carrés, en relation avec le *déterminant qualitatif*. Le déterminant qualitatif d'une matrice qualitative carrée peut être calculé comme dans le cas réel

1.3. La règle de résolution

En fait, un outil effectif de calcul est fourni par la règle de résolution [JEAD88]:

Règle de résolution qualitative.

Soient x, y, z, a, b des quantités qualitatives telles que

$$x + y \sim a$$

$$\text{et } -x + z \sim b$$

Si x est différent de $?$, alors

$$y + z \sim a + b$$

En pratique, cette règle signifie qu'une variable peut être éliminée en faisant la somme ou la différence de deux équations, pourvu qu'aucune autre variable ne soit éliminée en même temps. Il existe d'autres versions de la règle de résolution dans d'autres cadres algébriques qualitatifs.

2. Modèles qualitatifs non standards :

Par la suite nous citons quelques modèles non standard :

2.1. Ordres de grandeur :

Un modèle pour les ordres de grandeur a été décrit pour la première fois par Olivier Raiman (1986)[JEAD90]. Il utilise trois relations entre quantités : négligibilité, proximité, comparabilité.

Exemple : Lorsque l'on soustrait deux quantités ayant le même ordre de grandeur, il est possible d'obtenir une quantité ayant un ordre de grandeur strictement plus petit, de la même manière que lorsque l'on soustrait deux quantités de même signe, on peut obtenir 0.

2.3. Algèbres d'intervalles :

Les algèbres d'intervalles sont une autre sorte de modèle qualitatif. Ils ont été étudiés avant les ordres de grandeur. Le modèle basé sur les signes est un cas spécial d'algèbre d'intervalles. La motivation sous-jacente pour l'étude des algèbres d'intervalles est que nous pourrions ne pas connaître la valeur numérique précise d'un coefficient qui nous intéresse, mais les bornes d'un intervalle auquel nous sommes sûrs qu'il appartient.

Le problème avec les algèbres d'intervalles est qu'elles ont très souvent des propriétés algébriques horribles (au moins pour le mathématicien). Cependant, certaines tentatives d'utilisation de ces algèbres ont été menées à bien, par exemple dans le système QSIM de Kuipers [KUIP86]. $(S, +, *, \sim)$ peut être vue comme une algèbre d'intervalle en posant :

$+=]0, +[$, $0 = [0, 0]$, $- =]-, 0[$ et $? =]-, +[$.

3. Raisonement Et Simulation Qualitatifs :

Un programme d'IA doit pouvoir résoudre un problème en l'absence d'informations quantitatives détaillées, nécessaires dans les modèles numériques de simulation. Pour cela le raisonnement doit permettre :

- la prédiction des états futurs du système étudié ;
- l'explication de ses comportements, en se fondant sur la description qualitative de ce système (afin de permettre de mieux comprendre le fonctionnement du système).

Une telle façon de raisonner exprime le mode de raisonnement qualitatif.

3.1. Les Trois Approches Qualitatives Fondamentales

Il existe trois approches principales de modélisation et de raisonnement qualitatif. La plus simple est l'approche centrée contrainte où la modélisation n'est pas directement liée à la structure de l'installation. Elle consiste à considérer un ensemble de contraintes sur les paramètres du système [KUIP86]. Permettant la prédiction du comportement d'un système physique. L'espace des valeurs est un ensemble de couples (intervalle, changement). Par exemple, $vitesse = \langle [0, +\infty], \downarrow \rangle$ exprime une vitesse positive décroissante. L'utilisateur énonce alors des lois de transition qualitatives pour décrire les changements et le système Q_{sim} interpole l'évolution des paramètres du système.

Au contraire, la seconde approche s'appuie sur la structure de l'installation et s'articule sur la notion de composant. Un système physique est constitué comme un ensemble de ses composants soumis chacun d'eux à des lois physiques exprimées par des équations qualitatives [KLEE84] .

Enfin, la troisième approche est centrée processus. La modélisation se fait à la fois par les composants du système physique et par les processus physiques (par exemple se mouvoir, s'écouler, chauffer, bouillir, ...) agissant sur eux.

V. ASPECT CONTRAINTES :

Tout le monde gère des contraintes sans le savoir, qu'elles soient des contraintes d'horaires, de budget, de personnel, etc.

Selon le dictionnaire, contraindre signifie « maintenir dans des limites », le même sens est donné en programmation.

Les contraintes permettent d'exprimer toutes sortes de relations et donc d'entités du monde réel sans présager une implémentation particulière pour les représenter

exemple : $X = 3$
 $Y = X + 1$

Les contraintes peuvent intervenir à différents niveaux d'une application, elles peuvent être :

- ✓ structurelles : décrire la structure des objets.
- ✓ fonctionnelles : décrire le comportement de l'application.
- ✓ intervenir dans la mise en œuvre de l'algorithme : les calculs associés.

1. Types de contraintes :

On a essayé de regrouper deux types intéressants, en se restreignant à un certain niveau d'abstraction [ANNF94] :

Stratégies de cohérence :

- ✓ Coroutinage (introduit par prologII) : Dès que tout les arguments sont instanciés, on teste la contrainte.
- ✓ Forward-cheking (vérification en avant) : Une contrainte est utilisée si et seulement s'il ne reste qu'une seule variable domaine encore non instanciée.
- ✓ Lookahead(anticipation) : A chaque changement du domaine d'une variable de la contrainte, on teste l'incohérence des valeurs du domaine.
- ✓ etc.

Types de cohérences :

- Cohérence par nœud : ne concerne qu'un nœud c a d une variable.
- Cohérence par arc : contrainte propagée sur l'arc, les variables 2 à 2
- Cohérence par chemin : On regarde plusieurs arcs à la fois.

Ces contraintes ne se résument pas à des techniques de calcul numérique et nécessitent par conséquent des outils et des techniques de programmation avancées.

3. la programmation Logique par Contraintes :

La PPC est l'outil informatique qui permet d'exprimer dans un formalisme déclaratif les contraintes qui décrivent un problème, et qui fournit les algorithmes capables de le résoudre, lorsque cela est possible. La programmation par contraintes allie donc représentation de connaissances et techniques algorithmiques. Intuitivement, le terme de programmation par contraintes fait référence à l'utilisation de systèmes offrant à la fois[GENJ96] :

1. un langage permettant de formuler des problèmes en termes de contraintes,
2. des algorithmes et des heuristiques permettant de résoudre ces problèmes.

La puissance d'un langage de programmation logique comme prolog (qui se restreint à une classe de formules logiques, les clauses de Horn) se fonde sur trois mécanismes :

- ✓ La forme relationnelle permet de définir des prédicats sans fixer à l'avance les arguments d'entrée et de sortie.
- ✓ Le non-déterminisme qui permet une recherche arborescente dans l'espace des solutions et utilise un mécanisme automatique de retour arrière .
- ✓ L'unification qui permet de faire des calculs.

Ainsi, il ne reste à l'utilisateur qu'à trouver les prédicats convenables pour énoncer son problème (le système de contraintes).

La programmation logique avec contraintes (PLC) tend à généraliser la programmation logique, ce qui a pour conséquence d'élargir le champ classique d'applications ,non seulement de la programmation logique mais également des outils d'intelligence artificielle

Techniques utilisées par la PLC :

La programmation logique avec contraintes offre un cadre logique pour intégrer les techniques de résolutions de contraintes provenant des ancêtres:

- ✓ Recherche opérationnelle :programmation linéaire(simplexe)
Programmation en nombre entier (branch and bound, méthodes de coupe)
- ✓ Mathématique :résolution d'équation(algèbre de boole).
- ✓ Intelligence artificielle :propagation de contraintes, vérification de cohérence ,calcul dirigé par les démons.

Elle offre certaines avantages tels que :

- ✓ Puissance de modélisation (possibilité de programmer des procédures de recherche heuristiques combinées à des algorithmes de résolution de contraintes)
- ✓ Langages de programmation de hauts niveaux permettant un temps de développement très court, etc.

CHAPITRE 3

Simulation & pédagogie

I. INTRODUCTION :

Dans le présent chapitre, nous passons en revue quelques repères dans le domaine de l'EAO pour pouvoir par la suite, mieux cerner et éclaircir le concept de simulation pédagogique. Afin de mieux situer le vrai contexte de notre travail. Celui-ci nous a fait plonger, au début, (par la nature des objectifs) dans le domaine de l'ingénierie des connaissances.

II. L'EIAO :

Dans ce qui suit, nous présentons quelques repères qui nous intéressent dans le domaine de l'EAO.

L'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO)

Le terme EAO doit être pris dans son sens littéral : il s'agit d'un enseignement où l'ordinateur est utilisé en tant qu'outil pour l'enseignement. Les premiers didacticiels sont apparus dès la fin des années 60, ils étaient créés à partir de « langages auteurs ». Cela permettait aux enseignants de créer des scénarios séquentiels dans lesquels ils incluaient leurs connaissances de la discipline. Le déroulement (ou l'exécution) de ces scripts consistait à apporter des informations à l'élève et à vérifier par des questions que ces informations avaient été assimilées. Une telle organisation interdisait au système de résoudre des problèmes (ou à l'apprenant de poser des questions, voire de proposer des énoncés) non explicitement prévus à sa conception. D'autre part, tous les élèves devaient suivre un cheminement identique, sans que les connaissances initiales de l'élève ou son comportement ne soient pris en compte. [MBAR94]

Les débuts de l'"Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur"

On trouve dans les travaux précurseurs, et dans ceux qui ont suivi, dans la décennie 70, les idées fondamentales de l'EIAO :

- une représentation explicite des connaissances du domaine et de mécanismes de raisonnement, qui dotent le système de la capacité de répondre à des questions, de résoudre des exercices dont la solution n'a pas été explicitement prévue et dont l'énoncé peut être proposé par l'apprenant,
- un processus de "modélisation de l'apprenant", visant à disposer explicitement d'informations telles que son degré de maîtrise des connaissances du domaine. L'objectif général étant de permettre une adaptation dynamique et individualisée du système à son interlocuteur,

- l'explicitation de stratégies tutorielles, pour permettre au système d'engendrer dynamiquement ses interventions en fonction de la situation, d'objectifs pédagogiques et du modèle de l'apprenant,
- la recherche de capacités de communication souples et variées, avec des possibilités d'intervention et de prise d'initiative de l'apprenant.

