



AVERTISSEMENT

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

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

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

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

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

Institut National Polytechnique de Lorraine
INPL

Centre de Recherche en Informatique de Nancy
CRIN

Processus EXPRIM, Image et IA pour un EIIAO individualisé
(Enseignement par l'Image Intelligemment Assisté par Ordinateur) : Le prototype BIRDS

THESE

Présentée et soutenue le **5 Janvier 1990**

Pour l'obtention du doctorat de l'INPL
(Spécialité Informatique)

par
Amos Abayomi DAVID

Service Commun de la Documentation
INPL
Nancy-Brabois



Composition du jury :

Président :	Daniel COULON	Professeur à l'INPL de Nancy
Rapporteurs :	Monique GRANBASTIEN Martial VIVET	Professeur à l'Université de Nancy I Professeur à l'Université du Maine
Examineurs :	Marion CREHANGE Jean-Claude DERNIAME Odile THIERY Jean-François NICAUD	Professeur à l'Université de Nancy II Professeur à l'Université de Nancy I Professeur à l'Université de Nancy II, Directeur de thèse Maître de conférence à l'ENS Cachan
Invitée:	Colette ROYNETTE	Professeur au Lycée Poincaré de Nancy

Remerciements

Je remercie Mme. Odile THIERY, professeur à l'Université de Nancy II, qui a suivi cette thèse de son début jusqu'à sa soutenance, pour le temps précieux et énorme qu'elle m'a accordé pour le suivi de cette thèse de son début jusqu'à sa soutenance, et pour ses nombreuses relectures. Je lui suis reconnaissant pour ses conseils à la fois sur le travail et sur le plan familial. Toute sa famille nous a apporté, à ma famille et à moi-même l'affection qui nous a aidé à surmonter la nostalgie de notre pays.

Je remercie Mme. Marion CREHANGE, professeur à l'Université de Nancy II, responsable de l'équipe EXPRIM, qui m'a fait confiance en m'autorisant à faire mon travail de recherche dans son équipe. Je lui suis reconnaissant pour son côté "rêveuse" en ce qu'elle s'est beaucoup attaché aux aspects théoriques de ma thèse, ce qui se manifeste aussi dans son équipe. Je la remercie également pour le temps qu'elle a pu consacrer à la lecture de la thèse, pour ses conseils et pour son soutien familial.

Je remercie Mr. Daniel COULON, professeur à l'INPL, d'avoir accepté de présider le jury de la thèse. Sans lui je n'aurais peut-être pas fait ma thèse en France, car c'est lors de sa visite au Nigéria que j'ai eu la bourse de recherche. Je le remercie aussi pour ses conseils au début de mes études en France, qui m'ont aidé à surmonter les difficultés d'adaptation.

Je remercie Mme. Monique GRANBASTIEN, professeur à l'Université de Nancy I, qui a bien voulu accepter d'être rapporteur de cette thèse. Je la remercie pour le temps qu'elle a consacré pour la lecture de cette thèse et pour ses remarques, compte tenu de sa pluridisciplinarité. Son soutien moral ne sera pas oublié.

Je remercie Mr. Martial VIVET, Professeur à l'Université du Maine, qui a accepté malgré toutes ses responsabilités d'être rapporteur de cette thèse. Je lui suis très reconnaissant pour ses conseils et pour ses remarques.

Je remercie Mr. Jean-Claude DERNIAME, professeur à l'Université de Nancy I, d'avoir accepté malgré ses attributions multiples de faire partie du jury de cette thèse. Je le remercie pour son soutien moral.

Je remercie Mr. Jean-François NICAUD, maître de conférence à l'ENS de Cachan, d'avoir accepté d'être membre du jury. Je lui suis très reconnaissant pour ses conseils.

Je remercie Mme. Odile FOUCAUT, professeur a Nancy II pour son côté "pied sur terre" associé à ses grandes compétences scientifiques, qui m'a beaucoup motivé pendant la réalisation du prototype BIRDS.

Je remercie Mme. Colette ROYNETTE, professeur au Lycée Poincaré de Nancy, d'avoir accepté d'être notre experte en sciences naturelles pendant la construction du prototype BIRDS. Son esprit d'ouverture est exemplaire et son aide a été très grande. Je remercie également Mme. Michelle PATTE qui a participé à l'expérimentation du prototype BIRDS au Lycée Poincaré de Nancy, en l'organisant avec ses élèves de 6e. Mes remerciements également à Mr. Collignon, Mme. Haguenauer et Mme. Schwob avec qui j'ai travaillé au début de la thèse ainsi que Mme. LAUMONNIER qui a permis que ce travail existe en nous mettant en contact avec Mme. Roynette.

Je ne peux qu'EXPRIMER mes remerciements à tous les membres de l'équipe EXPRIM. L'ambiance familiale et le sens du travail m'ont profondément marqué. Merci à Gilles HALIN, Noureddine MOUADDIB, Daniel LEONARD, Francine BAUMANN, Pierre KEREKES, Dominique LOUIS, Jean-Christophe BURNEAU, Catherine HAMON et Anjia, tous membres de l'équipe EXPRIM à plein temps.

La liste serait trop longue si je devais mentionner tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de cette thèse. Je dois remercier tout de même mes compatriotes Nigériens, en particulier mes voisins - Mr. & Mme. Akindele et Mr Ajila pour leurs encouragements; Mr. & Mme. Shitu pour leur soutien moral ; Mr. Anigbogu qui n'a cessé de me demander quand serait la soutenance. Merci également à Mr. René Okitaudji, Mr. Sawadogo et leurs familles.

Faut-il remercier ma femme et mon fils ? "Peut-être ben que oui". Ils m'ont tout apporté pour effectuer ce travail dans les meilleures conditions.

Merci à tous

Nancy le 5 Janvier 1990.

DAVID Amos Abayomi

**Processus EXPRIM, Image et IA pour un EIIAO individualisé
(Enseignement par l'Image Intelligemment Assisté par Ordinateur) : Le Prototype BIRDS**

RÉSUMÉ

Cette thèse a pour objectif d'apporter de nouvelles approches dans l'application de l'ordinateur, l'image et le son ainsi que l'intégration des modèles d'apprentissage et des modèles psychologiques dans un processus d'enseignement.

Ce travail est issu d'un projet appelé **EXPRIM** (système EXPert pour la Recherche d'Image) et l'objectif initial était l'étude des applications du processus EXPRIM en enseignement. Puisque le processus EXPRIM est basé sur l'**image**, nous avons élargi notre objectif de travail, qui est devenu la définition d'un système d'enseignement individualisé basé sur l'image avec l'application de l'intelligence artificielle - ce que nous appelons un système d'**EIIAO** (Enseignement par l'Image, Intelligemment Assisté par Ordinateur).

La nécessité de prendre en compte les traits particuliers de l'élève dans ce système est évidente. Nous avons été amené par conséquent à définir un **modèle de l'élève**. Ce modèle prend en compte à la fois des aspects cognitifs de l'élève pendant le processus d'apprentissage et les aspects pédagogiques dans l'environnement d'apprentissage.

Le modèle que nous avons défini a été implanté dans un prototype appelé **BIRDS**. Le prototype reflète l'architecture que nous avons adoptée, qui est composée de quatre modules : le module de technique pédagogique, le module de l'élève, le module du domaine et le module d'interface.

Nous avons utilisé le vidéodisque "British garden birds" (les oiseaux de jardin en Grande Bretagne), avec un système d'incrustation, le tout tournant sur un PC/AT et un vidéolecteur Philips VP831. Le prototype est construit avec le langage C et OPS5+.

Mots-Clés : Enseignement, Apprentissage, Psychologie d'apprentissage, Habitude évocative, Modèle de l'élève, Processus EXPRIM, Image, Vidéodisque, Tuteur Intelligent.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	10
-------------------	----

PARTIE I

ETAT DES RECHERCHES EN THEORIES D'APPRENTISSAGE ET EN EAO - EIAO	14
--	----

CHAPITRE I

Enseignement ou Apprentissage	15
-------------------------------------	----

I.1. Enseignement, Apprentissage - quelles différences ?	15
I.2. Les théories d'apprentissage	17
I.2.1. Le comportementalisme.....	17
I.2.2. Approche cognitive.....	18
I.3. Conclusion - notre position	20

CHAPITRE II

L'ordinateur dans l'enseignement	21
--	----

II.1. Introduction	21
II.2. EAO.....	22
II.2.1. Définition	22
II.2.2. Pourquoi l'Ordinateur ?.....	23
II.2.3. Evolution de l'EAO.....	24
II.2.3.1. Evolution matérielle.....	24
II.2.3.2. Evolution dans les Techniques de réalisation	26
II.2.3.3. Evolution dans les Techniques Pédagogiques	26
II.2.4. Des Insuffisances des systèmes en service, et Tendances actuelles	30
II.3. EIAO.....	33
II.3.1. Définition	33
II.3.2. Pourquoi l'IA ?	33
II.3.3. Exemples de Systèmes Existants	34
II.3.4. Des Insuffisances de l'existant.....	36
II.4. Conclusion	36

PARTIE II

VERS LA CONCEPTION D'UN SYSTEME D'EIAO.....	39
---	----

CHAPITRE I

Quatre Concepts pour un EIAO - Enseignement et Apprentissage, Image, le Processus EXPRIM, IA.....	40
--	----

I.1. Introduction	40
I.2. Trois Approches pour le développement d'un Didacticiel	41
I.3. Eléments de Réussite pour notre approche	42

I.3.1.	La Motivation de l'Elève - une nécessité absolue	42
I.3.2.	Un Modèle de l'Elève est Indispensable	44
I.4.	Image - un Objet de Motivation.....	44
I.4.1.	Les Particularités de l'Image	45
I.4.1.1.	Image et discours.....	45
I.4.1.2.	Interprétation de l'Image	46
I.4.1.3.	Image - révélateur de l'Observateur.....	47
I.4.2.	Images pour les objets ou les phénomènes inaccessibles dans la réalité ..	48
I.4.3.	Les Formes de présentation de l'Image	49
I.4.3.1.	Les Images fixes	49
I.4.3.2.	Les Séquences d'Images	50
I.4.3.3.	Couleurs dans les Images	50
I.4.4.	Domaines d'utilisation d'Image.....	50
I.4.5.	Les difficultés pour l'exploitation de l'image.....	51
I.5.	Intelligence Artificielle dans un système d'EIIAO.....	52
I.5.1.	Mécanismes des systèmes à base de connaissances	53
I.5.2.	La Base de connaissances	53
I.5.3.	Représentation de Connaissances.....	54
I.5.4.	Les Modes de Raisonnement.....	55
I.6.	Le Projet EXPRIM et son Processus.....	55
I.6.1.	Le processus EXPRIM	56
I.6.2.	L'architecture d'EXPRIM	57
I.6.3.	Les Connaissances et Expertises utilisées	58
I.7.	En Résumé	59

CHAPITRE II

Architecture Proposée pour un EIIAO.....	62
II.1. Introduction.....	62
II.2. Module de Technique Pédagogique.....	64
II.2.1. Notre premier Objectif - favoriser la perception et l'assimilation des Connaissances	65
II.2.2. Notre deuxième objectif - adapter le système à chaque Phase Cognitive...	66
II.2.3. Notre troisième Objectif - créer des scénarios pour entraîner l'Apprentissage	67
II.2.3.1. Les objectifs pédagogiques	68
II.2.3.2. Les stratégies pédagogiques	70
II.2.3.3. Les méthodes d'implantation	72
II.3. Interface Homme-Machine	72
II.3.1. Formulation des demandes	72
II.3.2. Formulation des réponses	73
II.4. Module du Domaine.....	76
II.5. Le Module de l'Elève	78
II.6. Conclusion	78

Chapitre III

Chapitre III	
Module, Modèle de l'Elève - Les Différentes Approches et Notre Proposition.....	80
III.1. Introduction	80
III.2. Les Interprétations du Modèle de l'Elève.....	80
III.3. Rôles "Consacrés" d'un Modèle de l'élève.....	81
III.4. Les Approches Existantes	83

III.4.1. Les Modèles proposés	84
III.4.2. Les Insuffisances des propositions.....	89
III.5. Une nouvelle Approche.....	90
III.5.1. Un nouveau rôle	90
III.5.2. Un nouveau Modèle et ses composants.....	91
III.6. Conclusion	97

PARTIE III LE PROTOTYPE ET SON EXPERIMENTATION.....99

Chapitre I Le Prototype BIRDS - ses Fonctions..... 100

I.1. Introduction	100
I.2. EXPRIM dans le prototype	101
I.3. Bref historique du prototype et notre Objectif Pédagogique.....	104
I.3.1. La Genèse	104
I.3.2. Le Choix.....	105
I.3.3. La Captation de l'Expertise	106
I.4. Le Module de Technique Pédagogique	107
I.4.1. Le Module de pilotage du vidéodisque.....	109
I.4.2. Le Module d'illustrations	111
I.4.3. Le Module d'interrogation du système par l'élève.....	113
I.4.4. Le Module d'aide à la création d'un réseau sémantique et de la base descriptive	116
I.5. Le Module du Domaine.....	117
I.5.1. Les connaissances sur les Images utilisées - La Base Descriptive	118
I.5.2. Les Termes du Domaine et les Liens entre eux.....	118
I.5.2.1. La morphologie des oiseaux	122
I.5.2.2. La nutrition des oiseaux	123
I.5.2.3. Les modes de déplacement.....	124
I.6. Le Module de l'Elève	126
I.7. Le Moniteur de l'Elève.....	126
I.8. Les Interfaces	128
I.8.1. Le questionnaire d'écran	128
I.8.2. Le questionnaire de menu	129
I.8.3. Le système d'incrustation.....	129
I.8.4. Le système de pilotage du vidéodisque	129
I.9. Conclusion	130