1980-90 : la décennie des "Systèmes Tutoriels Intelligents" (STI)

Le paradigme des STI a été dominant dans la décennie 80-90 en EIAO, en liaison très forte avec le développement en IA des "systèmes à base de connaissances".

L'architecture générale complète proposée classiquement pour un STI comporte quatre macro-composants interdépendants : le module "représentation du domaine" (appelé initialement "module expert"), le module "modèle de l'élève", le module tutoriel (ou "pédagogue") et le module d'interface, ce dernier étant plus ou moins distingué du module tutoriel selon les systèmes. La conception de chacun de ces modules, avec la précision de leurs fonctionnalités et de leurs liens, a posé un certain nombre de problèmes, de même que leur intégration dans une architecture informatique adaptée, abordée parfois en termes de système multi-agents. [MBAR94]

De l'EIAO aux EIAO : "Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur"

C'est aux environs de 1990 qu'un détournement du sigle EIAO, qui avait alors peu à peu tendance, pour certains, à se limiter aux travaux de recherche relatifs aux STI, a amené à l'emploi de l'appellation actuelle "Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur", qui mérite

quelques explications. Elle renvoie à une vision constructiviste de l'apprentissage, selon laquelle l'apprenant construit ses connaissances en interagissant avec un milieu (au sens didactique du terme) ou environnement, ce qui donne à l'apprenant et à son apprentissage le premier rôle, aux dépens de la vision "transfert de connaissances" de l'enseignant à l'enseigné. Cette appellation permet ainsi d'évoquer un "environnement d'apprentissage" qui peut être plus large que le système informatique proprement dit. [MBAR94]

Capacités d'explication

De bonnes capacités d'explication sur la résolution nécessitent de pouvoir répondre à plusieurs types de questions, portant sur le contenu des connaissances, sur les résultats obtenus, sur le raisonnement suivi, sur les choix stratégiques, et ce de manière adaptée à l'utilisateur et au contexte des questions. Les nombreux travaux en IA sur ce sujet ont montré que, d'une part, les capacités d'explication sont étroitement liées à la modélisation du résolveur, aux connaissances qui y sont explicitées, et que d'autre part, elles nécessitent des connaissances complémentaires et des modes de raisonnement spécifiques. Un des aspects reconnus comme délicat est l'adaptation à l'utilisateur, problème particulièrement crucial et identifié depuis longtemps en EIAO.

Un domaine pluridisciplinaire

Étant donné les problématiques explorées pour les EIAO, leur conception relève encore, par plusieurs aspects, de la recherche en intelligence artificielle ; elle relève aussi d'autres disciplines de recherche, telles que la didactique (ou plutôt les didactiques des disciplines), la psychologie cognitive et les sciences de l'éducation. La coopération de ces diverses

disciplines s'est en effet avérée nécessaire pour progresser dans la conception des divers modules, pour élaborer et implanter des modèles ayant une certaine pertinence, pour progresser vers la mise au point de méthodologies de conception et d'expérimentation.

Ces systèmes s'ils permettent l'enseignement du savoir qu'en est-il du savoir-faire ?

III. SIMULATION PEDAGOGIQUE:

Parmi les problèmes auxquels se heurte la formation, citons [JEAP96] :

- *Difficulté de transmettre certains savoir-faire :*

Comme dans toute entreprise industrielle, les personnels chargés de l'installation, la configuration ou la maintenance des produits, doivent acquérir, pour être opérationnels, un certain nombre de savoir-faire, de type procédural (exemple: installer une machine) ou analytique (exemple: diagnostiquer les causes de dysfonctionnement d'une machine avant de la réparer). La transmission de ces savoir-faire est une composante importante de la formation, et peut être abordée de diverses façons[JEAP96] :

- *La formation théorique.* Des documents peuvent être consacrés à l'étude de ces problèmes (manuels d'installation, de maintenance, d'analyse de pannes, etc.). Leur lecture ou consultation est souvent complexe.
- *La formation pratique :* . Un proverbe hindou dit "*j'entends, j'oublie ? je vois, je me souviens; je fais, je comprends*". Il est évident que pour former un technicien à la résolution des problèmes qu'il rencontrera dans la réalité, la manipulation directe de l'équipement réel est souhaitable. Mais elle présente plusieurs difficultés :

○ *La disponibilité des équipements réels :*

Il peut être très difficile, voire techniquement impossible de disposer des équipements réels pour des besoins de formation. Les raisons peuvent en être le coût (doit-on acquérir un supercalculateur pour pouvoir former des techniciens de maintenance ?), la faisabilité (comment réunir sur un même site des points de connexion d'un réseau sensés être distants de plusieurs milliers de kilomètres ?) ou la disponibilité d'un matériel qui n'est pas encore en production. Et de plus, pour des raisons d'efficacité pédagogique, il serait préférable d'avoir un équipement par apprenant.

○ *La difficulté à reproduire des phénomènes réels :*

Il peut être nécessaire de provoquer volontairement des anomalies ou des dysfonctionnements, pour placer le technicien dans des situations qu'il rencontrera dans la réalité. Cela doit-il amener à disposer de configurations réelles différentes avec toutes les combinaisons possibles de composants défectueux ? Il est évident qu'une telle solution n'est pas sérieusement envisageable, autant pour des raisons de coût (faut-il casser des machines pour savoir les réparer ?) que pour des raisons d'explosion combinatoire des cas à prendre en considération.

● *La Difficulté d'évaluation des compétences effectives :*

Un autre problème soulevé est celui de l'évaluation effective des compétences des stagiaires à l'issue de leur formation. Cette évaluation est faite traditionnellement à l'aide de questionnaires visant à vérifier leurs connaissances et aptitudes. A l'expérience, on s'aperçoit qu'il existe une réelle distorsion entre

les capacités et compétences supposées d'un technicien, par exemple, et son comportement effectif sur le terrain.

Donc le recours à la simulation semble globalement nécessaire.

1. LA SIMULATION :

Selon la définition du dictionnaire, la simulation est considérée comme l'action *d'imiter, de copier, de reproduire*. Cette définition très générale ne permet pas de faire d'hypothèses sur la finalité de la simulation.

2. LES OBJECTIFS DE LA SIMULATION :

Les simulations informatiques peuvent être réparties en trois catégories selon l'objectif qu'elles poursuivent.

On peut ainsi :

- Simuler pour comprendre.
- Simuler pour construire.
- Simuler pour apprendre.

2.1 Simuler pour comprendre :

L'approche consiste ici à progresser dans la *compréhension d'un phénomène réel* en proposant un modèle (le plus souvent numérique), et en comparant d'une part, les résultats produits par une simulation de ce modèle et d'autre part, les phénomènes constatés dans le monde réel.

Cette démarche est utilisée aujourd'hui à grande échelle dans tous les domaines scientifiques ou techniques tels que l'étude de phénomènes météorologiques, astronomiques, nucléaires, épidémiologiques, etc.

2.2 Simuler pour construire

Cela consiste à simuler un nouvel objet avant de le créer véritablement. Cet usage sert le plus souvent à proposer et valider des solutions variées pour un problème donné, en évitant de toutes les réaliser concrètement. On peut citer comme exemples :

- Les logiciels de conception assistée permettant de créer des maquettes d'appareils ou de dispositifs techniques avant de décider leur développement concret.
- Etc.

2.3 Simuler pour apprendre

La simulation est aujourd'hui de plus en plus utilisée dans le processus d'apprentissage. Cet apprentissage peut se faire, par exemple, dans des domaines aussi variés que :

- L'apprentissage de pratiques médicales.
- L'apprentissage de la conduite d'engins.
- etc.

On peut remarquer que selon les contextes, et en fonction des objectifs pédagogiques, il peut être fait appel à des techniques plus ou moins sophistiquées telles que la réalité virtuelle, la manipulation directe, le recours au multimédia.

Pourquoi utiliser la simulation dans le processus d'apprentissage? De Jong [DEJ 91] énonce un certain nombre de raisons qu'il qualifie pour certaines *d'affectives* et pour d'autres de *pratiques*. Il cite parmi les raisons affectives, l'attrait de la simulation pour l'apprenant, l'augmentation de sa motivation, une meilleure compréhension des phénomènes, une plus grande aptitude à l'adaptation pour des

problèmes similaires dans d'autres contextes, etc. Parmi les raisons pratiques, le recours à la simulation est dû au fait que [DEJ 91, HER 94] :

- Travailler sur le système réel peut être trop coûteux ou trop long.
- Travailler sur le système réel peut être dangereux pour l'homme, l'environnement ou le matériel.
- Travailler sur le système réel peut être source d'angoisse pour un débutant.
- Dans une simulation, on peut introduire des situations d'extrême gravité pour entraîner l'apprenant à réagir.
- Dans une simulation, on peut changer l'échelle de temps pour améliorer la compréhension.
- Dans les simulations on peut simplifier ou altérer une réalité pour mieux l'étudier.

2.4 Et les autres simulations ?

On citera en particulier tous les logiciels de jeux qui prolifèrent à l'heure actuelle. Ces applications n'ont, le plus souvent, pas d'autre but avoué que celui de divertir. Il n'empêche que leur pratique peut entraîner de façon indirecte une modification de la connaissance, de la capacité de raisonnement ou du savoir-faire des utilisateurs.

3. OU CLASSER LA SIMULATION DANS L'EAO ?

Afin de situer les logiciels de simulation pédagogiques parmi les autres logiciels d'apprentissage, nous allons, tout d'abord, rappeler rapidement quelques classifications proposées.

3.1 Approche classique et approche cognitive

Une classification courante consiste à distinguer parmi les logiciels éducatifs ceux qui se réclament de l'intelligence artificielle et les autres. S'appuyant sur les techniques mises en oeuvre pour la réalisation des logiciels concernés, cette classification a initialement donné naissance à deux appellations différentes :

- L'EAO caractérise les logiciels pédagogiques ne mettant pas en oeuvre des techniques d'intelligence artificielle
- l'EIAO caractérise les logiciels pédagogiques mettant en oeuvre des techniques d'intelligence artificielle.

Le terme "intelligemment" du sigle E.I.A.O. atteste de la volonté d'intégrer suffisamment de capacités de *raisonnement* dans le système pour que celui-ci soit à même de résoudre les problèmes posés, de s'adapter au comportement de l'apprenant et d'expliquer la démarche qu'il suit.

On assimile fréquemment le terme d'intelligence artificielle à deux notions qui semblent différentes :

- Premièrement, une volonté de séparer, d'une part, les connaissances relatives au système à modéliser, et d'autre part, le mécanisme d'exploitation de ces connaissances fondées sur une analogie avec le raisonnement humain. On parle généralement dans ce cas de *systèmes à base de connaissances*.
- Deuxièmement, les moyens techniques utilisés pour représenter les connaissances et les mécanismes d'exploitation. Parmi ces moyens, on peut citer : les *systèmes à règles de production*, les *réseaux sémantiques*, les *objets structurés*.

Dans le domaine précis de l'Enseignement Assisté par Ordinateur, Nodenot [NOD 92] définit donc l'approche *cognitive* en opposition à une approche *classique*. L'approche cognitive propose de se baser sur le raisonnement pour représenter :

- L'expertise du domaine.
- L'expertise pédagogique.
- Le comportement de l'élève.

Le développement d'un logiciel éducatif à partir d'une approche cognitive pose de nombreux problèmes. Nodenot [NOD 92] pose la question suivante :

"Comment demander à des pédagogues d'être à la fois capables :

- *de définir les connaissances nécessaires au logiciel éducatif pour qu'il soit "intelligent" (expertise du domaine, des stratégies pédagogiques et du comportement),*
- *De choisir le formalisme de représentation des connaissances le mieux adapté pour implémenter une telle expertise, de coder dans ce formalisme des connaissances qui ne s'y prêtent pas facilement, et de gérer la méta-connaissance qui constitue le cœur d'un tel système ?".*

Ce qui entraîne donc le recours à une approche dite "classique".

C'est-à-dire que, de façon générale, nous ne tenterons de modéliser le raisonnement que lorsqu'il correspond à une démarche habituelle de modélisation du domaine pour une certaine catégorie de problèmes (par exemple, aide au diagnostic). Nous n'étendrons pas cette approche à la modélisation de l'expertise du pédagogue ou du comportement de l'apprenant.

3.2 Classer selon les approches d'apprentissage

Une seconde classification nous paraît également intéressante ; elle consiste à prendre en compte la logique d'apprentissage proposée par les logiciels pédagogiques.

Nous nous référerons à la classification proposée par Thierry Mengelle [MEN 95] qui distingue deux approches : l'approche *transmission de connaissances* et l'approche *découverte / construction de connaissances*.

3.3 Approche transmission de connaissance

Les logiciels issus de l'approche transmission de connaissances regroupent les *tuteurs de l'EAO classique* ou *didacticiels* et les *tuteurs intelligents*. Les premiers sont basés sur une décomposition de la matière en unités élémentaires dont l'enchaînement est préétabli, sur une évaluation de l'acquisition après la présentation de chaque unité, et sur une progression conditionnée par la réponse fournie. Les seconds, les tuteurs intelligents, cherchent à adapter au mieux la transmission de connaissances aux caractéristiques de l'apprenant. Cette adaptation est réalisée en intégrant explicitement dans le logiciel, différentes expertises concernant respectivement le domaine, les stratégies pédagogiques, l'apprenant, les interfaces homme-machine [NIC 88].

3.4 Approche découverte-construction de connaissances

Les logiciels issus de l'approche découverte-construction de connaissances regroupent les *hyper documents*, les *environnements d'apprentissage* et les *micro-mondes*. Présentons rapidement chacun de ces types de logiciels pédagogiques, afin de mieux définir la place des simulations pédagogiques. Nous

aborderons plus tard le contexte pédagogique dans lequel ils pourront être insérés.

Les hyper documents

Le concept *d'hyper document* (ou de façon plus précise *d'hypertexte* ou *hypermédia*) permet "l'immersion" dans une mer "d'information" où le lecteur "navigue" selon un processus associatif [MEN 95]. Ce type de logiciel connaît actuellement un engouement remarquable en particulier grâce à l'essor du World Wide Web. Un hyper document peut être considéré comme un réseau de nœuds et de liens, où les nœuds représentent les contenants d'information, et les liens, des relations entre les nœuds ou portions de nœuds.

L'utilisation pédagogique des hyper documents induit en général un *apprentissage par la découverte* [VIV 91] : l'apprenant a alors la tâche de donner du sens au chemin qu'il construit à travers la connaissance proposée.

Les micro-mondes et les environnements d'apprentissage

Quand il a introduit le concept de *micro-monde*, Papert [JEAP96] a en premier lieu basé son approche sur une démarche d'innovation pédagogique en reprenant les théories de J.Piaget. Papert propose d'offrir un environnement ouvert d'apprentissage dans lequel l'apprenant peut développer ses propres modèles du monde réel afin de les expérimenter par la simulation. Les micro-mondes permettent ainsi aux apprenants de développer et de corriger leurs propres théories, comme dans le cas de LOGO. Citons dans ce domaine, les exemples suivants :

- MEMOLAB [PMEN91] destiné à l'apprentissage de la psychologie expérimentale : au sein des micro-mondes fournis, l'apprenant construit une expérience, la simule et analyse les résultats obtenus.

La notion *d'environnement d'apprentissage* [HER 94, MEN 95] est davantage basée sur la simulation d'un modèle que sur sa construction. L'élève apprend en modifiant les paramètres et en observant les conséquences de ses actions dans l'environnement simulé. La frontière entre environnements d'apprentissage basés sur la simulation et micro-mondes n'est pas toujours simple à tracer.

Par exemple, le simple fait d'ajouter un composant dans un circuit électrique relève-t-il de l'un ou de l'autre concept ?

Soulignons que ces différents types d'environnements (hyper documents, environnements d'apprentissage et micro-mondes) peuvent être proposés de façon conjointe [VTV 91]. Il est en effet intéressant d'imaginer que les connaissances proposées dans un hyper document seraient renforcées par la mise à disposition de simulations lorsque cela est pertinent. Inversement, un apprenant en train de manipuler une simulation et s'apercevant qu'il ne maîtrise peut-être pas les connaissances nécessaires pourra avantageusement rechercher les connaissances qui lui font défaut à l'intérieur d'un hypertexte [HER 94].

La figure suivante montre où se situe l'utilisation de la simulation pédagogique dans les différentes approches d'apprentissage.

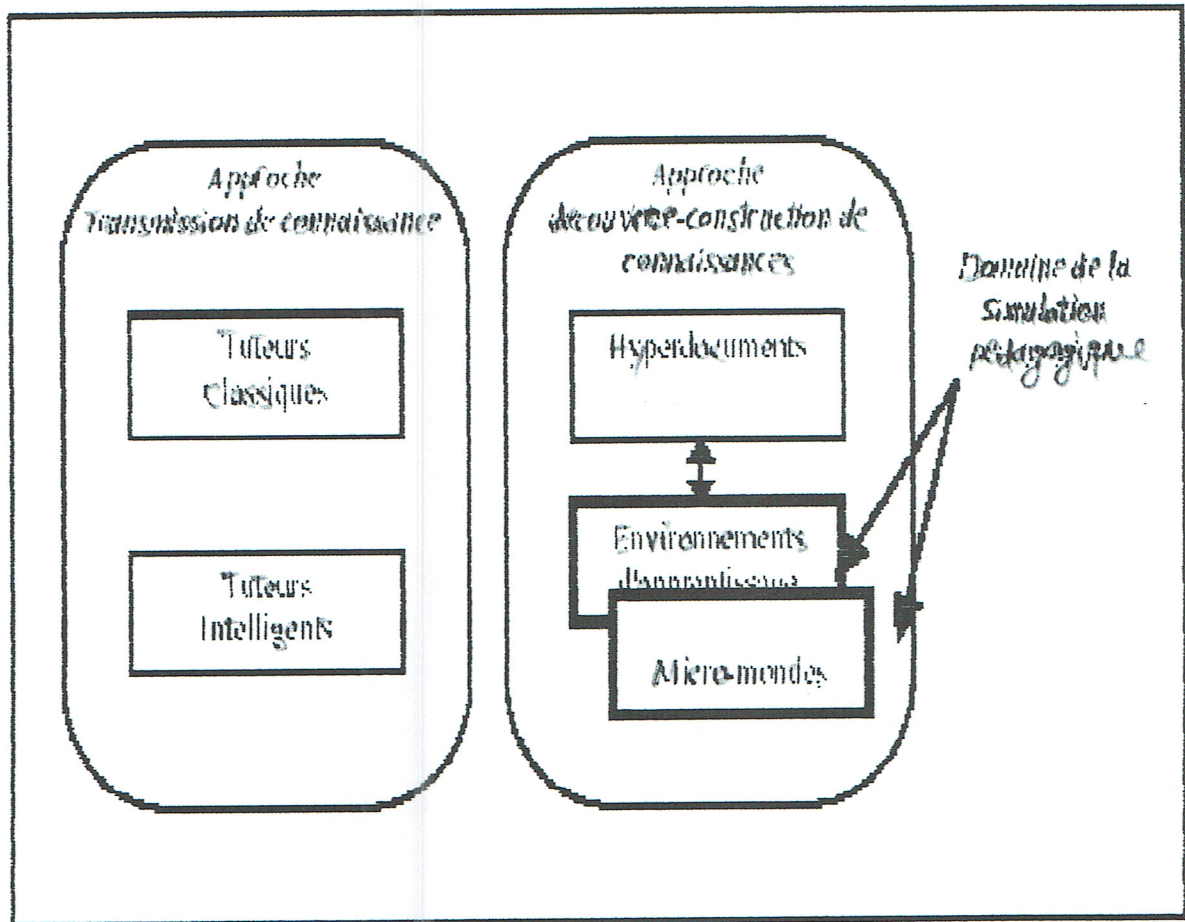


Fig-4-

4 .LES SIMULATIONS PEDAGOGIQUES :

Comme nous venons de le voir, les simulations pédagogiques relèvent d'une approche découverte-construction de connaissances. Essayons de préciser quels types de connaissances sont visés dans notre contexte.

De façon traditionnelle, on fait une différence entre les connaissances conceptuelles (le savoir), et les connaissances procédurales (le savoir-faire). Dans le domaine précis de la simulation pédagogique, les connaissances que devra acquérir l'apprenant pourront être de l'une ou l'autre catégorie.