Chapitre II

Le Prototype - sa réalisation	132
II.1. OPS5+ - le système à base de connaissances utilisé	132
II.1.1. Les structures des faits.....	133
II.1.2. La structure des règles	134
II.1.3. Le fonctionnement du moteur d'inférence	136
II.1.4. Des avantages du langage.....	140
II.1.5. Des difficultés du langage	141
II.2. Implantation des bases de connaissances.....	142

II.2.1.	Implantation de la base descriptive	143
II.2.2.	Implantation de la base de connaissances du domaine	148
II.2.3.	L'implantation de la base de connaissances sur l'élève	151
II.3.	La saisie des données	157
II.4.	Le menu	158
II.5.	Le système d'incrustation	159
Chapitre III		
Les scénarios		162
III.1	Introduction	162
III.2	Les catégories de scénarios.....	163
III.3	Les critères de choix d'une catégorie de scénarios	164
III.4	Implantation des scénarios	165
III.4.1	La catégorie NV1	166
III.4.2	La catégorie NV2	170
III.4.3	La catégorie NV3	173
III.5	Les opérations "élémentaires" du système pour les dialogues	175
III.6	La représentation des scénarios dans la maquette.....	176
Chapitre IV		
Expérimentation.....		178
IV.1.	Des critères d'évaluation.....	178
IV.2.	L'évaluation "a priori" du prototype BIRDS.....	180
IV.3.	Les expérimentations qui ont été faites.....	181
IV.4.1.	Le plan d'expérimentation en cours	183
IV.4.2.	Le cadre de l'expérimentation	183
IV.4.3.	Durée d'expérimentation.....	183
IV.4.4.	Les observations que nous faisons durant l'expérimentation.....	184
IV.5.	Conclusion	185
CONCLUSION.....		186
REFERENCES		190
ANNEXES		
Annexe 1		
A.	Introduction.....	197
	Objectif pédagogique.....	197
	Technique pédagogique.....	197
B.	Environnement de travail.....	198
C.	Schéma global du système.....	204
D.	Lancement du système	205
E.	Enchaînement des menus	206
F.	Notice technique du prototype.....	208

Annexe 2

A. Les heuristiques du prototype	210
B. Des classes du prototype	211
C. Des règles du prototype	213
D. Des fonctions C	217

Annexe 3

Résultat des premières expérimentations.....	220
--	-----

INTRODUCTION

Un phénomène qui dure depuis le début de l'histoire est la volonté d'enseigner ou d'apprendre. Certains entendent ce phénomène par "la communication" ou la "découverte". Ainsi les chefs de tribus rassemblent leurs familles pour leur raconter des histoires destinées à leur apprendre comment vivre et se comporter. Et les parents apprennent à leurs enfants comment marcher, parler ou manger... enfin tout ce qui contribue à la vie personnelle et en société.

L'enseignement a pris une autre ampleur avec l'évolution de la société. Il fallait acquérir des connaissances et des métiers pour vivre. L'intérêt des états et des gouvernements ont fait que le métier d'enseignant est devenu institutionnel. Par exemple, dans beaucoup de pays, l'école primaire et l'école secondaire sont obligatoires. Il faut apprendre aux citoyens à parler, à lire, à écrire et à compter. Mais il y a de plus en plus de connaissances et de métiers à acquérir, ce qui rallonge la durée d'enseignement. Et il faut, faute d'un assez grand nombre d'enseignants, former les enseignants par groupe.

Il faut noter que la formation par groupe n'est pas un inconvénient en soi. Cela dépend de l'objectif de formation fixé. Mais nous constatons que la formation par groupe est souvent choisie par contrainte financière.

Donc la nécessité de former, d'enseigner et d'apprendre est indiscutable. Le trait commun de ces trois préoccupations est la recherche d'information¹ ou de compétences². Ce n'est donc pas étonnant que notre travail qui est un apport supplémentaire au monde de l'enseignement soit issu d'un projet appelé EXPRIM (système EXPert pour la Recherche d'IMages). Ce travail est du ressort de cinq domaines :

- l'Intelligence Artificielle (l'IA) ,
- la recherche documentaire ,
- la recherche iconographique ,
- la pédagogie, notamment les aspects relevant de la psychologie d'apprentissage ,
- l'ergonomie, principalement l'interface homme-machine.

¹ Information : signifie les connaissances, l'actualité, etc ...

² Compétence : peut être interprétée comme une habitude, par exemple de raisonner ou de résoudre des problèmes ou inventer des choses, soit intellectuellement soit physiquement.

Cet aspect pluridisciplinaire du travail nous a amené à travailler avec des experts de différents domaines comme l'enseignement, la documentation, et bien sûr les domaines de l'I.A et de l'interface homme-machine qui relèvent beaucoup de la discipline informatique. Pour ce travail, nous avons pour objectif d'apporter de nouvelles approches dans l'application de l'ordinateur, l'image et le son ainsi que l'intégration des modèles d'apprentissage et modèles psychologiques dans un processus d'enseignement.

A l'origine de notre travail, nous avons comme objectif l'étude des applications possibles du processus EXPRIM (décrit au paragraphe I.6 de la partie II du rapport) en enseignement. Parce que le domaine d'étude concerne l'enseignement, nous avons été amené à étudier la pédagogie et les processus cognitifs, particulièrement les mécanismes d'apprentissage. Parce que le processus EXPRIM est basé sur l'image, nous avons été amené également à étudier ce qu'est la particularité de l'image. Ces études nous ont amené par conséquent à élargir notre objectif, qui devient maintenant **la définition d'un système d'enseignement basé sur l'image intelligemment assisté par ordinateur** - ce que nous appelons un système d'EIIAO.

Notre travail est donc basé d'une part

- sur la thèse que l'utilisation poussée de l'image et l'application de l'intelligence artificielle sont deux moyens pour un enseignement individualisé éveillant la curiosité de l'élève ; et d'autre part
- sur l'hypothèse que l'utilisation de l'image avec le processus EXPRIM peut jouer un rôle important dans le processus d'enseignement.

Nous pensons que notre travail peut contribuer considérablement au monde de l'enseignement, notamment par notre approche qui est basée sur l'exploitation de l'image et le développement et l'implantation d'un modèle de l'élève dans un système d'EAO.

Ce rapport est divisé en trois parties. La première partie est consacré à l'état des recherches en EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) et en EIAO (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur). Dans la deuxième partie, nous présenterons des idées clés nécessaires pour la réalisation d'un type de système d'enseignement individualisé que nous proposons. La troisième partie est consacrée à la maquette que nous construisons basée sur les concepts développés dans la partie II.

Nous pensons que notre approche pour la construction d'un système d'enseignement ou d'un environnement d'apprentissage est un champ fertile d'expérimentation et de recherche surtout quant au mariage de la science molle (la science cognitive) et la science dure (l'informatique et les nouvelles technologies). Nous présentons tout au long de la thèse, les enjeux d'une telle approche - les champs de recherches et d'expérimentations, les difficultés, les avantages et les inconvénients.

PARTIE I

ETAT DES RECHERCHES EN THEORIES D'APPRENTISSAGE ET EN EAO - EIAO

Pour parvenir à nos objectifs, nous avons étudié les théories d'apprentissage proposées par quatre psychologues. Nous présentons au chapitre I une étude comparative des concepts et modèles de ces psychologues à partir de laquelle nous présentons notre proposition.

L'ordinateur s'est déjà introduit dans le milieu d'enseignement. Nous présentons au chapitre II les différentes catégories d'applications de l'ordinateur dans l'enseignement, particulièrement l'évolution de ces applications.

CHAPITRE I

Enseignement ou Apprentissage

Dans ce chapitre, nous présentons ce que nous entendons par "enseignement" et "apprentissage". Ensuite nous présentons les travaux de quatre psychologues sur les théories d'apprentissage et nous concluons le chapitre par la proposition d'une approche pour la construction d'un système d'enseignement.

I.1. Enseignement, Apprentissage - quelles différences ?

"Enseigner" et "apprendre" n'ont pas la même signification. "Enseigner" signifie l'action ou l'art de transmettre des connaissances (définition du dictionnaire MICRO-ROBERT). Cela signifie qu'il y a au moins deux personnalités : celui qui transmet la connaissance et celui qui la reçoit. Celui qui transmet la connaissance s'appelle l'enseignant ou le maître. Celui qui reçoit la connaissance s'appelle l'élève. Bien souvent, quand ce terme est utilisé, on fait nettement la distinction entre les deux participants et chacun a un rôle bien précis. Le rôle de la transmission de connaissance n'est pas d'une manière générale inversible. Par exemple, l'élève n'enseigne pas à son maître. Il faut noter également que ce terme "enseignement" recouvre ou devrait recouvrir le terme "pédagogie".

Le terme "apprendre" signifie d'une part "chercher à acquérir un ensemble de connaissances par un travail intellectuel ou par l'expérience", et d'autre part "chercher à devenir capable de" (définition du dictionnaire MICRO-ROBERT). Celui qui apprend est appelé "apprenant". Cette définition montre qu'il y a en principe un désir de la part de l'apprenant dans le processus "apprendre".

Et selon les formes de ce qu'il cherche à acquérir et de leurs sources, l'apprenant n'a pas forcément besoin d'un maître. Par exemple acquérir des connaissances par l'expérience ne nécessite pas toujours la présence d'un maître. Cependant en français il y a ambiguïté : en effet le terme "apprendre" est aussi utilisé souvent comme synonyme du terme "enseigner" avec toujours l'idée de désir de la part de l'élève.

Or selon nous, il y a des différences fondamentales entre les termes "enseigner" et "apprendre". En enseignement, presque toutes les initiatives viennent de l'enseignant. Par contre, les initiatives viennent, d'une manière générale, de l'élève pendant le processus d'apprentissage. Pour le terme "enseigner", on suppose qu'il faut d'avantage de connaissances chez l'élève. Ce jugement vient souvent de l'extérieur, c'est à dire que l'élève ne se rend pas compte de son manque de connaissances ou bien qu'il ne voit pas la nécessité de les acquérir, et même s'il reconnaît la nécessité, il ne voit pas ce qu'il faut acquérir comme connaissances. Ce contexte met l'élève dans une situation d'obligation - car qu'il voie ou non la nécessité d'acquérir ces connaissances, il lui faudra se soumettre à la démarche préconisée. Contrairement au terme "enseigner", "apprendre" suppose qu'il y a l'intérêt de la part de l'élève car c'est lui qui cherche à acquérir des connaissances. Cela met l'élève non pas dans une situation d'obligation mais dans une situation de désir et de responsabilité. Le problème qui se pose, et qui est loin d'être résolu surtout dans notre cadre de travail, est de savoir quand il faut enseigner ou quand il faut laisser apprendre et comment.

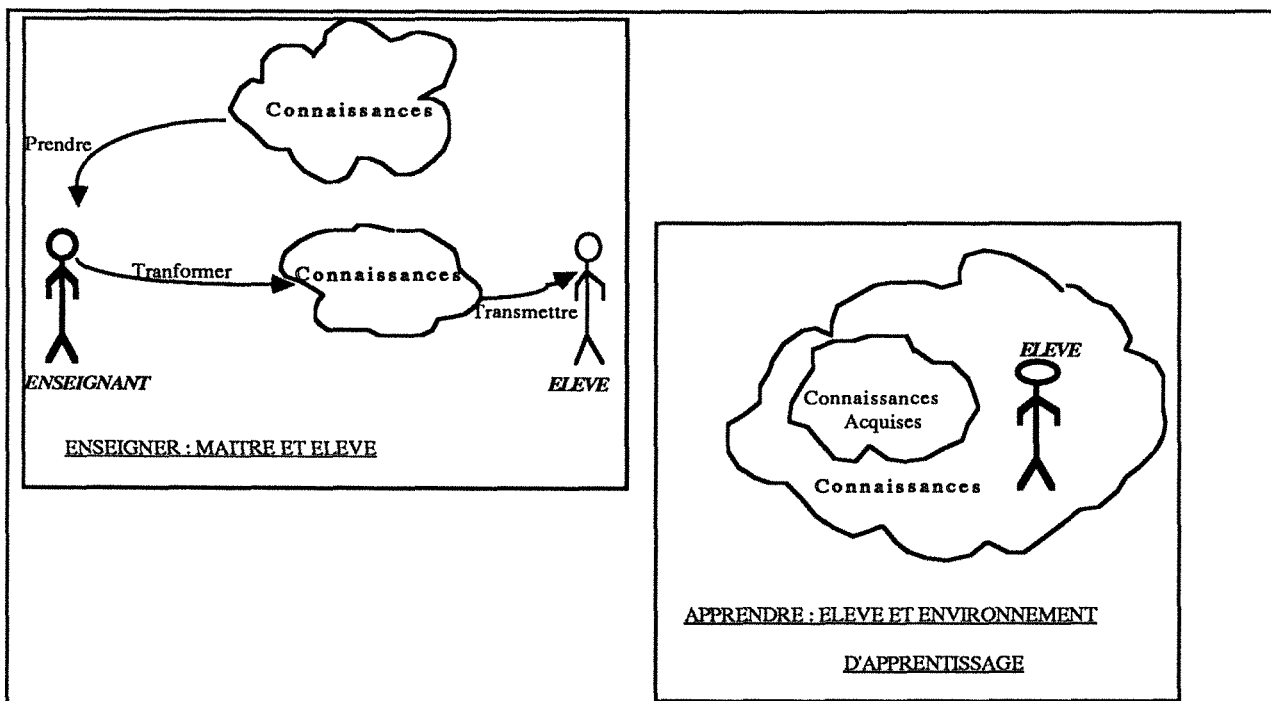


Figure I.1. : Enseignement - Apprentissage

Dans les deux contextes d'enseignement et d'apprentissage, la personnalité clé est l'élève - car c'est son état qui doit changer au cours du processus d'enseignement ou d'apprentissage par l'acquisition de connaissances. Nous pouvons représenter les deux contextes (enseignement et apprentissage) schématiquement par la figure I.1. En enseignement, l'enseignant prend les connaissances, les transforme et les transmet à l'élève. Dans l'apprentissage, l'élève se trouve encadré dans un monde de connaissances desquelles il acquiert une partie.