4.1 Simulations et contextes d'utilisation pédagogique

Les simulations pédagogiques peuvent être utilisées dans plusieurs contextes :

- *Simulations pédagogiques intégrées au sein d'un enseignement traditionnel avec un pédagogue.*

Par exemple, pendant des sessions de formation continue réservées aux personnels techniques de grandes sociétés. Elles viennent en tant qu'illustration du cours dispensé de façon traditionnelle, et peuvent être utilisées en présence du pédagogue. Dans ce cas précis, leur rôle sera souvent mineur et consistera à orienter si nécessaire les apprenants.

- *Simulations pédagogiques utilisées de façon autonome.*

Pour rapprocher la formation des besoins spécifiques de l'utilisateur (on se situe ici) l'usage du logiciel est individuel et autonome. Ce type d'utilisation peut avoir deux types d'objectifs :

- *L'apprentissage par l'apprenant d'un domaine technique particulier sur les matériels ou logiciels dont il doit assurer l'installation ou la maintenance.*
- *La certification qui recouvre, la vérification des aptitudes techniques d'un élève à résoudre un problème. Dans ce cas, l'élève n'est pas en situation d'apprentissage mais d'évaluation.*

4.2 Simulations et objectifs de l'apprenant

Un certain consensus émerge actuellement pour affirmer que *“la logique de transmission des connaissances utilisée seule ne fonctionne pas, pas plus d'ailleurs que la logique de construction personnelle de connaissances pour un*

élève largué seul dans un micro-monde ” [VIV 91]. De même Mengelle fait remarquer que "pour être efficace, l'utilisation d'un micro-monde, d'un environnement d'apprentissage ou d'un hypertexte doit être finalisée" [MEN 95]. L'objectif peut idéalement être un projet personnel de l'apprenant comme dans le cas des micro-mondes, mais il est le plus souvent fixé par l'enseignant.

En ce qui concerne précisément les simulations, le fait de fixer un objectif à l'apprenant présente de nombreux avantages par rapport au fait de lui laisser toute liberté d'utilisation. Par exemple, Herzog et Forte [HER 94] comparent simulation à but et simulation libre dans les termes suivants :

- La simulation à but offre un défi (un *challenge*) à l'apprenant et renforce ainsi sa motivation.
- La simulation à but donne un sens aux actions de l'apprenant, une orientation à son comportement.
- La simulation à but évite à l'apprenant de modifier de façon aléatoire ou incohérente les paramètres de la simulation.
- La simulation à but donne à l'apprenant la possibilité d'examiner certains aspects à côté desquels il serait sans doute passé s'il avait utilisé librement la simulation.

Le problème posé par la simulation pédagogique est la mise en œuvre. La solution préconisée par Hewlett Packard [JEAP96] est de développer un environnement permettant à des auteurs non-spécialistes en programmation de créer rapidement des applications où la simulation est "réduite au contexte pédagogique pertinent", et où le contrôle pédagogique permet de fixer des objectifs à l'élève et d'évaluer son comportement.

Nature du contrôle pédagogique

Les besoins en formation exprimés au début font référence à la simulation à but, de résolution de problèmes. Le contrôle pédagogique consiste donc le plus souvent à [JEAP96] :

- Assigner un objectif à l'apprenant. Cet objectif peut se limiter au fait d'amener le système simulé dans un état ou un ensemble d'états déterminés.
- Vérifier éventuellement certaines contraintes (nature des opérations effectuées, dépassement de temps) pendant la recherche de l'objectif. Cette vérification peut donner lieu à une intervention "en direct" pour indiquer à l'apprenant d'éventuelles erreurs ou anomalies, pour l'aiguiller vers la bonne solution. Elle peut également donner lieu à une intervention "en différé" pour permettre à l'apprenant d'évaluer lui-même son comportement (auto-évaluation) ou pour permettre au formateur d'évaluer les compétences de l'apprenant (évaluation).

CHAPITRE 4

Modèle Expert & Architecture du simulateur pédagogique

I. INTRODUCTION :

L'objectif visé par le projet dans lequel s'inscrit ce travail est la conception et la réalisation d'un générateur de simulateurs pédagogiques.

La simulation est aujourd'hui de plus en plus utilisée dans le processus d'apprentissage, pour les raisons citées au chapitre précédant (pratiques et affectives).

D'après [MSIO99], dans un simulateur pédagogique (ou un simulateur pour l'apprentissage), les problèmes liés à l'apprentissage, les problèmes liés à l'expertise et la gestion de celle-ci sont d'une importance capitale. En effet, le simulateur doit avoir une parfaite connaissance de l'expertise du système simulé. Ceci lui permet, à travers *une interface spéciale* d'alimenter le modèle expert avec des connaissances d'entrée sous forme de modèle décrivant l'état du système. C'est également à travers cette interface qu'une anomalie est détectée et envoyée à l'expert pour pouvoir fournir un diagnostic et planifier un scénario de maintenance.

Donc, le simulateur dispose d'un ensemble de connaissances dans le domaine d'expertise. C'est d'ailleurs grâce à elles qu'il peut atteindre son objectif de correspondance formelle imagée avec le système réel.

L'autre élément essentiel dans toute simulation pédagogique est l'évaluation de l'apprenant. Remarquons d'abord que c'est le maillon faible de la majorité des systèmes d'EAO actuels. Ceci est dû généralement à son manque de flexibilité, qualité essentielle pour l'évaluation. Si nous voulons, que cette évaluation soit la plus fine possible, l'évaluateur pour la réaliser, doit s'appuyer principalement sur l'expertise.

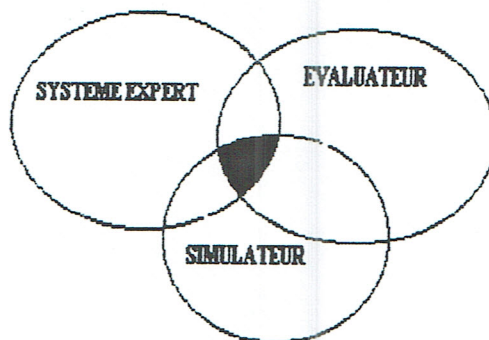


Fig-5-

Afin que ces trois composantes essentielles (simulateur, évaluateur, *modèle expert*) puissent cohabiter en totale harmonie, il faut qu'elles s'appuient sur une base de connaissances commune[BEN03a]. L'importance du *modèle expert* est ainsi clairement établie.

Lors de la conception de celui-ci, trois lignes directrices ont guidé nos travaux : la diversité des connaissances, la réutilisation et la standardisation. Ceci s'explique par la prise en charge de plusieurs mesures :

- Ne pas dédier le système à un procédé particulier ;
- Considérer les interactions (expert-simulateur, expert-évaluateur, ...) de manière à construire un système ouvert.
- Etc.

II. MODELE EXPERT :

Un système expert est un système informatique qui émule l'habilité d'un humain à prendre une décision[GRIA94].

Notre objectif est de répondre au rôle assigné à notre système expert qu'est le diagnostic, la détection et la maintenance de pannes tout en assurant une certaine modularité dans la base de connaissances du système, afin de pouvoir la réutiliser ultérieurement par les autres agents impliqués dans le simulateur pédagogique(simulateur, évaluateur, pédagogue,...).

Nos efforts se sont focalisés sur le choix d'un amalgame de représentation pour pouvoir exploiter connaissances superficielles & profondes, déclaratives & procédurales.

Pour mettre au point un tel système, nous nous sommes inspirés du modèle cognitif de R. Case qui explique, dans le cadre des recherches dites « néo-piagetiennes », les mécanismes d'apprentissage chez l'apprenant.

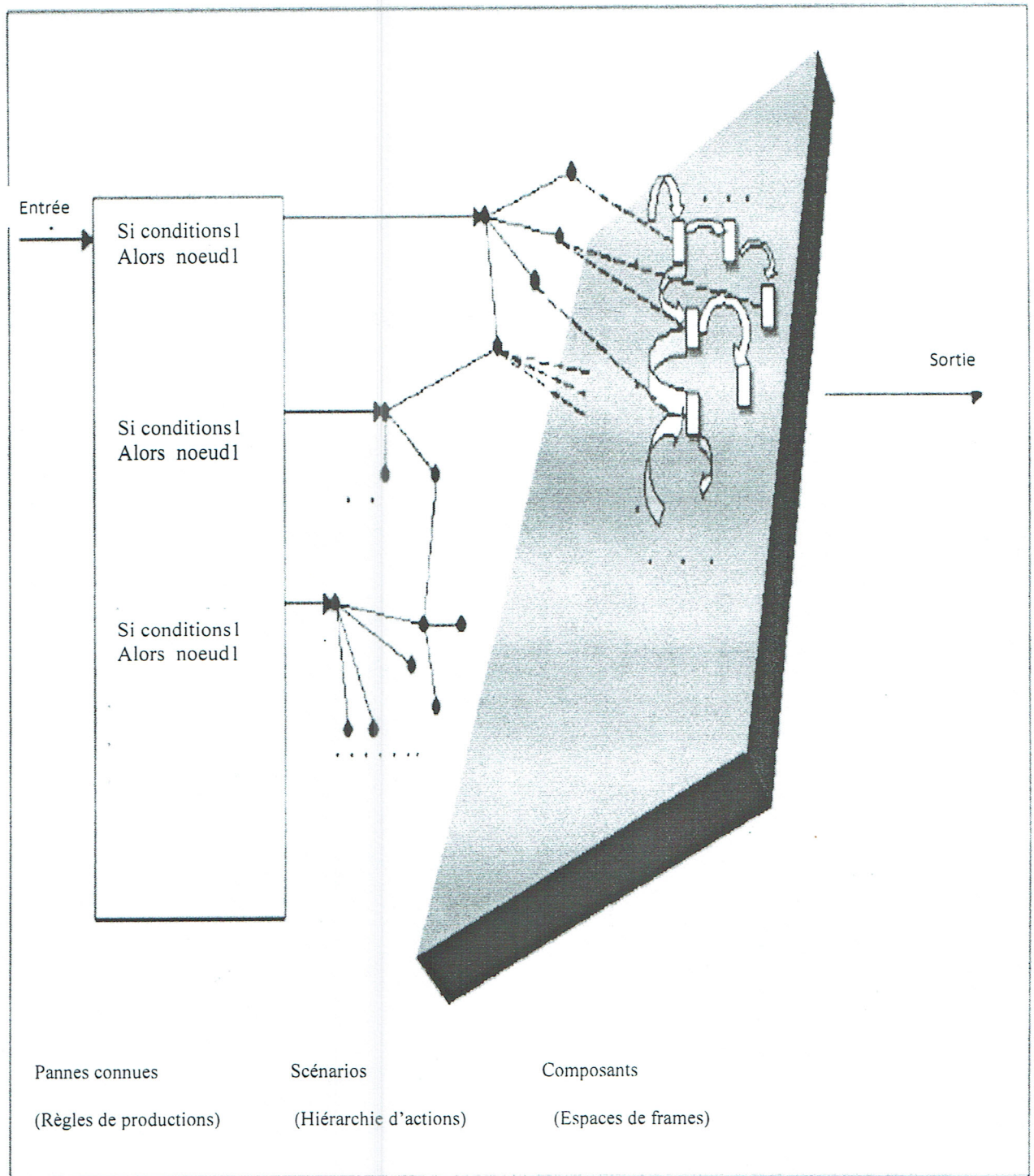
Quel que soit le domaine de connaissances, Case analyse la conduite du sujet (pour nous c'est l'expert humain face à une situation de panne) en la considérant comme l'exécution d'un plan interne « mental plan » de résolution de problème.

L'organisation du plan s'articule autour des 3 composantes suivantes [PMEN91]:

- La représentation de la situation du problème : ensembles de conditions pour lesquelles le plan d'action est pertinent (entrée).
- La représentation des objectifs à atteindre : ensemble des nouveaux états vers lesquels le plan est orienté (sortie).
- La représentation de la stratégie à mettre en oeuvre : séquence d'opérations qui permettent de passer de la situation-problème à la situation-objectif (scénarios).

Notre base de connaissances se compose de deux parties essentielles. L'une renferme l'expérience et la gamme de pannes connues. Cette partie constitue les connaissances superficielles d'une issue empirique. Cette issue peut représenter un handicap en cas d'une nouvelle panne inconnue ou une éventuelle explication nécessitant un degré de granularité beaucoup plus fin. Afin d'enrichir le système, au fur et à mesure que de nouveaux états de pannes apparaissent, nous avons pensé à l'adjonction d'une deuxième partie qui représente la théorie du domaine. Nous avons affaire ici à un zoom sur les règles, rôles et formules qui régissent le domaine étudié (mécanique, électronique, médecine, ...).

Nous aboutissons alors, à la vue tridimensionnelle de la base de connaissance suivante :



Les règles de production sont les plus appropriées pour une représentation déclarative de l'expertise accumulée. Elles permettent de jouer du rôle de dispositif de sélection pour une éventuelle classification des pannes.

Ceci ne contredit pas les inconvénients soulevés au premier chapitre car c'est seulement une partie de la base qui est représentée ainsi.

Les scénarios de maintenance associés aux pannes connues sont décrits en termes d'un ensemble d'actions ordonnées dans le temps.

En vue de construire la deuxième partie de la base, il faut déterminer, a priori, les éléments de notre système, car le niveau de raffinement est un facteur important pour l'évaluation du bon fonctionnement (temps, espace) et de la fiabilité du mappage du monde réel (exactitude du résultat).

Nous admettons que le système réel est constitué de :

- *Ensemble de composants* : un composant représente toute entité matérielle ou abstraite (turbine, gaz, interrupteur, ampoule, ...).
- *Ensemble d'actions* : c'est toute action que l'expert humain est astreint à effectuer sur les composants joignables (atteignables) dans un état donné (augmentez-vitesse-turbine, appuyez-interrupteur, ...).
- *Ensemble des relations* : ce sont exclusivement les relations entre-composants qui sont considérées. Ces relations représentent le rôle attribué à chacun des composants. Ces relations peuvent expliquer l'effet d'action indirecte (turbine-vari-pression-gaz, interrupteur-contrôle-ampoule, ...).
- *Ensemble de contraintes* : ce sont les contraintes temporelles et d'intégrité reliant les actions.

Les frames sont les plus appropriées pour représenter les composants, par ce qu'elles offrent la possibilité d'intégrer l'aspect procédural et déclaratif et d'organiser hiérarchiquement les entités considérées. Du moment que le système est amené à inférer sur les deux parties, le choix des frames se confirme, parce qu'elles facilitent l'inférence[RIC87]de faits non encore observés à partir de situations nouvelles.

Tâches :

Détection de pannes :

Suite à certaines manœuvres effectuées sur le système réel, le résultat pourrait ne pas être, pour une raison ou une autre, un des résultats prévus.

En premier lieu, suivant l'état actuel du système, une recherche se fera au niveau des pannes connues. Si la recherche est fructueuse, la séquence d'actions correspondantes est énoncée, le système en fera usage en cas de besoin. En cas de recherche infructueuse, notre système va essayer de détecter les incohérences qui peuvent être classées-en :

- inter-composants
- entre-composants

maintenance :

Il s'agit de faire face, dans la limite du possible, à une situation de panne. Cette tâche utilise les résultats de la tâche précédente. Nous nous intéressons aux composants dont les états sont jugés erronés, mettant en instance des composants dont les états sont inconnus. Via les relations entre-composants et les actions applicables à partir de cet état, nous cherchons une séquence d'actions pour forcer un changement des états des composants actuels. Pour les composants à état inconnus, nous utilisons

des états par défaut, qui peuvent être modifiés au profit d'autres composants dont les états sont connus. Tout ceci dans le sens d'ajuster l'état du système en vue d'obtenir un ou plusieurs cas classés normaux. A la fin du traitement, l'état du système ayant déclenché cette panne ainsi que la séquence d'actions trouvées seront testés et ajoutés à la base des règles de productions.

III. ELEMENTS DU MODELE PROPOSE :

▪ *Composant :*

Chaque composant est représenté par tout ce qui peut être significatif en termes de **paramètres**. Nous serons sensibles au paramètre à capteur réel. Attachées à ces paramètres, des **procédures et/ou fonctions** sont prévues lors des changements significatifs de leurs valeurs. Le composant peut passer par plusieurs états le long de son existence dans le système. Chaque état peut englober un vecteur des valeurs et/ou intervalles de valeurs des paramètres. Nous admettons que ces états sont en exclusion mutuelle. L'équation *état=vecteur* de valeurs présente la correspondance entre le niveau qualitatif (état) et quantitatif (vecteur). Cette décomposition permettrait un raisonnement qualitatif en cas de manque d'information.

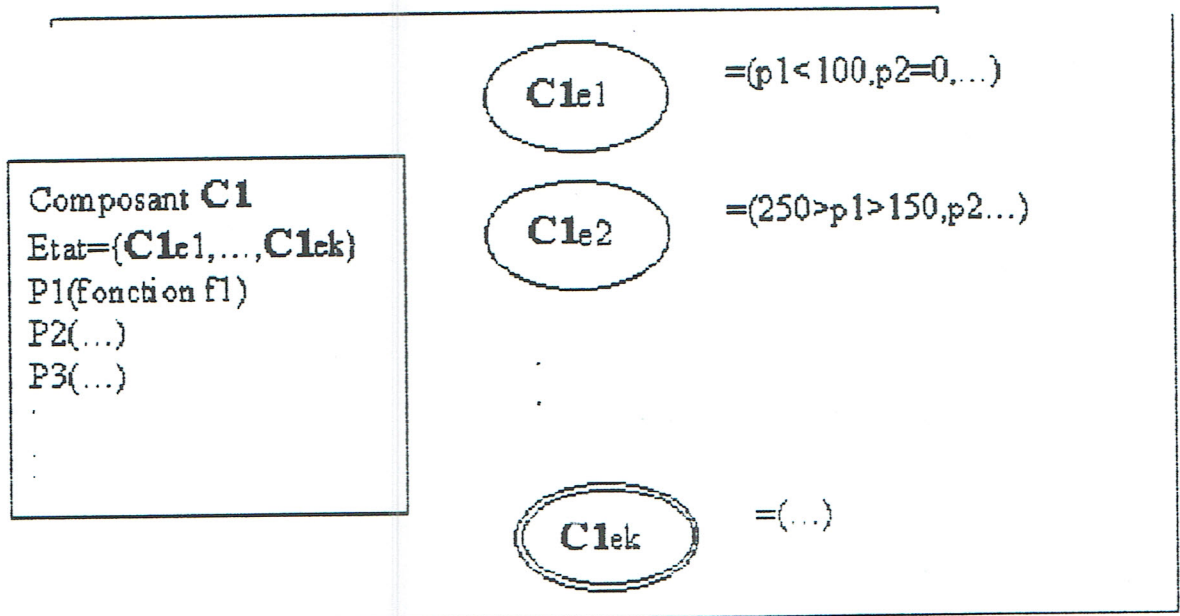


Fig-7-

Etat est un ensemble d'état possible du composant, $Etat = \{E1, E2, \dots, Ek\}$. Cet ensemble est fini. Nous distinguons les états finaux, à partir desquels le composant n'admet pas un changement d'état (état de défaillance incontrôlable) ainsi que deux classes d'états (sain, anormal). Cette vue ensembliste permettrait, dans une étape ultérieure du projet, d'insérer la notion de flou dans le simple diagnostic d'état d'un composant.