La difficulté du choix entre l'enseignement et l'apprentissage est compliquée et diverse. Compliquée parce qu'elle relève de la science dite molle, et diverse parce que nous avons à faire à des êtres humains. Mais nous pensons qu'il est tout d'abord nécessaire d'étudier les théories qui ont été formulées dans les domaines d'enseignement et d'apprentissage avant de présenter les solutions de choix possibles.

I.2. Les théories d'apprentissage

Bien avant l'invention de l'ordinateur, il y a eu beaucoup de recherches en psychologie d'apprentissage. Pour ne citer que trois des plus célèbres chercheurs dans ce domaine, on remarque SKINNER pour sa théorie de l'apprentissage fondé sur le comportementalisme (behaviourism), CROWDER pour ses recherches sur les "ERREURS" et PIAGET pour ses recherches dans le domaine du développement cognitif [HER85]. Les propositions du premier psychologue (SKINNER) et du troisième (PIAGET) sont presque à l'opposé en ce qui concerne les méthodes ou le processus d'apprentissage. Alors que SKINNER fonde ses approches sur le comportement, PIAGET met l'accent sur le processus cognitif. A partir des travaux de SKINNER se développent les principes de fractionnement de la difficulté, de l'individualisation du rythme d'apprentissage. Le concept majeur défendu par PIAGET est que le développement des processus cognitifs repose sur des transformations successives des représentations mentales, sur des anticipations qui dirigeront les comportements vers l'acquisition de niveaux de connaissances et qui serviront de base à l'acquisition de connaissances nouvelles.

Il faut noter que nous nous sommes particulièrement intéressé au processus d'apprentissage des enfants. Mais les concepts présentés dans ce rapport sont applicables aussi bien aux enfants qu'aux adultes. Quelques différences entre le processus des adultes et celui des enfants sont présentées dans [QUE80]. Dans les deux paragraphes suivants, nous présentons plus en détail les deux théories principales d'apprentissage - le comportementalisme et la progression cognitive.

I.2.1. Le comportementalisme

Le concept de la théorie du comportementalisme est que dans des circonstances identiques, une action qui produit un résultat désirable sera répétée par un individu ou un animal tant que le

résultat sera désirable, et qu'à l'inverse, la conséquence néfaste d'une action pour l'organisme le conduira à éviter cette action[HER85]. Ainsi, l'organisme acquiert de nouveaux comportements qui ne sont pas innés, par l'acquisition des réponses qui permettent à l'organisme d'obtenir une gratification.

Exemple

"On introduit un pigeon affamé dans une boîte. La boîte est vide et, sur l'une de ses parois, un bouton rouge est allumé. Le pigeon se promène dans la boîte en picorant au hasard. Soudainement, il heurte le bouton rouge allumé et, aussitôt, une trappe se relève dans la paroi et découvre une mangeoire remplie de graine. Durant quelques secondes, il peut se nourrir et la trappe se referme. Le pigeon repart dans sa quête de nourriture et, incidemment, il heurte à nouveau le bouton rouge allumé, déclenchant le processus d'ouverture de la trappe. Progressivement, le pigeon cessera sa quête hasardeuse dans la cage et il heurtera du bec le bouton rouge chaque fois que la trappe se sera refermée. Le comportement qui consiste à appuyer sur un bouton, n'est pas naturel pour un pigeon: il a été renforcé. L'apprentissage pourra se compliquer si par exemple, le bouton est éteint et qu'il ne se passe rien. Le pigeon apprendra alors à faire la différence entre les situations."

Le conditionnement procède donc à partir de comportements naturels innés. On peut former un organisme à des comportements complexes en gratifiant des comportements spontanés partiels qui, progressivement, se rapprochent du comportement désiré. On apprendra par exemple à un pigeon à jouer avec une balle en le gratifiant d'abord à chaque fois qu'il se déplace vers la balle, puis, lorsqu'il est à côté de la balle, chaque fois qu'il frappe la balle du bec quelle qu'en soit la direction, enfin lorsqu'il la pousse dans une direction donnée.

Bien sûr qu'il y a une forme d'apprentissage par le conditionnement. Mais que ce passe-t-il au niveau psychologique chez l'individu qui apprend ? Le comportementalisme donne peu de réponse sur ce sujet. Une autre théorie d'apprentissage porte précisément sur la progression cognitive. Il s'agit de l'approche cognitive.

I.2.2. Approche cognitive

Nous résumons dans ce paragraphe les théories de DECROLY, PIAGET et DE LA GARANDERIE, les trois étant des défenseurs d'une approche cognitive dans un processus d'apprentissage.

Pour PIAGET l'apprentissage est en fait un développement cognitif qui s'inscrit dans le temps [HER85]. Le terme "développement cognitif" signifie dans ce contexte les processus par lesquels un être vivant acquiert des informations sur son environnement. Selon lui, l'enfant expérimente le monde et acquiert, dans le temps, des compétences intellectuelles complexes. Nous pouvons dire que selon PIAGET, les phases du développement cognitif sont :

- l'observation ,
- l'acquisition du langage ,
- la maîtrise de la logique formelle et la capacité de vérifier des hypothèses ,
- la capacité de développer des idées abstraites.

Selon de LA GARANDERIE, la pédagogie est fondamentalement la science des processus quasi spontanément employés par les individus humains pour retenir, pour comprendre, pour composer, pour chercher, pour trouver [GAR88]. Il défend la thèse que la connaissance est représentée sous forme d'images mentales (image visuelle ou image auditive) (cf paragraphe III.4. de la partie II de la thèse) qui deviennent une habitude évocative. De là il propose une classification des différentes formes d'images dans les habitudes évocatrices dont nous donnons uniquement la classification des formes d'images visuelles :

- les images des objets perçus réellement dans le monde visible : choses, êtres, scènes de la vie ;
- les images des mots eux-mêmes ;
- les images des figures, des croquis, des symboles ...;
- l'élaboration d'images visuelles mentales pour se représenter ce qui n'a pas été perçu ou pour symboliser des objets perçus.

Pour DECROLY, l'intérêt est le fondement unique de l'éducation : la condition essentielle pour que l'instruction soit féconde, c'est quelle excite l'intérêt - ce qui excite l'appétit de l'esprit [BAS76]. Il distingue deux sources fondamentales d'intérêt : d'abord le sentiment d'attention curieuse qui provoque l'expérience, l'étude de la nature, la recherche des connaissances; ensuite l'intérêt qui résulte de la vie sociale, de la fréquentation et du commerce des être humains. Les formes de l'intérêt qui se rattachent à la connaissance comprennent trois phases :

- l'intérêt empirique : qui naît dans la perception des choses sensibles, de la variété des objets concrets que la nature ou l'enseignement présente ;

- l'intérêt spéculatif : il est dérivé de la méditation prolongée ou des objets de l'expérience, du besoin d'explication, de la recherche de liaisons causales (l'intérêt abstrait selon lui), tout en étant basé sur des symboles et en tenant compte des expériences faites ;
- l'intérêt esthétique : il est dérivé de la contemplation de la beauté dans la nature, dans les œuvres d'art ou dans les actions morales.

Que pouvons-nous déduire de ces théories d'apprentissage - une basée sur le comportementalisme et l'autre sur la progression cognitive ?

I.3. Conclusion - notre position

Nous avons présenté les thèses des trois psychologues (PIAGET, DECROLY et DE LA GARANDERIE) pour montrer qu'il y a des points communs dans leurs théories. Les trois psychologues distinguent différentes phases dans un processus d'apprentissage et ces différentes phases se succèdent dans le temps de la même manière. Les quatre phases que nous pouvons mettre en évidence sont les suivantes :

- l'observation, ou la perception des choses réelles ;
- un niveau élémentaire d'abstraction pour désigner les objets observés (ce que nous pouvons appeler l'apprentissage du vocabulaire - un langage élémentaire) ;
- une symbolisation et abstraction (qui donne lieu à l'emploi d'un langage plus spécialisé et fournit des objets de raisonnement) ;
- la créativité (qui est une extension d'idée souvent basée sur le résultat des trois phases précédentes).

Nous pensons qu'un système d'enseignement doit favoriser cette progression.

Mais nous avons vu également qu'il y a une forme d'apprentissage par le conditionnement, par l'exploitation des comportements naturels innés. Nous pensons donc que les concepts de cette théorie doivent être mis en œuvre en même temps que les concepts de la progression cognitive dans un système d'enseignement. Un système basé sur les concepts de ces deux théories correspondent à ce que nous appelons un environnement d'apprentissage.

Dans le chapitre suivant, nous présentons ce qui a été fait dans cette direction par l'utilisation de l'ordinateur.

CHAPITRE II

L'ORDINATEUR DANS L'ENSEIGNEMENT

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différentes catégories d'application de l'ordinateur dans l'enseignement ainsi que l'évolution de ces applications. Le but de ce chapitre est de présenter très brièvement des terminologies du monde de l'enseignement par l'ordinateur et de montrer des améliorations possibles de ce qui a été fait.

Comme dans beaucoup de secteurs économiques et sociaux, l'enseignement n'a pas échappé à l'application de l'ordinateur [TSI88, RAC87, AGD87]. On peut distinguer trois catégories d'applications de l'ordinateur dans l'enseignement :

- application de l'informatique pour les tâches administratives ,
- application pédagogique de l'informatique ,
- l'informatique comme matière à enseigner.

La figure I.2. montre qu'en fait l'ordinateur dans l'enseignement correspond à l'application des techniques informatiques dans un monde d'enseignement.

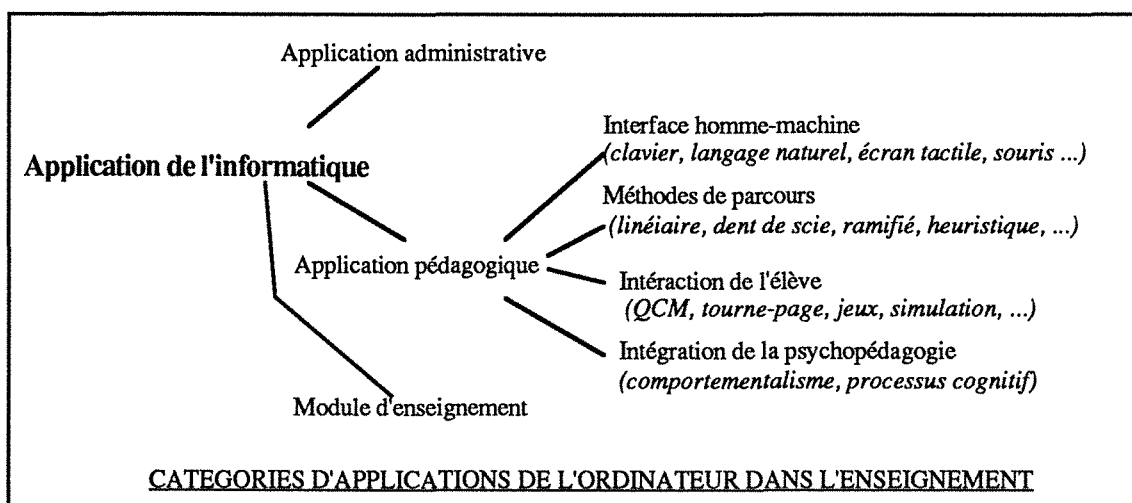


Figure I.2.

La catégorie d'application qui nous intéresse dans cette thèse est la deuxième (application pédagogique de l'informatique). La troisième catégorie peut être un champ d'application possible pour la deuxième catégorie. La première catégorie peut être classée parmi les applications appelées bureautiques. Parmi les tâches administratives on peut citer : la gestion d'information ou base de données (gestion des résultats, gestion des effectifs, gestion de stock, ...), le secrétariat (par exemple rédaction de lettres, fiches de résultats, rédaction de rapports, ...).

Beaucoup de systèmes informatiques ont été produits avec le souci d'apporter des améliorations dans le transfert de connaissances - c'est ce que l'on appelle généralement l'EAO. Dans la suite du chapitre, nous présentons l'EAO, son évolution, ses avantages et ses difficultés.

II.2. EAO

II.2.1. Définition

EAO signifie "Enseignement Assisté par Ordinateur". Les trois mots "Enseignement", "Assisté", et "Ordinateur" peuvent avoir un impact plus ou moins grand sur le système construit selon l'importance respective que l'on donne à chacun des mots. Par exemple, si l'on met trop d'accent sur "Assisté", on risque de confondre "Enseignement" et "Assistance", ce qui sera regrettable - car on assiste ceux qui ne sont pas capables de se prendre en charge [LEF84]. Et si l'accent est mis sur "Ordinateur", l'effort risque d'être porté sur le matériel alors que l'ordinateur n'est qu'un outil pour le problème d'enseignement. Le mot le plus important des trois est bien sûr "Enseignement". Mais pour enseigner, il faut des outils, dont l'ordinateur. Donc pour nous le mot "Assisté" doit être rattaché au rôle de l'ordinateur en tant qu'outil et non sur l'enseignement - car l'ordinateur n'intervient que pour réaliser des objectifs de l'enseignement et non pour l'assister. Est-ce qu'une machine agricole assiste l'agriculture ou l'agriculteur ? Ce que nous venons de dire sur le rôle de l'ordinateur vise à préciser le fait que l'éducation constitue pour nous la tâche primordiale. Mais pourquoi l'ordinateur comme un outil pédagogique dans l'enseignement ? C'est ce que nous présentons au paragraphe suivant.

II.2.2. Pourquoi l'Ordinateur ?

L'utilisation de l'ordinateur pour des tâches pédagogiques a certaines caractéristiques qui nous semblent particulièrement intéressantes :

1) Disponibilité :

Contrairement à l'enseignant, l'ordinateur est toujours à la disposition de l'élève.

2) Répétition :

Un autre grand avantage de l'ordinateur, d'ailleurs lié à sa disponibilité, est la capacité de répétition. Un élève qui ne comprend pas un cours peut refaire le cours autant de fois qu'il veut jusqu'à ce qu'il soit satisfait (sous réserve qu'il comprenne un jour ...).

3) Autonomie :

Parce que l'ordinateur est programmable, il est possible de concevoir des systèmes où l'élève est autonome. Le système peut être utilisé donc, soit pour réaliser de nouveaux exercices au rythme de l'élève, soit même pour refaire des exercices proposés par le système en cas d'erreur. Il faut noter qu'alors tout l'aspect "honteux" de l'erreur commise devant les autres est ainsi évité.

4) Diversité de l'information :

L'information (ou la connaissance) à transmettre dans un processus d'enseignement peut être sous forme de texte, de graphique, d'image ou de son. L'ordinateur permet de stocker les informations sous des formes diverses et de les restituer également sous diverses formes.

5) Diversité des moyens de transmission :

La diversité des formes d'informations nécessite souvent des matériels divers. Mais l'ordinateur permet l'interface avec d'autres outils de stockage et de présentation d'information (par exemple le vidéoprojecteur).

Ces caractéristiques de l'ordinateur ont permis la réalisation de beaucoup de systèmes d'EAO. Depuis les premiers de ces systèmes qui datent des années 70, il y a eu beaucoup d'évolution dans le domaine de l'EAO.

II.2.3. Evolution de l'EAO

Depuis les premiers systèmes, les concepts, les objectifs, les méthodes et les outils de réalisation ont beaucoup progressé. Il y a trois catégories d'évolution qui nous paraissent importantes à examiner :

- évolution dans les matériels,
- évolution dans les techniques de réalisation,
- évolution dans les techniques pédagogiques.

II.2.3.1. Evolution matérielle

Au début, les systèmes d'EAO n'avaient comme support matériel que le clavier et l'écran. Cela ne facilitait pas la tâche ni des réalisateurs, ni des élèves. Les outils matériels n'étaient pas adaptés aux non informaticiens. Les élèves rencontraient déjà des difficultés dans l'apprentissage des outils informatiques avant toute autre forme d'apprentissage, en particulier de l'objectif pédagogique du système. La figure I.3. montre l'évolution matérielle dans le domaine de l'EAO. Cette évolution concerne principalement les moyens de communication avec l'ordinateur et les formes de présentation d'informations (ou de connaissances).

A) Matériel de la communication Homme-Machine (La souris et l'écran tactile)

L'introduction de la souris a facilité l'utilisation des systèmes d'EAO par l'élève. Il peut déplacer la souris et la cliquer pour choisir des opérations à effectuer ou pour choisir une réponse dans une liste. Mais pour des questions ou réponses non prévues dans le système, la difficulté d'utilisation du matériel reste la même : l'élève est obligé d'utiliser le clavier. Ce même principe de fonctionnement s'applique aux écrans tactiles : on touche des zones correspondant aux opérations ou aux réponses.

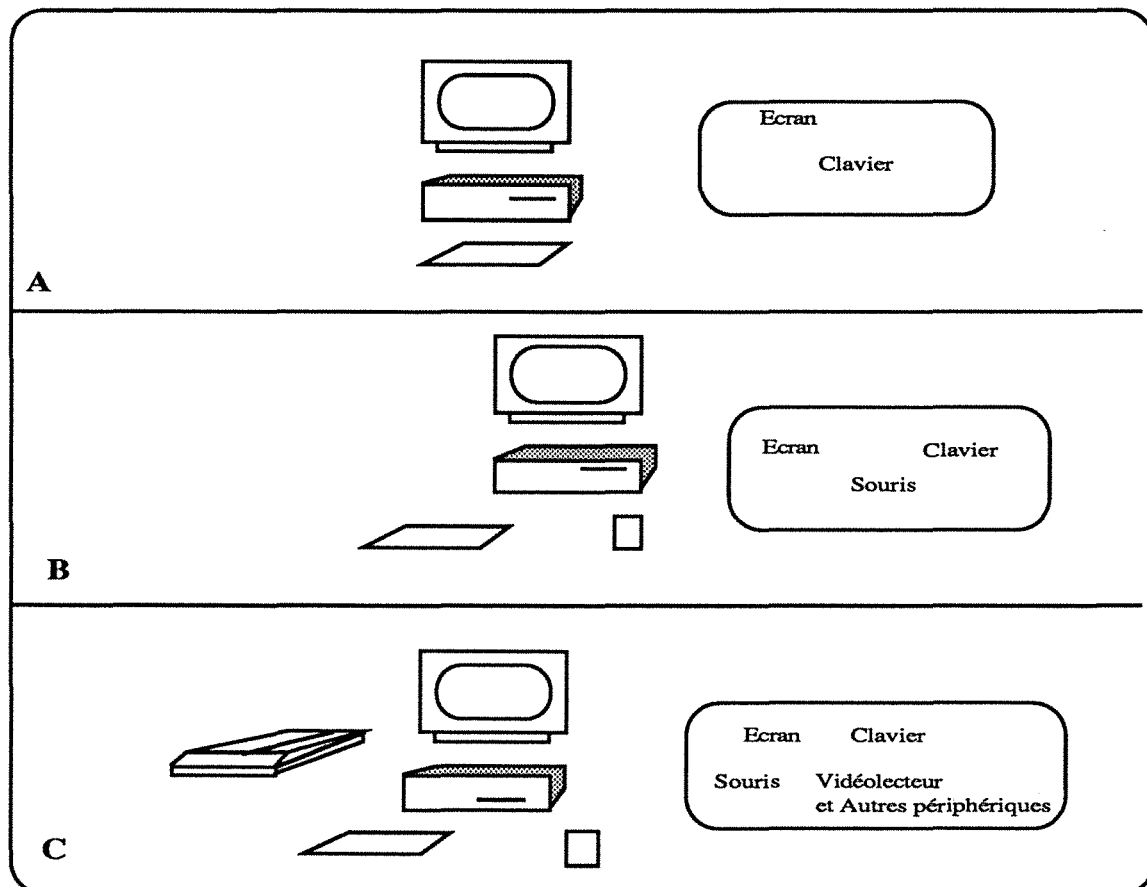


Figure I.3. : Evolution Matérielle Informatique en EAO dans le Temps

B) Matériel de stockage et restitution des informations (ou des connaissances)

Les matériels de stockage et de restitution d'informations ont contribué également à l'évolution de l'EAO. La carte graphique par exemple a permis de présenter des résultats ou des questions sous forme graphique. Le vidéodisque et le projecteur de diapositives permettent de présenter des informations ou des connaissances sous forme d'images réelles. Les CDROM et les disques numériques permettent de numériser les images, ce qui permet par conséquent d'effectuer des traitements sur les images elles-mêmes. Ces outils matériels ont influencé les méthodes pédagogiques utilisées dans les systèmes. Par exemple, l'introduction de l'image permet une présentation visuelle des concepts à enseigner. Récemment sont apparues les cartes sonores. Il est donc possible d'associer des réponses ou des textes à des répertoires sonores.

II.2.3.2. Evolution dans les Techniques de réalisation

Réalisation des systèmes d'EAO par les langages de programmation

Au début :

- les langages sources n'étaient pas souples et ils n'étaient pas structurés. Par conséquent la mise à jour des programmes et le changement de domaine d'enseignement entraînait un changement complet des programmes;
- les langages sources n'avaient pas assez de fonctions permettant de mettre en œuvre beaucoup de fonctions pédagogiques, par exemple la gestion d'écran et l'analyse des réponses.

Cela limitait donc la production des systèmes d'EAO aux informaticiens s'intéressant à l'enseignement par l'ordinateur et aux enseignants prêts à apprendre l'informatique.

Les systèmes auteurs

Il s'est avéré donc nécessaire de proposer des outils de programmation pour faciliter la tâche de construction des systèmes d'EAO. Ces outils ont eu un développement sous le nom de "systèmes auteurs"; un tel système permet à un non informaticien (un enseignant par exemple) de construire un système d'EAO avec peu de connaissance informatique, mais aussi aux informaticiens de faciliter la construction de leurs systèmes. ARLEQUIN, DUO, SUPERPILOT et EGO sont quelques systèmes auteurs [TSI87].

II.2.3.3. Evolution dans les Techniques Pédagogiques

Les techniques pédagogiques ont beaucoup évolué, notamment en relation avec l'évolution matérielle. Pédagogiquement, les aspects les plus importants qui ont évolué sont les méthodes de présentation de l'information et l'interaction avec l'élève. [FAR86] présente un résultat statistique qui montre les pourcentages d'information retenue en fonction du média utilisé pour acquérir des informations. Nous retenons :

- 10 % de ce que nous lisons ,
- 20 % de ce que nous entendons ,
- 30 % de ce que nous voyons ,
- 50 % de ce que nous entendons et voyons ,
- 80 % de ce que nous disons ,
- 90 % de ce que nous disons en faisant.

Cela signifie que l'on peut s'attendre à des résultats plus positifs par l'intégration de diverses formes de présentation d'information et de participation active.

Les aspects de la méthode pédagogique ayant beaucoup évolué sont les suivants :

- * les degrés d'interaction de l'élève avec le système ,
- * les méthodes de cheminement ,
- * l'intégration des bases psychopédagogiques (l'intégration de la psychologie d'apprentissage et de la pédagogie).

1) Evolution de l'interaction de l'élève avec le système

L'interaction de l'élève avec les systèmes était au début assez simple. Parmi les méthodes d'implantation répertoriées qui reflètent les degrés d'interaction en EAO [TSI87, TSI88, FAR87, HER85, CHAU87, CHE87] on peut citer :

- les tourne-page :
l'élève tourne les informations page par page comme dans un livre. Mais le système peut poser des questions très simples qui parfois ne demandent pas de réponse devant être analysée par le système, ou bien des réponses avec OUI ou NON.
- Question à Choix Multiple (QCM) :
cette méthode d'interaction demande un peu plus d'interaction de l'élève avec le système que la méthode précédente. Dans cette méthode, l'élève choisit une réponse dans une liste de réponses possibles. Les choix de réponse sont parfois utilisés pour déterminer les questions suivantes à proposer.
- les questions ou réponses ouvertes :
Par cette méthode, la technique la plus simple est que l'élève donne une liste de mots comme réponse ou comme question. La technique la plus complexe est que l'élève ou le système présente des réponses ou des questions en langage naturel. Cette méthode facilite la compréhension et la tâche d'expression de l'élève mais le système est plus difficile à réaliser.
- la simulation :
Dans cette méthode, on met l'élève dans une situation où il faut réagir. Les conséquences de ses réactions sont simulées par l'ordinateur. La simulation peut être simple (par exemple une simulation numérique comme en statistique), ou complexe (par exemple une simulation graphique comme en biologie ou géographie).

2) Evolution des méthodes de cheminement

Pour mettre en œuvre ces différentes méthodes d'interaction, des méthodes ou modèles de parcours ont été proposés. Comme les premiers systèmes d'EAO ont été inspirés par les capacités de l'ordinateur, il semble que les premières techniques pédagogiques implantées ont été inspirées par les théories de SKINNER (le comportementalisme) et de CROWDER (l'utilisation des erreurs) [HER85]. Quelles sont les fonctions pédagogiques favorisées par l'usage de l'ordinateur :

- l'ordinateur étant programmable, favorise l'individualisation quant au rythme d'apprentissage par l'élève,
- l'ordinateur étant programmable permet le fractionnement de la difficulté (ou de modules d'enseignement) et la progression par étapes,
- les erreurs commises par l'élève peuvent être utilisées soit par l'élève, soit par le système pour la progression dans le système.

Voyons donc quelques méthodes ou modèles de parcours proposés [LEF84] pour réaliser les fonctions pédagogiques présentées ci-dessus :

- * **modèle linéaire** : dans ce modèle, il n'y a qu'un seul cheminement possible. La formulation des réponses est assez simple, souvent "oui" ou "non".

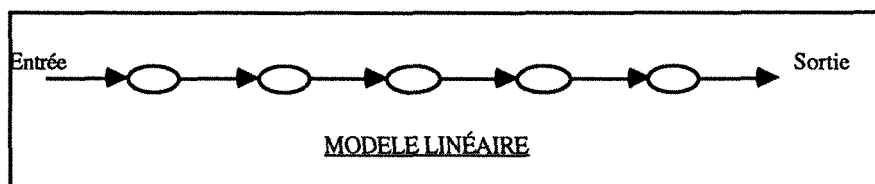


Figure I.4.

- * **modèle ramifié** : dans ce modèle, on introduit le risque d'échec. Des retours aux étapes antérieures sont possibles, des formulations différentes sur un terme déjà étudié et des séquences de complément sont intégrées. Les branchements sur les différents chemins possibles ne sont pas choisis par l'élève, ils sont effectués de façon transparente et automatique en fonction des réponses données. L'identification d'une erreur peut être suivie d'un branchement sur un parcours thérapeutique spécifique de l'erreur identifiée;

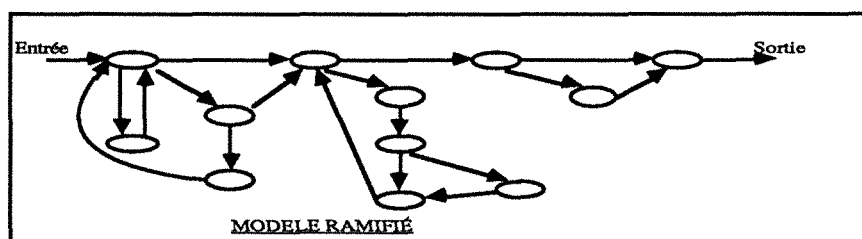


Figure I.5.