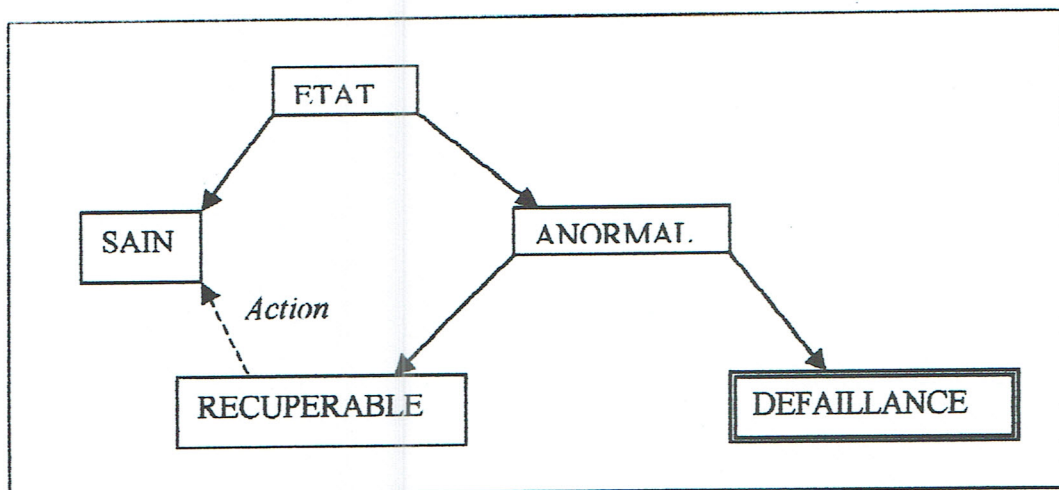


Fig-8-

Les composants peuvent être regroupés sous une forme **hiérarchique** (liés par la relation composé-de) et transformer ainsi des relations multidimensionnelle en

relations binaires. Une telle classification servira à graduer les niveaux de détails. Ceci permettra d'exprimer la même situation avec des vues différentes.

▪ **Action :**

Nous considérons les actions à effet initiateur, c'est-à-dire les actions directes effectuées dans la réalité sur les composants. Les actions ont pour effet direct le changement d'état du ou des composants. Face à un état du système, seul un nombre limité d'actions seront susceptible à être appliquées.

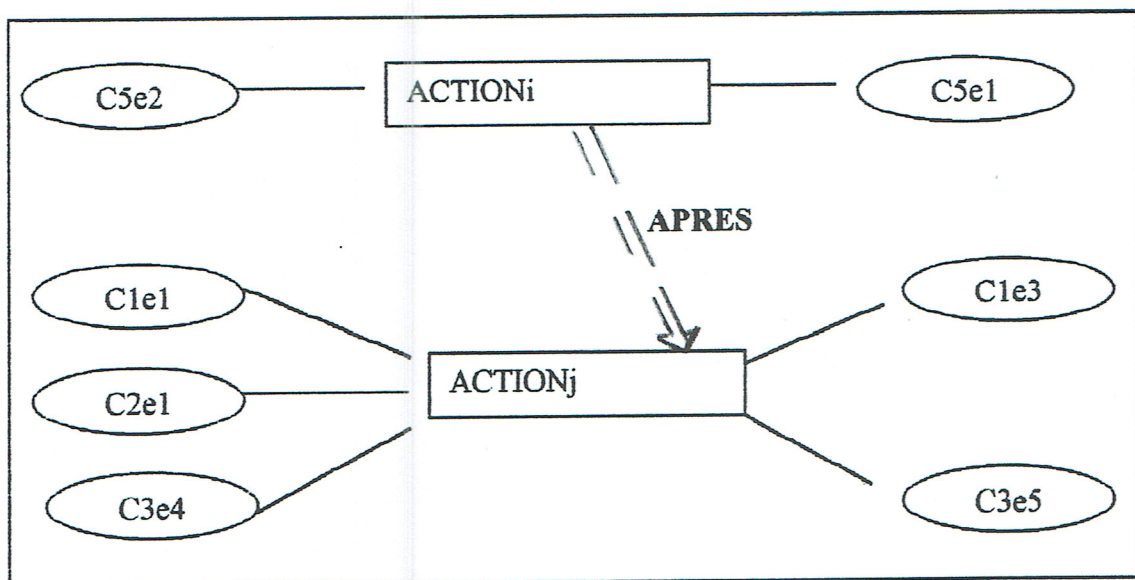


Fig-9-

Donc nous définissons un ensemble d'actions du système, soit $Action = \{A1, A2, \dots\}$, chacune ayant un ensemble de conditions d'application. Une action est caractérisée par une date (T_i) de début et une durée (D_i) d'application qui influencera la bonne propagation de son effet aux composants concernés. Donc l'intervalle $[T_i, T_i + D_i]$ est la période d'exécution, qui peut être, le cas échéant, un instant ($D_i = 0$ et action = événement). Ceci allie notion d'intervalle et instant dans l'aspect temps développée par Allen et McDermott (présenté au 2^{iem} chapitre)

- **Contraintes :**

L'intégration d'un niveau Meta pour le contrôle et le maintien de la cohérence (ainsi cité au 2ieme chapitre) au niveau des actions s'est avérée indispensable. Chaque action est considérée comme une variable X_i pouvant s'employer à date de début et pendant une durée. Les contraintes temporelles portant sur ces actions peuvent être : en parallèle, après, avant, etc. Les contraintes d'intégrité assureront la non-interruption de la propagation d'effet pendant une transition atomique du système.

- **Relation(rôle) :**

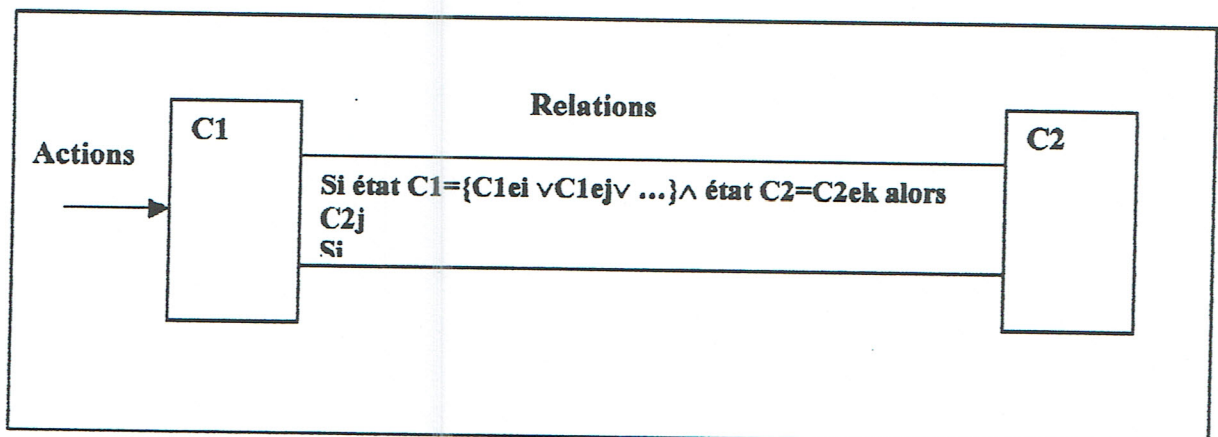


Fig-10-

Chaque attribut ou ensemble d'attributs qui acquièrent certaines valeurs (concrétisant un état du composant) forcerait le changement d'un autre composant. Ce fait montre le rôle que joue le premier composant par rapport au second (transmettre un mouvement, ...). Ces relations peuvent être reliées aussi aux variables temporelles : la durée et la date de début.

La durée et la date de l'action déclenchée constituent un facteur important dans la continuité de la propagation de l'action, car l'application du rôle composant dispose d'une durée de propagation d'effets propre à chaque lien entre

composants. On peut dire que ces relations constituent un canal ou protocole de communication entre les composants.

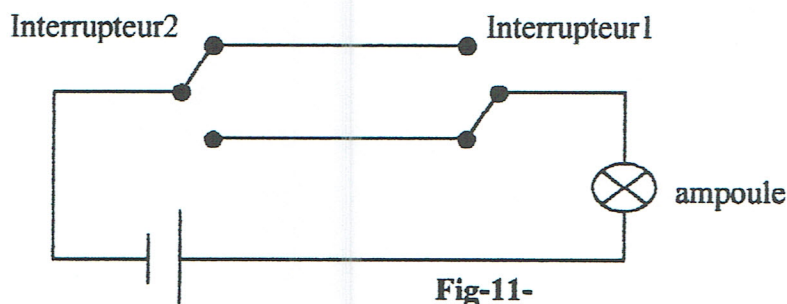
Des relations dans le sens inverse serviront pour exprimer un raisonnement de causalité pour :

- Déceler l'ensemble d'actions dont l'effet indirect peut remédier à un état de panne.
- Aussi bien qu'une éventuelle explication causale du comportement du système.

Dans l'ontologie du temps que nous utilisons, un instant représente une période stable. A chaque instant, on peut donc associer une situation. De plus, on choisit d'ignorer les intervalles de temps intermédiaires correspondant a des changements. En conséquence l'échelle du temps est discrète.

On peut ainsi modéliser des scénarios sans prendre en compte tous les détails des changements mais seulement l'état du monde avant et après l'exécution de chaque action. Ce style de représentation permet d'avoir une vue générale de l'évolution des systèmes.

IV. EXEMPLE : le circuit électrique de Lifschitz



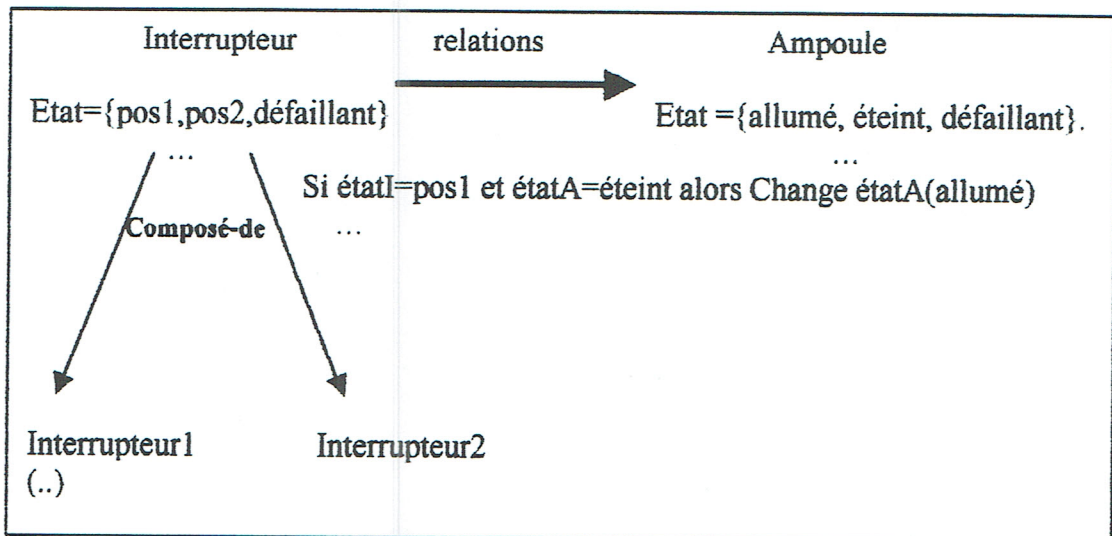


Fig-12-

IV. RAISONNEMENT : le raisonnement est intégré à plusieurs niveaux :

- *Raisonnement sur les actions :*

Comme cela a déjà été abordé au chapitre 2, la théorie des formalismes de raisonnement sur les actions se heurte à plusieurs problèmes dont les solutions connues (dépendance /causalité) présentent encore des insuffisances [CAST00]. On essaye d'appliquer le dicton : 'diviser pour régner '. En éclatant condition d'exécution, effet direct et indirect sur trois niveaux :

- Contraintes.
- Action.
- Relations entre-composants.