- * **modèle multi-niveaux** : on différencie les niveaux de difficulté implantés, donc les parcours suivent des niveaux de difficulté;

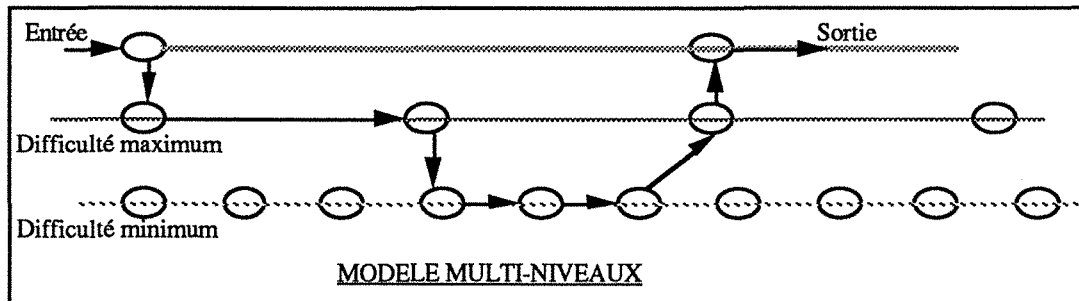


Figure I.6.

- * **modèle en dents de scie** : ce modèle permet d'établir une différence entre des items d'enseignement et des items de questionnement ou d'approfondissement.

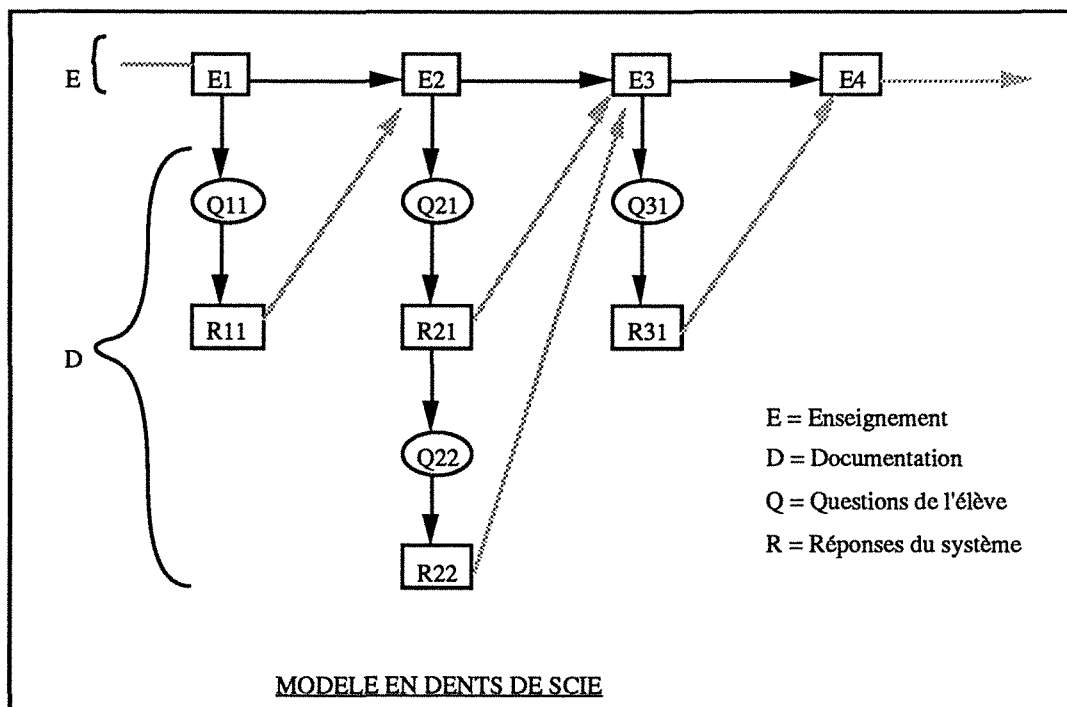


Figure I.7.

Par rapport aux modèles linéaire ou ramifié, l'initiative d'approfondissement ou de questionnement est laissée à l'élève;

- * **modèle heuristique** : ce modèle permet plusieurs entrées dans le système et plusieurs sorties. Puisque le système ne peut plus prévoir tous les parcours possibles, le modèle est de "modèle heuristique". Le système estime le meilleur parcours mais sans certitude. Les règles pour déterminer les cheminements sont formées d'heuristiques.

Mais il faut noter que ces modèles peuvent être combinés dans un seul système.

3) Evolution dans les Bases Psychopédagogiques

Les principales bases psychopédagogiques utilisées sont :

- le comportementalisme ,
- l'utilisation positive de l'erreur ,
- l'intégration de l'image pour la présentation visuelle des connaissances.

Il y a de plus en plus de désir et d'effort pour prendre en compte et pour expérimenter les concepts psychopédagogiques [AGD87, DED86, HER85].

Les réalisateurs ont mis beaucoup d'efforts pour matérialiser leurs concepts. Mais nous pouvons nous poser la question de savoir si les systèmes d'EAO parviennent à remplir leur rôle pédagogique. Quelques critiques sont formulées à l'égard des systèmes d'EAO existants. C'est ce que nous présentons brièvement dans le paragraphe suivant.

II.2.4. Des Insuffisances des systèmes en service, et Tendances actuelles

Parmi les critiques formulées à l'égard des systèmes d'EAO existants on peut citer :

- pas assez d'initiative de la part de l'élève,
 - l'élève peut répéter les parcours autant de fois qu'il le souhaite mais cela peut devenir très vite monotone,
 - les analyses des réponses de l'élève sont peu développées, ce qui rend les systèmes très rigides et inefficaces,
 - les systèmes éliminent les relations humaines,
- etc.

Nous pensons que la plupart de ces reproches sont dus d'une part au manque d'outils informatiques (par exemples les environnement de développement) et d'autre part aux théories d'apprentissage mises en œuvre. Il faut noter que ces systèmes sont basés sur le conditionnement de l'élève soit directement soit indirectement. La nécessité d'appliquer d'autres théories d'apprentissage était donc impérative.

Les outils informatiques constituent un frein à la réalisation des systèmes. Cela signifie que les réalisations sont condamnées à suivre les développements dans le domaine des outils informatiques (outils électroniques et outils de programmation).

Pour améliorer l'efficacité des systèmes d'EAO, nous pensons qu'il faut intensifier les recherches sur :

- l'apport de l'image en EAO ;
- l'apport du son en EAO ;
- les outils de raisonnement ;
- les outils de communication homme-machine : par exemple le langage naturel.

Notre intérêt porte plus particulièrement sur l'apport de l'image et les outils de raisonnement. Déjà dans les domaines des outils de raisonnement, il y a des développements.

En Image

Les réalisateurs ont essayé d'intégrer l'image dans leurs systèmes. Malheureusement, les images disponibles étaient des images graphiques souvent générées par des programmes [MOR86]. Elles prennent beaucoup de place et elles sont souvent de mauvaise qualité. Dans ce domaine également, les progrès technologiques ont fait évoluer les réalisations. Maintenant, par les disques optiques numériques, les vidéodisques, les projecteurs de diapositives, on a accès à des images réelles et les écrans de l'ordinateur eux aussi ont de plus en plus de qualité de résolution pour les images graphiques.

En Intelligence Artificielle

L'introduction des techniques de l'intelligence artificielle (IA) permet d'expérimenter d'autres théories d'apprentissage comme celles proposées par les défenseurs de processus cognitifs pour l'apprentissage. Cette introduction des mécanismes de l'IA a fait naître une autre approche de l'informatique dans l'enseignement, ce que nous présentons dans la paragraphe II.3.

Exemples de Systèmes d'EAO Avec Images

Les deux premiers systèmes d'EAO que nous présentons ici ont été répertoriés grâce à la collaboration de professeurs de Nancy. Le troisième est un logiciel réalisé en Grande Bretagne. Ces systèmes sont utilisés dans les lycées et les collèges. Ils ont pour particularité d'utiliser l'image.

Système d'étude de transfusion sanguine : L'objectif du système est de faire acquérir à l'élève les principes de la transfusion sanguine (les types de sang, les combinaisons des types etc.).

Déroulement du logiciel : le déroulement du système se fait sous forme de simulation. Le système commence par la présentation des types de sang, un donneur et un receveur sous forme graphique. Il donne également les caractéristiques sanguines du receveur et du donneur. L'élève peut découvrir les combinaisons des types de sang (entre le donneur et le receveur) en essayant toutes les combinaisons possibles des types de sang présentés. Le système effectue la combinaison en la présentant sous forme graphique et indique si la combinaison est possible ou non. Par un autre type de déroulement, le système présente un donneur et un receveur, leurs caractéristiques sanguines, puis l'élève doit décider si une transfusion est possible entre les deux individus.

Mots-Croisés avec des Images : L'objectif du système est de faire acquérir du vocabulaire à l'élève.

Déroulement du logiciel : le système propose des images et une grille sur l'écran. L'élève doit choisir les images une après l'autre, écrire leur nom sur la grille soit verticalement soit horizontalement. Le but à atteindre par l'élève est de parvenir à remplir toutes les cases de la grille avec les noms des images.

DOMESDAY : L'objectif du système est de donner des informations sur des régions géographiques. Ce système est réalisé en Angleterre. Il utilise des images stockées sur un vidéodisque. Les images sont des cartes géographiques, des images des paysages etc.

Déroulement du logiciel : le système commence par la présentation de la carte de tout le pays. Il présente également une grille sur la carte. L'élève peut choisir une région et le système présente alors la carte de la région plus détaillée. L'élève peut de cette manière découvrir de plus en plus le détail d'une région. Il peut aussi cheminer de région en région par voisinage (ce qui est appelé "map walking"). L'élève peut également demander des informations autres que la carte de la région. Ces informations peuvent porter sur des statistiques ou sur des aspects sociaux de la région.

II.3. EIAO

II.3.1. Définition

L'introduction des mécanismes de l'IA a entraîné une évolution dans les méthodes de résolution des problèmes. Par exemple son introduction a permis d'étendre les champs d'application de l'informatique. Les systèmes à base de connaissances[COO83] par exemple permettent d'une certaine façon de "simuler" le raisonnement humain.

Les systèmes d'EAO réalisés avec l'intégration de l'IA sont appelés EIAO "Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur". Ce sigle peut être mal interprété, car on peut supposer que les systèmes d'EAO antérieurs à l'introduction de l'IA ne sont pas construits d'une manière intelligente. On appelle aussi les systèmes d'EIAO les "tuteurs intelligents" afin d'éviter l'interprétation fautive de l'"EIAO" et pour insister sur le rôle du système en tant que "tuteur".

II.3.2. Pourquoi l'IA ?

Quelles sont les préoccupations des réalisateurs en intégrant l'IA ? Nous remarquons trois grandes catégories de préoccupations d'ordres différents :

- * besoins pédagogiques :
 - besoin d'expliquer le raisonnement car dans la plupart des systèmes d'EAO les cheminements ne sont pas expliqués;
 - besoin de mettre en œuvre des méthodes de résolution de problèmes par la logique, par exemple, par le raisonnement déductif ou par le raisonnement inductif ;
 - besoin de pouvoir générer de nouvelles connaissances à partir de celles existantes ;
 - mieux adapter les cheminements à des cas combinatoires ;
 - pouvoir générer des solutions ou des problèmes par le système.
- * besoins de réalisations :
 - faciliter la réalisation des systèmes d'EAO et particulièrement d'applications à l'aide de systèmes auteurs, pour les non informaticiens.
- * besoin de communication :
 - faciliter l'utilisation de l'image, de la parole et du langage naturel.

Les mécanismes de l'IA (cf paragraphe I.5. de la partie II de la thèse) permettent d'aborder de nouvelles préoccupations. Par exemple :

- la génération d'exercices,
- la génération d'explications
 - * explication de résolution de problèmes,
 - * explication de cheminement,
- l'intégration d'un module de l'élève,
- étendre les applications à d'autres media. Par exemple :
 - * illustration par des schémas,
 - * utilisation du son.

Il faut noter que le désir d'intégrer ce qui est appelé le module de l'élève révèle en fait le désir de particulariser les systèmes d'EIAO en fonction de l'élève.

Nous pouvons, comme nous l'avons fait pour les systèmes d'EAO, nous poser la question de savoir si les systèmes d'EIAO remplissent efficacement les rôles pédagogiques. Quelques critiques sont formulées à leur égard. Avant de présenter ces critiques, nous donnons deux exemples de systèmes d'EIAO (d'autres exemples peuvent être trouvés dans [TSI88]).

II.3.3. Exemples de Systèmes Existants

L'une des particularités des systèmes d'EIAO concerne les efforts mis en œuvre afin de particulariser ces systèmes en fonction de l'élève. Adapter un système pour un élève nécessite ce qui est généralement appelé un module de l'élève. Cependant les systèmes que nous présentons dans ce paragraphe sont des systèmes sans module de l'élève. Les détails de ces systèmes présentés ici ne sont pas donnés. On pourra trouver une analyse plus complète dans [NIC88 et DAV86].

Didacticiels sans Module de l'Elève

Nous pouvons schématiser un didacticiel sans l'intégration d'un module de l'élève par le diagramme suivant. Ce schéma illustre les deux parties fonctionnelles de tels systèmes : la partie "fonctions pédagogiques" et la partie "scénarios". Les scénarios décrivent les interactions entre l'élève et le système pour atteindre un objectif pédagogique. Les fonctions pédagogiques sont

principalement : identifier les erreurs, les signaler à l'élève et changer le plan de parcours dans un scénario en cas de besoin.

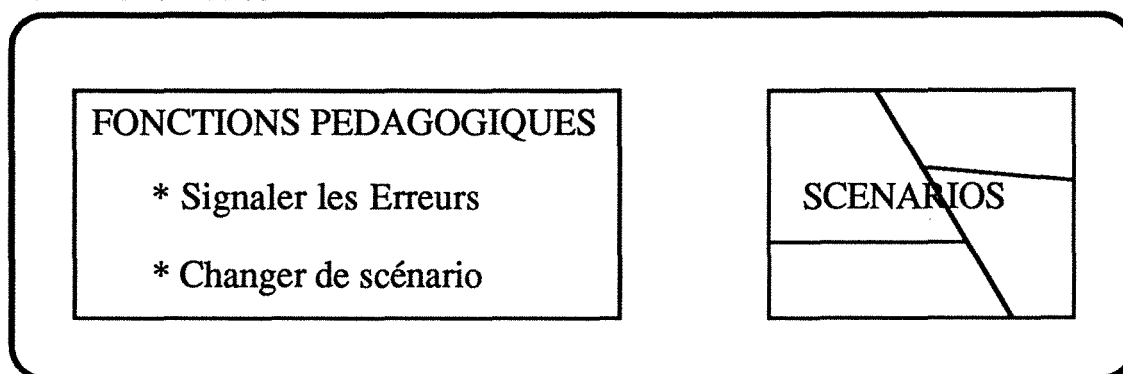


Figure I.8. : Didacticiel Sans Module de l'Elève

Dans un didacticiel sans module de l'élève, il n'y a pas en général de prise en compte synthétique de l'ensemble des réponses données par l'élève. Le principe est simplement de signaler les erreurs dans les réponses. Ces types de didacticiels qui n'intègrent pas de modules de l'élève reposent sur un type d'apprentissage qui est le comportementalisme. L'interaction entre le système et l'élève peut reposer sur :

- une initiative unique de l'élève : c'est à dire que c'est l'élève qui choisit les scénarios, les exemples, les exercices, etc ;
- une initiative unique du système : c'est à dire que c'est le système qui décide seul les scénarios, les exemples, les exercices, etc ;
- une initiative mixte, où l'élève et le système peuvent prendre des initiatives pour le choix de scénarios, les exemples ou les exercices.

En effet, ce genre de didacticiel a pour principe d'avancer dans un scénario sur succès de l'élève et sanctionne les erreurs, généralement en bouclant sur l'étape courante. Nous présentons au paragraphe suivant deux exemples de didacticiels sans module de l'élève.

Exemples de Didacticiels sans Module de l'élève

SCHOLAR : L'interaction entre le système et l'élève est mixte, c'est à dire que le système peut poser des questions à l'élève ou l'inverse.

Déroulement du système : le modèle de parcours ressemble au modèle en dents de scie (cf paragraphe II.2.3.2.). Le système (ou l'élève) pose des questions sur la géographie de l'Amérique du Sud. Par exemple des questions sur les populations des pays, les climats, etc. L'interrogation est en langage naturel, qui est l'aspect du système où les

mécanismes de l'IA sont les plus exploités. Le système effectue des branchements pour fournir des explications ou pour donner des compléments d'informations avant de continuer. Les erreurs sont immédiatement signalées et corrigées avant de continuer l'interaction. A noter que ce système ne comprend pas d'image.

Un système d'identification d'arbre (diffusé par le CRDP Nancy) : dans ce système, toute initiative vient du système. Le système demande à l'élève de choisir les caractéristiques de son arbre (un spécimen). Le système utilise les descriptions données par l'élève pour proposer l'arbre qui correspond le mieux aux descriptions. Il n'y a pas de correction d'erreur par le système. C'est l'élève qui juge si l'arbre proposé correspond ou non à son spécimen.

II.3.4. Des Insuffisances de l'existant

Parmi les critiques qui sont formulées à l'égard des systèmes d'EIAO existants on peut citer :

- l'élève peut prendre plus d'initiative dans les systèmes d'EIAO mais les traits particuliers des élèves ne sont souvent pas exploités ;
- les explications des solutions fournies par les systèmes sont souvent uniquement des traces des solutions partielles ;
- la plupart des systèmes d'EIAO ne s'intéressent qu'à l'acquisition de connaissances procédurales comme en mathématiques (résolution de problèmes) et en médecine (par exemple le diagnostic).

Nous avons survolé les systèmes d'EAO et leur évolution. Nous avons essayé de justifier également leurs avantages tout en précisant les limites de l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement. Que pouvons-nous tirer comme conclusion dans ce paragraphe et plus généralement dans ce chapitre ?

II.4. Conclusion

Nous avons noté au paragraphe II.2.5 que la plupart des critiques formulées à l'égard des systèmes d'EAO sont dues au manque d'outils informatiques mais qu'il y a une nécessité d'étendre

les théories et les techniques d'apprentissage mises en œuvre. Nous voyons plus clairement par les critiques formulées à l'égard des systèmes d'EIAO que le fond du problème d'EAO ne porte pas uniquement sur les outils informatiques mais qu'il repose particulièrement sur le processus d'apprentissage lui-même qui est employé par le système. C'est pourquoi nous abordons la conception d'un système d'EIIAO par l'étude des théories d'apprentissage. Nos concepts, qui seront présentés dans la partie suivante de la thèse, sont basés sur ces théories.

PARTIE II

VERS LA CONCEPTION D'UN SYSTEME D'EIIAO

Dans la première partie, nous avons présenté l'état des recherches en EAO et en EIAO. Nous nous sommes intéressé plus particulièrement à leur évolution. Nous avons essayé de clarifier ce que nous entendons par "enseignement" et "apprentissage". Notre réflexion sur la clarification a été suivie par une étude des théories d'apprentissage. Rappelons que notre objectif premier de travail porte sur les applications du processus EXPRIM et de l'image en EAO.

Dans cette partie, nous présentons les concepts qui ont nourri notre réflexion sur la façon de concevoir un système d'EIIAO. Cette partie commence par une présentation des approches existantes pour la construction des systèmes d'enseignement, suivie de l'approche que nous avons adoptée. Les éléments primordiaux pour réaliser cette approche (soient l'image, le processus EXPRIM et l'intelligence artificielle) sont également présentés. Ces réflexions nous ont amené à la définition d'une architecture que nous présentons dans le chapitre II.

CHAPITRE I

Quatre Concepts pour un EIIAO - Enseignement et Apprentissage, Image, le Processus EXPRIM, IA

I.1. Introduction

Nous avons présenté les théories d'apprentissage au chapitre I de la première partie du rapport ainsi que les différences entre l'"enseignement" et l'"apprentissage". Certaines théories se prêtent à l'enseignement, comme par exemple la théorie du comportementalisme, et d'autres se prêtent à l'apprentissage comme par exemple la théorie de l'évolution cognitive. Les didacticiels produits reposent selon les cas sur l'un ou l'autre mode de développement - l'"enseignement" ou l'"apprentissage".

Par exemple, pour nous la formation professionnelle se rattache à ce que nous avons appelé l'"enseignement" car le contenu et les démarches de la formation sont généralement prédéfinis. Et le didacticiel est adapté pour favoriser le contenu de la formation plutôt que l'élève. L'intérêt porte sur le savoir-faire et considère d'une manière générale que le savoir nécessaire à l'acquisition du savoir-faire est déjà acquis ou partiellement acquis.

La formation initiale (ou continue non professionnelle) par contre se rattache ou doit se rattacher à ce que nous appelons l'"apprentissage". Dans ce cas il ne s'agit pas d'acquérir uniquement des savoir-faires, mais également d'acquérir les savoirs de base nécessaires, c'est à dire les théories et les connaissances sous-jacentes.

Dans la suite du chapitre nous présentons les approches théoriques d'apprentissage que nous avons adoptées pour le développement d'un système d'EIIAO. Nous croyons profondément à la nécessité de la présence simultanée de l'"enseignement" et de l'"apprentissage". Les éléments nécessaires à une telle approche comme l'image, le processus EXPRIM, et l'intelligence artificielle sont également présentés, ceux-ci dans le contexte de notre proposition.

I.2. Trois Approches pour le développement d'un Didacticiel

Trois approches de base sont possibles pour développer un didacticiel. La première approche peut être qualifiée d'enseignement pur avec la définition du terme "enseignement" donnée au chapitre I de la première partie du rapport. Dans cette approche, le maître par le biais du didacticiel dirige tout : il détient les connaissances, c'est lui qui transfère les connaissances, il les contrôle, il détermine ce qu'il faut enseigner etc. Cette approche est basée sur le comportementalisme ce qui revient à créer des scénarios pour atteindre des objectifs pédagogiques (cf chapitre II.).

La deuxième approche peut être qualifiée d'apprentissage pur toujours d'après notre définition du terme "apprentissage". Dans cette approche, il n'y a pas de maître. Tout ce qui est jugé nécessaire est mis à la disposition de l'élève. L'élève juge lui-même ce qu'il faut acquérir comme connaissance et il contrôle sa propre connaissance. Cette approche peut être considérée également comme de la découverte pure. Un exemple de ce type d'environnement d'apprentissage est LOGO. LOGO ne fournit que les matériels de travail. L'élève peut se débrouiller tout seul pour apprendre. Mais ce système n'est pas souvent utilisé ainsi. Le maître doit d'abord faire acquérir à l'élève les opérations ou concepts de base pour pouvoir utiliser le système ou apprendre par son biais. Par exemple, pour dessiner un rectangle, l'élève doit savoir ce que sont une ligne, les angles et quelles sont les conséquences d'une rotation de la tortue etc ...

La troisième approche peut être considérée comme un apprentissage guidé ou la découverte assistée. Par cette approche, tout ce qui est jugé nécessaire pour l'apprentissage est donné à l'élève comme dans le cas de l'apprentissage pur. Mais en plus de cela, un système transparent est intégré pour assister l'élève d'une manière dynamique si des besoins sont détectés soit par l'élève soit par le système. Cette approche est similaire à celle préconisée par Decroly [BAS76] qui met l'accent sur la motivation, l'observation et la détermination des centres d'intérêt.

Notre Choix

Nous pensons que la troisième approche est la meilleure pour construire un système d'EIIAO. Pour qu'un système basé sur une approche de type apprentissage guidé (ou découverte assistée) soit efficace, il faut impérativement que l'élève soit motivé et intéressé par ce qu'il fait. Il faut également que l'élève puisse exprimer ses connaissances et qu'il soit actif dans le processus d'apprentissage. Si l'élève doit exprimer ses connaissances et s'il faut qu'il soit actif, le système

doit intégrer tous les environnements nécessaires, les environnements qui reflètent (ou qui soient adaptés à) chaque niveau d'habitude évocative de l'élève (cf chapitre II de la partie I de la thèse). Par exemple, quel que soit le domaine d'enseignement, il faut que l'élève puisse passer par le processus d'**observation**, apprendre le **langage élémentaire du domaine**, **symboliser** les connaissances, **raisonner et construire** avec les connaissances déjà acquises. C'est cela que nous appelons un environnement d'apprentissage, qui correspond à notre proposition d'approche pour la construction de didacticiels. Cette approche repose sur l'image et sur l'intelligence artificielle et c'est pourquoi nous avons appelé le type de didacticiel ainsi construit un EI²AO c'est à dire un Enseignement par l'Image Intelligemment Assisté par Ordinateur.

I.3. Eléments de Réussite pour notre approche

Quelles sont les difficultés et quels sont les objets nécessaires à mettre en œuvre pour réaliser cette approche ? Les réponses à cette question donneront des clés ou des éléments pour la réussite du type de concept proposé.

Il faut noter que notre objectif est d'avoir un didacticiel individualisé, c'est à dire que le système considère qu'il n'y a qu'un élève qui est en train de l'utiliser à n'importe quel moment; cela ne signifie pas néanmoins qu'un tel système ne pourra pas être utilisé par un groupe d'élèves. Donc tous les éléments de réussite que nous donnons dans ce chapitre supposent qu'il n'y a qu'un seul élève utilisateur du système.

I.3.1. La Motivation de l'Elève - une nécessité absolue

Pourquoi motiver ?

La difficulté majeure, soit pour un enseignant soit pour un système EAO, est la motivation de l'élève. Développer l'intérêt, l'attention et la curiosité des élèves à l'école est un sujet qui préoccupe les pédagogues depuis de nombreuses années [BAS76, CHE87]. Dans [LEF84] cette préoccupation est exprimée d'une autre manière : "personne n'a encore trouvé le bon moyen pour empêcher quelqu'un d'apprendre - pour peu qu'il en ait simplement envie. Il n'est besoin dans ce

cas, ni d'outils sophistiqués, ni même d'enseignant. Toute une tradition d'autodidaxie montre bien qu'on peut apprendre seul, progresser seul, découvrir seul".

Comment motiver l'élève ?

Obtenir la motivation de l'élève repose sur des ingrédients dont nous donnons quelques exemples ici.

La Satisfaction des Besoins Propres

Chaque individu peut trouver sa motivation parmi ses besoins propres. Outre des besoins instinctifs tels que satisfaire sa faim ou sa soif, il existe des besoins propres d'ordre social. Par exemple, le besoin d'un individu de se maintenir dans une classe sociale donne à un élève qui veut être ingénieur à tout prix un objet de motivation, et il mettra tout en œuvre pour le réaliser.

L'Image

Decroly, Piaget et de La Garanderie (cf [BAS76, PIA69, GAR88]) insistent beaucoup sur le fait que l'origine de la curiosité et donc de l'intérêt passe par l'observation. Ce qui nous intéresse le plus, compte tenu de notre intérêt de recherche (l'utilisation de l'image en enseignement) est l'affirmation de Decroly dans [BAS76] concernant le rôle de l'observation. Il dit que "l'intérêt de l'enfant s'arrête spontanément à des données globales - objets, faits, situations - qui deviennent par la suite des centres d'intérêt, et c'est surtout dans le domaine de la vision et particulièrement de la perception visuelle que ces phénomènes sont les plus flagrants et les plus nombreux". Il dit également que quand une idée est acquise par l'observateur, il en poursuit l'extension dans le temps et l'espace. L'observation est donc déclencheur d'intérêt d'une manière non pas temporaire mais durable. Il faut noter que l'observation correspond à la première phase dans la progression cognitive telle qu'elle est présentée par de La Garanderie. Nous croyons donc que l'image a un rôle important dans le processus d'apprentissage. C'est pourquoi le paragraphe I.4 lui est consacré.