Ce qui est totalement en accord avec[CAST00], dans le fait que la résolution des problèmes du décor et de la ramification passe par une représentation plus complète des connaissances à modéliser.

○ *La résolution du système de contraintes :*

A partir d'un ensemble d'actions sélectionnées (relativement à l'état actuel du système), le recours aux techniques de la vérification et maintien de la cohérence s'avère indispensable pour vérifier et filtrer les actions afin d'avoir la séquence adéquate [ANNF94, GENJ96]. Ces techniques feront intervenir seulement le réseau de contraintes portant sur les actions sélectionnées.

○ *Le raisonnement par défaut :*

Pour certains paramètres dont les valeurs ne peuvent être captées tout le temps, nous sommes obligés de fixer des valeurs par défaut. Ces capteurs sont connus à l'avance. Les « valeurs par défaut » serviront en cas de manque d'informations. Celles-ci seront les plus sensibles à être modifiées au profit des valeurs confirmées, en vue de diagnostiquer une panne.

○ *raisonnement qualitatif :*

Il s'agit de travailler en étroite collaboration avec les experts du domaine étudiés pour spécifier les états pertinents d'un composant et le lien avec le niveau quantitatif. Cependant ce raisonnement peut être intégré à deux niveaux :

- Au niveau formules qui lient les paramètres, par l'emploi d'un modèle qualitatif [JEAD90] (voir chapitre 2).
- Au niveau composant (état) par une approche intuitive.

V. ARCHITECTURE D'UN SIMULATEUR PEDAGOGIQUE :

On a vu dans le chapitre précédent que d'après [JEAP96], la simulation pédagogique était classée selon les approches d'apprentissages dans la catégorie découverte-construction de connaissances, qui renferme : environnement d'apprentissage, micro-mondes, etc.

La construction d'un simulateur pédagogique complet est le résultat visé.

La complexité de cette tâche a rendu indispensable la décomposition du système en sous-systèmes coopératifs au sens de la collaboration par l'interaction et le partage d'informations.

L'architecture du système s'est nettement éclaircie après la spécification du modèle expert. Dans cette architecture, nous distinguons en particulier : l'expert, l'évaluateur, le simulateur, le pédagogue et l'interface. [BEN03b]

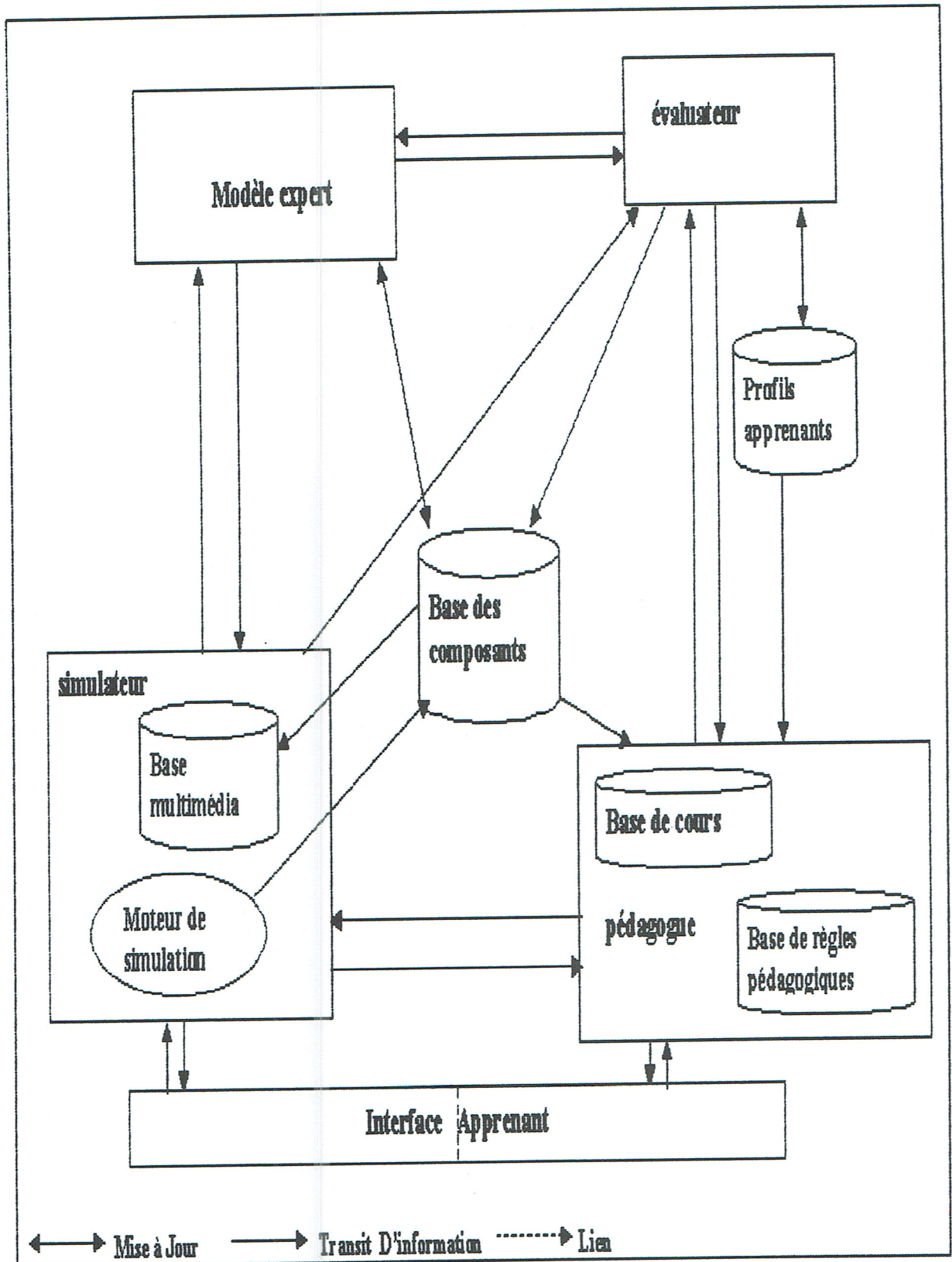


Fig-13-

l'expert :

L'expert est à la fois capable de faire face à une situation de panne et de générer un modèle de réactions (séquences d'actions et états) que l'évaluateur et le simulateur pourront exploiter de façon indépendante. Le premier l'utilise pour mesurer la distance entre deux réponses et le second pour transmettre un comportement émanant d'un expert.

l'évaluateur :

L'importance de « la base théorie du domaine » émerge surtout du fait que l'évaluateur peut en construire un croquis contenant un réseau de mesures statistiques. Chaque élément (action, contrainte, relation, composant) est représenté par deux compteurs nb-correct et nb-faux, qui comptabilisent pour la même session (scénarios) de simulation, le nombre de manipulations correctes et erronées de chaque élément impliqué. Le calcul de ces deux nombres tient compte de la réponse du modèle expert.

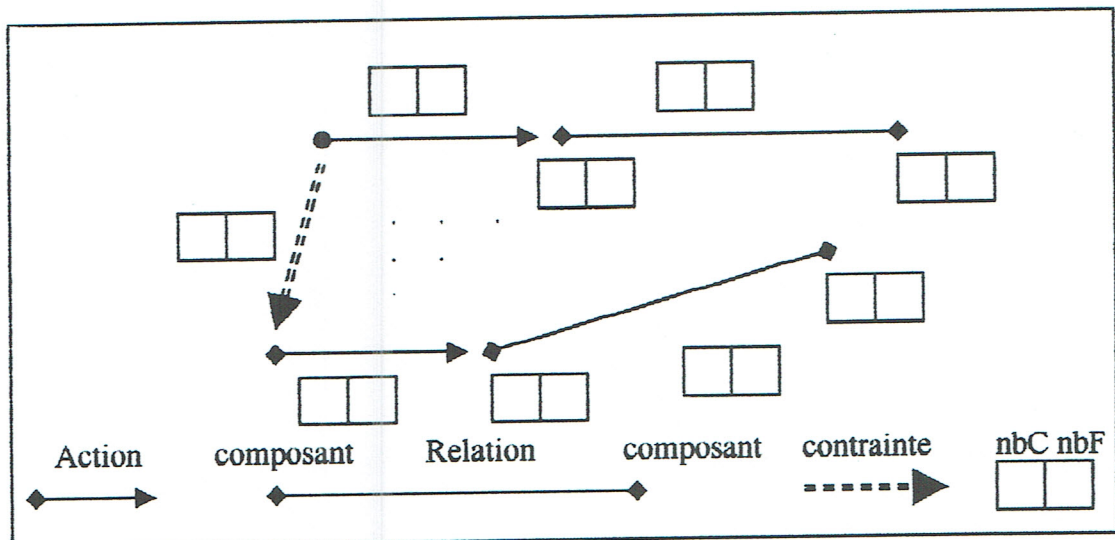


Fig-14-

$$\text{Estimi} = \text{nb-correct} / (\text{nb-correct} + \text{nb-faux}).$$

L'évaluateur sélectionne un vecteur de grilles de pondérations (coefficients). Ce vecteur suit la perception du système dans sa décomposition (en cases étiquetées : composant, actions, contraintes...). La note est calculée et transmise au pédagogue. Elle peut être en cas de besoin, remplacée (défuzzification) par une appréciation.

$$\text{Note} = \frac{\sum (\text{Estimi} * \text{coefi})}{\sum \text{coefi}}$$

ceci exprime le calcul usuel, qu'effectue l'enseignant, de la moyenne

Outre le premier croquis que maintient l'évaluateur à son niveau, un second croquis sera fabriqué et maintenu au niveau du profil apprenant (plus global et personnel) et régulièrement mis à jour par l'évaluateur et le pédagogue, qui tient compte, lui, d'autres paramètres pédagogiques.

le simulateur

Le simulateur joue un rôle de pivot. Son premier rôle, via son interface, est de simuler le comportement du système réel. Ceci en coopérant avec l'expert et en se basant sur la base théorie du domaine qui peut être enrichie d'une base multimédia. Par ailleurs, l'aspect pédagogique primant, il intègre un module explicatif. Enfin, il s'occupe d'acheminer vers le pédagogue certains paramètres pédagogiques.