Motiver implique déterminer et répondre aux centres d'intérêt de l'élève

Une autre préoccupation qui est aussi difficile que la motivation de l'élève est la détermination des centres d'intérêt de l'élève. Motiver l'élève est nécessaire pour que l'élève prenne conscience de la nécessité d'apprendre surtout dans le domaine concerné et par le système. La détermination des centres d'intérêts est nécessaire principalement pour pouvoir répondre à la curiosité qui peut être suscitée en cours d'utilisation du système. La motivation est nécessaire pour commencer et continuer le processus d'apprentissage. Mais le système doit pouvoir maintenir cette motivation de l'élève par la détermination de ses centres d'intérêt et en répondant à ses besoins qui reflètent ses centres d'intérêts.

I.3.2. Un Modèle de l'Elève est Indispensable

Nous avons remarqué que pour parvenir à notre objectif, c'est à dire réaliser un environnement d'apprentissage individualisé, il faut une bonne connaissance sur l'élève. Nous nous sommes donc posé la question de savoir comment représenter un élève. Il faut bien sûr une connaissance sur l'élève mais il nous faut également une forme de méta-connaissance sur lui. Par exemple, une forme de connaissance sur l'élève consiste à garder toutes les connaissances acquises au cours du processus d'apprentissage, toutes ses erreurs etc. Mais la méta-connaissance sur l'élève consistera à déterminer les types d'erreurs commises et les types de connaissances acquises. Cet aspect du modèle de l'élève est présenté au chapitre III.

Revenons sur le rôle de l'image dans un processus d'apprentissage. Le paragraphe suivant présente l'image comme un objet de motivation. Ses particularités sont présentées pour démontrer ses rôles potentiels dans un environnement d'apprentissage.

I.4. Image - un Objet de Motivation

L'image est un objet de motivation et constitue une base dans la progression cognitive. L'image intervient dans le processus d'observation mais ses particularités en tant qu'objet de représentation aussi bien d'une manière réelle que mentale fait qu'elle intervient dans toutes les

phases cognitives (les quatre phases cognitives présentées au chapitre II de la partie I du rapport). Nous présentons dans ce paragraphe les particularités de l'image en tant que porteuse d'information, son interprétation, ses différentes formes de présentation et quelques domaines où l'image est presque indispensable. L'image a bien sûr ses avantages mais elle a aussi ses difficultés, particulièrement pour son exploitation - par exemple comment décrire une image ou quel support utiliser pour la stocker.

I.4.1. Les Particularités de l'Image

Nous n'avons pas besoin de chercher loin ou d'être savant pour nous rendre compte de l'importance de l'image dans le monde. L'image se présente presque dans tous les secteurs de la vie. Pour la plupart d'entre nous, l'image est une représentation évidente du réel. Elle est perçue comme une information objective et cohérente. L'image dans toutes ses formes a subi une évolution au cours des siècles [BOR88]. L'image était le mode d'expression des premières civilisations. Elle a été ultérieurement supplantée par l'écrit. Mais elle redevient à nouveau un mode d'expression privilégié grâce aux progrès technologiques. Nous allons considérer quelques particularités de l'image qui la rendent aussi importante et qui par conséquent démontrent son importance dans un environnement d'apprentissage.

I.4.1.1. Image et discours

Un proverbe commun dans toutes les langues est que "une image vaut mieux qu'un long discours". Les mots constituent un discours. Mais les mots représentent indifféremment des objets ou des phénomènes. Par conséquent, si les objets du discours ne sont pas connus d'avance, la pensée du discours ne pourra pas être saisie. Une des supériorités de l'image sur le discours tient au fait que par la seule image, les objets sont présentés et un phénomène peut être exprimé par la disposition des objets sur l'image.

Cette supériorité de l'image sur le discours est exploitée dans plusieurs disciplines. Deux exemples de domaines où cette supériorité est exploitée sont le dessin humoristique et l'architecture. Avec un seul dessin dans la presse (par exemple en politique), l'humoriste peut passer son message. En architecture bien entendu, les idées sont exprimées par des dessins à tous les niveaux - des dessins techniques aux dessins des maquettes présentés aux clients afin d'expliquer une

proposition. Même les architectes eux-mêmes emploient l'image pour leur travail de conception par l'utilisation des systèmes de conception assistée par ordinateur basés sur le graphisme.

I.4.1.2. Interprétation de l'Image

Une autre particularité de l'image porte sur le processus d'interprétation de l'image, qui consiste à donner un sens à une image. Il y a deux domaines de recherche sur l'interprétation de l'image. Les psychologues s'intéressent au processus de l'observation. Les neurologues s'intéressent au traitement de l'image effectué par le cerveau.

Dans [LIE87], une étude expérimentale qui y est présentée montre que :

- l'hémisphère gauche domine pour le traitement du langage articulé,
- chaque hémisphère se partage la vision du monde extérieur.

Une hypothèse émise est donc que l'on peut supposer que pour une part la puissance de l'image en mémoire viendrait du fait que deux hémisphères peuvent traiter l'information imagée (monde réel, dessin, photo, cinéma, télévision etc) tandis que le traitement du langage se fait essentiellement dans un seul hémisphère. Il faut noter que la statistique du chapitre II de la partie I sur les pourcentages de l'information que l'on retient selon le mode de présentation va dans ce sens. On retient plus d'information présentée sous forme d'image que sous forme de texte ou de son.

Par rapport à l'image, DECROLY dit dans [BAS76] que quand nous voyons un tableau, une image, un dessin, nous pouvons d'emblée, d'un coup d'œil, sans nous arrêter volontairement à aucun détail, non seulement dire si c'est un cheval, une église, une gare, un port, mais même interpréter les événements que présente l'image ou le dessin.

Nous nous intéressons donc à trois aspects de l'image en rapport avec son interprétation : la connotation de l'image, la dénotation et l'observation.

La dénotation de l'image

Par définition, la dénotation d'une image représente les objets que représente l'image en dehors de leur signification. Les objets de l'image servent d'indices pour son interprétation.

La connotation de l'image

Interpréter une image consiste à relever les objets présentés dans l'image et attribuer des sens à chacun, ce qui permet de donner également un sens sur la totalité de l'image. Le sens attribué aux objets de l'image ou à l'image d'une manière globale constitue la connotation de l'image.

Il faut noter que l'image ne constitue pas toujours un objet d'interprétation. On peut voir une image sans aucune attention particulière : les indices sur l'image sont perçus mais sans aucune interprétation. Ce qui est important dans la perception des indices est que même si l'individu qui a vu l'image n'en fait aucune interprétation, ces indices sont gardés en mémoire. Pour interpréter une image, il ne s'agit pas de la voir simplement, il faut la regarder - une attention doit être manifestée par celui qui la regarde. C'est la perception de l'image qui déclenche l'intérêt, mais c'est son interprétation qui déclenche la curiosité. Cela explique la force de l'image en tant qu'objet pour le déclenchement de la curiosité et donc de la motivation.

L'observation de l'image

Une étape supérieure dans l'interprétation de l'image est l'observation. L'attention portée sur l'image est accentuée. Le regard porté sur l'image devient même une étude en détail, il est prolongé à l'abstraction. Par rapport à l'observation, PIAGET dans [PIA69] dit que l'intérêt initial s'enrichit des relations lorsque l'enfant curieux pose à son maître ou se pose à lui-même des questions qui tendent à l'établissement de rapports, de relations entre les faits - relations qui associent les idées et mènent au raisonnement logique, inséparable de l'observation directe. Nous avons par conséquent un véritable objet de motivation, qui est l'image.

I.4.1.3. Image - révélateur de l'Observateur

Une autre particularité de l'image est liée au processus de son interprétation. L'interprétation d'une image demande que l'observateur ait déjà eu une "interprétation" partielle de chacun des éléments présentés sur l'image. Cela signifie que la signification donnée à une image dépend d'une part des éléments reconnus sur l'image mais qu'elle dépend également des sens donnés à chaque élément par l'observateur. Par conséquent, une image peut représenter quelque chose pour un observateur, mais représenter autre chose pour un autre observateur. A titre d'exemple, je suis allé à une séance d'étude sur l'utilisation des diapositives dans le domaine des sciences naturelles. Une diapositive nous a été présentée avec

- deux oiseaux (un petit et un grand) ,

- un objet rouge et fibreux entre les becs des deux oiseaux.

On nous a demandé de commenter l'image. Tout le monde a dit que l'image représentait un oiseau mère nourrissant son petit avec de la viande (l'objet rouge et fibreux étant la raison de cette interprétation). Il faut noter que j'étais le seul Africain dans le groupe, les autres étaient Français. Mais pour moi l'Africain, l'objet rouge et fibreux ne signifie pas forcément de la viande. Cela peut bien être un fruit de palmier qui est aussi rouge et fibreux. La même image présentée en France et aux Français ne posera pas de problème car le fruit de palmier n'est pas connu. Par contre, la même image peut avoir des significations différentes chez les Africains vivant dans les pays tropicaux. La signification donnée à l'image dévoile donc la culture, le passé et les connaissances de l'observateur.

Puisque l'interprétation de l'image dépend des éléments reconnus sur l'image, cela implique que le créateur de l'image peut modifier ou orienter la signification d'une image en modifiant ou en déformant les objets de l'image et leur disposition. Cette particularité est un avantage précieux de l'image mais il constitue également la plus grande difficulté pour son exploitation.

I.4.2. Images pour les objets ou les phénomènes inaccessibles dans la réalité

Dans beaucoup de domaines, des objets et des phénomènes ne sont pas accessibles dans la réalité. Mais des techniques permettent d'en produire des images, leurs images. Cet avantage de l'image est exploité dans quatre catégories de situations :

Objets Inaccessibles :

Il existe des objets inaccessibles à l'œil nu ou que les contraintes de la vie ne permettent pas d'observer. Un film d'un pays lointains, images d'événements, d'éruption volcanique, l'image échographique du développement de l'embryon sont quelques exemples de cette situation.

Evolution trop rapide d'un objet ou d'un événement :

L'évolution d'un objet ou d'un phénomène peut être tellement rapide qu'elle ne puisse pas être observée réellement. L'évolution peut être filmée et donc ralentie pour être bien mise en évidence.

Evolution trop lente d'un objet ou d'un phénomène :

D'autres évolutions d'objets ou de phénomènes sont trop lentes pour être observées dans la réalité. Un film de l'évolution peut être produit et accéléré pour montrer l'évolution. Un

exemple de domaine où cette situation se produit est fourni par les développements en biologie végétale ou animale.

Objets trop complexes:

Des objets peuvent être tellement complexes qu'il faut une simplification pour les observer. Il y a recours au dessin dans la plupart des cas. Quand on veut un schéma d'abstraction, le dessin graphique est souvent utilisé.

Ces particularités de l'image expliquent pourquoi elle est utilisée pratiquement dans tous les domaines. Nous donnons quelques domaines d'application de l'image dans le paragraphe I.4.5. Mais voyons d'abord les formes de présentation de l'image.

I.4.3. Les Formes de présentation de l'Image

Bien sûr l'image est un objet de motivation, mais ce rôle est lié en partie aux formes de présentation de l'image et en partie au contenu de l'image. La forme de présentation de l'image reflète le degré de réalité que le créateur de l'image veut donner. Nous pouvons classer les formes de présentation des images selon deux critères : les images fixes et les séquences d'images. A l'intérieur de chaque classe, le degré de réalité est également reflété par les formes de présentation.

Dans les deux paragraphes suivants, nous présentons les intérêts de chaque forme de présentation en enseignement.

I.4.3.1. Les Images fixes

Parmi les images fixes se trouvent les graphiques, les dessins, les tableaux et les photos. Des objets et des phénomènes sont représentés graphiquement et ainsi utilisés comme référence pendant l'enseignement. Les tableaux et les photos (sous forme de diapositives) constituent également des références qui portent en elles plus d'éléments réels que les dessins ou les graphiques.

I.4.3.2. Les Séquences d'Images

Les images fixes représentent des objets ou des phénomènes à un seul instant donné. Toute évolution déduite des objets ou des phénomènes par des images fixes n'est qu'une interprétation. Par contre, les séquences d'images permettent de présenter les évolutions des objets et des phénomènes. Le degré de réalité varie également en fonction de la forme de représentation. Les dessins animés et les séquences d'images graphiques ne donnent pas un degré de réalité aussi poussé que les films.

I.4.3.3. Couleurs dans les Images

La couleur joue un rôle important dans les images. L'utilisation de couleurs reflète le degré de réalité de l'image. Les couleurs permettent de mieux identifier les objets de l'image, ce qui facilite par conséquent l'interprétation de l'image.

I.4.4. Domaines d'utilisation d'Image

Les domaines d'utilisation de l'image présentés dans ce paragraphe ne sont là qu'à titre d'exemples.

Médecine

L'image trouve son application de plus en plus en médecine. Les images utilisées initialement étaient les dessins d'organes dans les cours et pour la présentation des informations pour les campagnes d'informations. Suite à des progrès technologiques, non seulement les étudiants se servent de l'image mais les experts eux aussi s'en servent pour étudier et observer.

Mathématiques

Beaucoup de concepts en mathématiques sont introduits par des schémas ou des dessins. Les images servent pour le passage de la réalité à l'abstraction.

Biologie et sciences naturelles

L'utilisation de l'image va des dessins d'organes aux simulations, passant par les films de développement des plantes ou des animaux. Ces films peuvent être ralentis ou accélérés pour permettre une meilleure observation. L'image est également exploitée pour la représentation des objets ou des phénomènes difficiles, voire impossibles à observer.

Etude des langues

L'image aide à la présentation des scènes de discours, les images d'objets et les films aident à l'apprentissage du vocabulaire de la langue étudiée ainsi que de ses expressions.

Sciences économiques

Les résultats sont de moins en moins présentés par des chiffres. Ils sont représentés par exemple par des images graphiques (en particulier les "camemberts", les histogrammes, etc). L'image est également utilisée pour simuler des phénomènes économiques. Elle est utilisée en publicité et en gestion des stocks. Les images sont utilisées pour former les vendeurs et interviennent dans les catalogues pour présenter les articles aux consommateurs.