La simulation peut être utilisée de façon autonome (mode libre) ou poursuivre un objectif fixé par le pédagogue (mode guidé).

le pédagogue:

Tous les agents intervenant dans le système, s'évertuent à offrir au pédagogue, selon ses consignes, une image fiable et la moins bruitée possible, de l'apprenant. Ses consignes peuvent être de différentes natures :

choix du scénario, choix de l'objectif pédagogique, ...

C'est en fonction de ces choix que l'évaluateur sélectionnera à chaque fois la grille de pondération adéquate.

Pour donner ses consignes, le pédagogue s'appuie sur des règles pédagogiques appropriées (selon le profil apprenant). Ceci confère au système une grande adaptabilité.

l'interface :

Elle constitue un pilier important dans le système. La problématique de sa conception s'accroît dès que l'on vise un *générateur de simulateurs*. Dans cette architecture, elle présente deux modes de travail : mode simulation et mode cours. Le système, et plus précisément, le pédagogue peut faire basculer l'apprenant d'un mode à un autre selon son niveau (décrit par son profil).

PERSPECTIVES

Nous avons essayé de mettre en œuvre un système pour la simulation pédagogique. Le modèle expert en est une première pierre, nous comptons donner suite à tout cela, dans un avenir proche par :

- La conception détaillée d'un modèle apprenant : l'importance de ce composant est de premier ordre. D'ailleurs c'est l'une des motivations de notre projet. On y trouve certains travaux intéressants à étudier se basant sur la théorie probabiliste tels que [KURV98, XIAN01].
- l'adjonction de la notion de flou dans les mesures et les diagnostics, serait également une orientation intéressante à donner au projet.
- la distribution de cette architecture, ouvrira de grandes portes à un apprentissage coopératif : on a effectivement commencés à établir des réflexions sur le sujet dans [BEN03c], telles que la manière avec laquelle on perçoit cette distribution :

A notre avis cela peut se faire à deux niveaux :

- l'éclatement géographique du système en sous-systèmes
- Apprentissage coopératif dans les mêmes sous-systèmes.

Nous sommes en total accord avec [CARW00], dans le fait que la méthodologie multi-agent peut certainement apporter différents avantages dans le développement d'applications d'éducation dès qu'on a affaire aux concepts de : distance, coopération, intégration de différents composants de logiciel,...

Comme résultat , les système multi-agents (SMA) avec les technologies des réseaux et télécommunications donnent une force aux ressources pour développer les système pédagogiques. On y trouve plusieurs travaux récents tel que [PBRU97,SGAL00].

Ce projet nous a donné l'occasion de découvrir les intersections entre les disciplines, l'emploi des techniques et outils des uns aux profit des autres.

Cela a notamment manifesté chez nous, le désir d'élaborer un travail sur tous les fronts et en parallèle. Ceci étant difficile à réaliser nous essayerons de donner une suite à tout cela.

REFERENCES

- [ANNF94]: ANNIK.F,« Programmation par contraintes »Edition Addison-wesley-1994.
- [BEN03a] H.Bensalem,T.Bensebaa, conception d'un système expert pour la simulation pédagogique, la 1^{iere} conférence internationale SETIT ,SOUSSE, TUNIS 2003.
- [BEN03b]: H.Bensalem,T.Bensebaa, 'Towards a pedagogical simulator', à apparaitre dans le proceeding de la 4ieme conférence internationale ITHET 2003,MARRAKECH,MAROC.
- [BEN03c]: H.Bensalem,T.Bensebaa, 'Towards a distributed pedagogical simulator', à apparaître dans le proceeding du 1^{ier} workshop sur le web sémantique pour apprentissage basé Web SW-WL03, porté conjointement avec la 5ieme conférence internationale CAISE, GLUNFURT ,AUTRICHE 2003.
- [CARW00] Carine Webber, Sylvie pesty, 'A two-level multi-agent architecture for a distance learning environment', , laboratoire Leibniz-IMAG, France2000.
- [CAST00] MARCOS A.CASTILHO,ANDREAS HERZIG, CAMILLA SCHWIND, *Raisonnement sur les actions: Les approches basées sur la causalité et la dépendance*, 2000.
- [DEJ 91] De Jong T., 'Learning and instruction with computer simulations', Education and computing, n°6,p217-229,1991.

[DMCD82] D.V.McDermott, 'Temporal logic for reasoning about processes and plans', *science cognitive*, 6:101-155, 1982.

[FDAH00] F.Dahmani , *conception et évaluation de la composante experte du domaine d'un système intelligent pour l'enseignement de l'algorithmique* , Université de Tizi-Ouzou, Algérie ,2000.

[FZAI96] F.ZAIDL, Z.SAHNOUN, *Les frames étendus*, Séminaire national d'informatique SNITO'96 Algérie.

[GENJ96] Jérôme GENSEL, *Contraintes et représentation de connaissances par objets (application au modèle Tropes)* , thèse de doctorat, Université Joseph Fourier laboratoire LIFIA/IMAG,octobre 1996.

[GRIA94] GIARRATANO, JOSEPH RIELY, GARY,' *Expert systems principles and programming* ', PWS publishing company 1994.

[HER 94] Herzog. J.M., Forte E.N, 'A Goal Oriented Simulation in Chemical Thermodynamics', Conférence CALISCE 94,Paris,1994

[JALL81] J.F.Allen, 'an interval-based representation of temporal knowledge', 7ieme conference IJCAI 1981.

[JALL84] J.F.ALLEN, ' Towards a general theory of action and time', *intelligence artificielle* ,23(2):123-154, 1984.

[JEAD88] Dormoy, J. L., and O. Raiman ,' Assembling a Device', la 7 ieme Conférence international sur l'intelligence artificielle, AAAI'88, Saint-Paul, Min.

[JLAD89] Jean-Luc DORMOY, Méthodologies pour des systèmes experts de seconde génération, , Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France ,IMA/TIEM, 1989.

[JEAD90] Jean-Luc Dormoy, Nouvelles méthodes de calcul qualitatif, *Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France. IMA-TIEM.*

[JEAP96] Jean-Philippe Pernin, M.A.R.S :un modèle opérationnel de conception de simulations pédagogiques, thèse de doctorat en informatique ,Université Joseph Fourier-Grenoble I, juin 96.

[KLEE84] De Kleer, J., and J. S. Brown, ' A qualitative physics based on confluences', *Intelligence Artificielle*, Vol. 24, n° 1-3, Décembre 1984.

[KUIP86] : Kuipers, B. , 'Qualitative Simulation', *Intelligence artificielle* Vol. 29, n° 3, 1986.

[KURV98] Kurt Vanlehn & Joel Martin, 'evaluation of an assesment system based on bayesian student modelling', centre de développement et recherches d'apprentissage, Université de Pittsburgh, MAI 1998

[MBAR94] M. Baron :EIAO, quelques repères ,technologie de l'information, culture et société, n65, édition Harmattan 1994, article en ligne. <http://terminal.enscahan.fr/65multimediabaron.html>.

[MEN95] Mengelle T., Etude d'une architecture d'environnement d'apprentissage basé sur le préceptorat avisé, Thèse de l'université Paul Sabatier, 1995.

[MIN81] : Marvin Minsky, a framework for representing knowledge, édition le MIT press 1981.

[MSIO99] : Mourad Siouane ,Architecture d'un simulateur pédagogique, thèse de magistère, l'université de Badji-Mokhtar, Annaba-Algérie,1999.

[MWin90] M. Winslett, ' Updating logical databases', In Cambridge University Press , Cambridge, UK,1990.

[NIC88] Nicaud J.F ,Vivet M., les tuteurs intelligents : réalisation et tendances de recherche, technique et science informatique, vol.7,n°1,1988

[NOD 92] Nodenot T., MAGE , Une méta-atelier de génie éducatif, Thèse de l'université Paul Sabatier, 1992.

[PMEN91] : Patrick Mendelson ,Pierre Dillenbourg, Le développement de l'enseignement assisté par ordinateur, conférence donnée à la réunion de Association de Psychologie Scientifique de langue Française symposium intelligence Naturelle et IA,ROME,23-25 septembre 1991.

[PBRU97] Peter Brusilovsky, Steven Ritter, Elmar Schwarz, 'Distributed intelligent tutoring on the web', la 8 ième conférence mondiale de la société AIED, Japan 97.

[RIC87] *IA par ELAINE.RICH édition MASSON 1987.*

[SGAL00] Stéphane Galland, Frédéric Grimaud, Jean-Pierre Campagne, 'multi-agent architecture for distributed simulation teaching application for industrial management', dans la 14ieme multi-conférence européen de simulation mai 2000.

[VIV 91] Vivet M.expertise, pédagogique et usage de tuteurs intelligents, 13èmes journées francophones sur l'informatique, formation intelligemment assisté par ordinateur, jan 1991.

[XIAN01] Xiaolin Niu, 'purpose based learner modeling', département d'informatique ,université de saskatchewan,Cannada,2001.

WEB GRAPHIE

[CCOU] Claude Coulombe, *L'eiao quoi ?l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur (EIAO) l'expérience S.C.A.R.A.B.E.E..*

[REPCO] : Représentation des connaissances ,
<http://www.w3architect.com/static/peopel/fgaillard/these/03-representation.html>

[TRAINF]'Traitement de l'information ',
<http://w3.uqo.ca/filj01/dev/ingenierie/rc.pdf>

[SYEX] *Les Systèmes Experts*
<http://www.geocities.com/capecnaverales/lab/6134/chapitre2.html>