Histoire

Il n'y a pas un moyen plus facile pour connaître ce qui s'est passé à une autre époque que d'avoir des images de cette époque. Les tableaux sont de grande utilité et encore plus les films (même en noir et blanc).

L'image est certes utilisée dans beaucoup de domaines en exploitant ses avantages. Mais son exploitation n'est pas sans difficulté.

I.4.5. Les difficultés pour l'exploitation de l'image

Les images sont d'une manière générale utilisées pour transmettre des informations. Or les informations reçues ne dépendent pas seulement du créateur de l'image, ni de l'image elle-même, ni de l'observateur, mais de ces trois parties ensemble. Le créateur a la possibilité de coder son information sous forme d'image avec la possibilité de trucage. L'image créée reflète la conception du créateur mais dépend aussi de la technologie de production d'image. De plus, l'observateur interprète l'image non seulement en fonction de ce qu'il voit, mais en fonction des expériences déjà acquises.

Donc la difficulté de l'image réside dans sa production et son exploitation. Les outils de production peuvent être compliqués à utiliser et peuvent coûter cher. Les outils de diffusion sont également assez chers, particulièrement si une grande qualité est exigée et une grande capacité de stockage demandée. L'exploitation de l'image est compliquée. Les images exploitées par informatique sont soit numériques soit analogiques. Dans tous les cas, il faut identifier les éléments de l'image. Le moyen disponible jusqu'alors sur un ordinateur est la description textuelle des images. Mais la description de l'image est elle-même très compliquée car elle est fonction de l'individu qui fait la description. Puisque la description est aussi une forme d'interprétation, ce que décrit la personne qui fait la description peut ne pas correspondre à ce qui est vu par l'observateur de l'image.

Un autre problème lié à la description de l'image est la détermination de ce qu'il faut décrire. Décrire les objets de l'image peut être fait assez facilement mais décrire une scène ou un événement devient compliqué.

Ces difficultés de l'image freinent bien sûr son exploitation, mais en même temps elles constituent sa richesse en tant qu'objet de représentation d'information ou de connaissances. Pour avoir un système de type EIIAO, il est utile d'avoir recours aux mécanismes de l'IA.

I.5. Intelligence Artificielle dans un système d'EIIAO

Nous avons présenté dans le dernier paragraphe l'image dans toutes ses formes - ses particularités, ses avantages et des difficultés liées à son exploitation. Nous avons présenté également dans la partie précédente des difficultés d'ordre pédagogique dans les systèmes d'EAO et d'EIAO. Toutes ces difficultés sont complexes. Mais nous pensons que l'application des mécanismes de l'IA peut aider à résoudre quelques unes de ces difficultés. Nous présentons brièvement dans le paragraphe suivant les mécanismes de l'IA notamment les mécanismes des systèmes à bases de connaissances en les mettant en rapport avec notre objectif de recherche.

I.5.1. Mécanismes des systèmes à base de connaissances

La particularité d'un système à base de connaissances est qu'il permet la séparation des connaissances de leurs modes d'utilisation. Il permet ainsi, dans une certaine mesure, de simuler le raisonnement humain. Elle permet également dans la plupart des cas d'étudier séparément comment les connaissances sont représentées et comment elles sont utilisées.

La mise en œuvre des mécanismes de système à base de connaissances est effectuée par le moteur d'inférence. Le moteur d'inférence permet d'avoir une base de connaissances, implique un mode de représentation des connaissances et permet de mettre en œuvre un mode de raisonnement (raisonnement déductif ou inductif). Les règles de production décrivent le raisonnement.

Nous considérons dans les trois paragraphes suivants les trois aspects de la mise en œuvre des mécanismes d'un système à base de connaissances.

I.5.2. La Base de connaissances

La nécessité de créer une base de connaissances oblige à étudier de plus près les structures des différentes connaissances. Cette étude amène d'une manière générale à déterminer le meilleur type de représentation de connaissance à adopter en fonction des types de raisonnement ou des types d'utilisation que l'on en fait.

Les connaissances à gérer dans un système d'EIIAO sont diverses. Il y a les connaissances du domaine d'apprentissage, il y a les connaissances sur l'élève et il y a aussi les connaissances sur les environnements d'apprentissage. Nous pensons que les problèmes que nous avons énumérés (les problèmes liés à l'exploitation de l'image et les problèmes d'ordre pédagogique) peuvent être abordés par la séparation des connaissances de leurs utilisations.

Nous présentons dans le paragraphe suivant trois catégories de représentation des connaissances.

I.5.3. Représentation de Connaissances

Une base de connaissances est formée d'un ensemble d'éléments de connaissances. Les catégories de représentation que nous donnons ci-dessous portent sur la mise en œuvre des liens entre les éléments de connaissances à représenter.

- Une représentation hiérarchique : dans cette représentation, les éléments de connaissance sont considérés comme formant des sous-ensembles séparés les uns des autres. Les liens entre les éléments de connaissance sont représentés par les liens hiérarchiques;
- Le réseau sémantique : par cette représentation les éléments de connaissance sont considérés comme étant liés les uns aux autres par des liens sémantiques. Ces liens ne sont pas uniquement hiérarchiques.

En effet nous pensons comme [SAB88] que le réseau sémantique est la méthode de représentation qui a débuté avec la préoccupation d'ordre psychologique et dont les études d'approfondissement s'appuient sur des expériences psychologiques. La représentation a pour base :

- 1) la description d'un concept par des attributs (ou liens primitifs).
- 2) la hiérarchie des concepts en classes et sous-classes,
- 3) les rapports entre les concepts par des liens sémantiques,

Six type de liens sont donnés dans [SAB88] :

- les liens hiérarchie : par exemple le lien "sorte de" ;
- les liens de particularité : par exemple la particularité du soleil, c'est qu'il brille et la particularité d'un oiseau, c'est qu'il vole. Ces deux exemples montrent qu'il peut y avoir des degrés de particularité. Un soleil ne peut que briller, mais tous les oiseaux ne volent pas, bien que "voler" soit une particularité des oiseaux ;
- les liens d'équivalence (ou synonymie) : par exemple "amusant" est quasi synonyme de "comique" ;
- les liens de contraste : ces liens indiquent les sens opposés ;
- les liens de parties : ces liens permettent d'indiquer les différentes parties d'un objet. Par exemple moteur "partie de" voiture ;
- les liens de relations spatiales : par exemple les liens de direction, de provenance, de destination, etc.

Le réseau sémantique facilite la déduction et il donne la possibilité de mettre en œuvre l'héritage de propriétés, ce qui implique une économie de mémoire et une clarté d'interprétation.

Notre choix

Nous avons adopté la représentation de connaissances dans notre application par le réseau sémantique. Les types de liens que nous mettons en œuvre sont :

- les liens d'hierarchie ,
- les liens de particularité ,
- les liens d'équivalence ,
- les liens de partie.

Ces choix seront présentés plus en détail dans la troisième partie de la thèse.

I.5.4. Les Modes de Raisonnement

Le moteur d'inférence permet de mettre en œuvre différents modes de raisonnements. Avec un ensemble de connaissances de base, le moteur d'inférence peut permettre d'en déduire d'autres qui ne sont pas dans la base initialement - cela par un raisonnement déductif. Le moteur d'inférence peut permettre également d'émettre des hypothèses et de les prouver avec les connaissances de base par un raisonnement inductif. Il y a beaucoup de références sur les mécanismes de l'IA et le fonctionnement du moteur d'inférence dont [SAB88, COO83].

Nous avons présenté notre choix d'approche pour le développement d'un didacticiel, les particularités de l'image en particulier dans notre contexte, une brève présentation des notions des systèmes à base de connaissances et notre choix de représentation de connaissances. Ce qui nous reste à présenter parmi les concepts que nous comptons intégrer dans un système d'EIIAO est le processus EXPRIM. C'est ce que nous présentons dans le paragraphe suivant.

I.6. Le Projet EXPRIM et son Processus

La description du projet EXPRIM que nous donnons dans ce paragraphe provient de [HAL89]. Le projet EXPRIM (système EXpert Pour la Recherche d'IMages) porte sur un système qui a pour objet l'interrogation assistée d'une base d'images stockée sur vidéodisque, par

l'intermédiaire d'une base de descriptions. Le système proposé a pour noyau un système expert qui procède au modelage progressif de la requête utilisateur, en s'appuyant sur différents types de connaissances et sur un processus de recherche en trois phases appelé le processus EXPRIM.

I.6.1. Le processus EXPRIM

La figure II.1. met en évidence les trois phases principales d'une étape de recherche dans le processus EXPRIM (qui itère sur cette étape) :

-la phase "Avant-Visualisation" qui est une phase d'interrogation souple (ou "approximative") de la base descriptive. "Souple" signifie qu'on cherche plus un voisinage qu'une identité entre requête et description d'image. Cette phase assure plusieurs fonctions : aide éventuelle à la formulation de requête sous forme d'une suite de mots, proposition de connecteurs logiques entre les mots, modification de certains descripteurs (inutiles ou trop sélectifs ...) en cheminant dans un thesaurus grâce à des règles, souvent heuristiques, etc...

-la phase "Visualisation" au cours de laquelle l'utilisateur observe les images issues de la phase précédente, en effectue des classifications et choisit celles qu'il désire retenir ou rejeter. Cette phase est tout à fait essentielle dans le processus. Dans de nombreux cas par exemple, la phase "Avant-Visualisation" initiale a pour but principal de fournir un ensemble important d'images à la phase de visualisation, et c'est dans celle-ci que l'utilisateur choisira effectivement les images qui l'intéressent et que lui-même (sur les images et les descriptions) et le système (sur les descriptions seulement) pourront acquérir par ce biais une meilleure connaissance des besoins réels.

-la phase "Après-visualisation" au cours de laquelle le système, et éventuellement aussi l'utilisateur, exploitent les résultats des phases précédentes pour mettre en évidence de nouveaux critères, grâce à certaines "régularités", ou certains traits marquants, découverts dans les choix. La suite de la phase "Après-visualisation" consiste à intégrer tous ces critères à l'ancienne requête et à en déduire une nouvelle requête (reformulation), qui à son tour pourra jouer le rôle de requête initiale et être à l'origine d'une nouvelle étape.

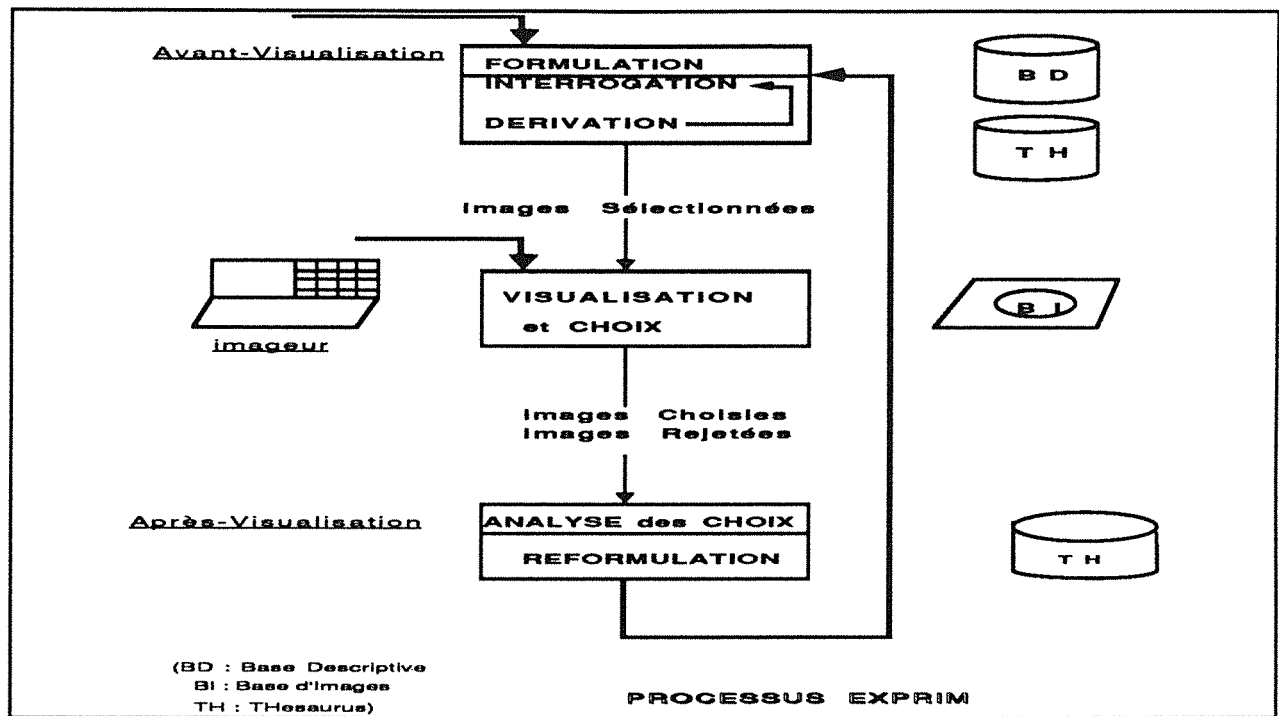


Figure II.1.

Ce processus qui se veut très interactif a été proposé conjointement avec une architecture de système que nous allons présenter.

I.6.2. L'architecture d'EXPRIM

La figure ci-dessus met en évidence une architecture composée de quatre sous-systèmes

- le système expert,
- le système documentaire,
- le système de visualisation,
- le système de dialogue et de pilotage.

Le système expert intervient dans les trois phases du processus. Il a pour tâche de manipuler les connaissances du système afin de contrôler le déroulement d'une recherche. Les connaissances utilisées par ce système seront détaillées dans le prochain paragraphe.

Le système documentaire assure la gestion et en particulier l'interrogation de la base de données textuelles contenant les descriptions des images. Ce système peut être des plus classiques, c'est-à-dire ayant les caractéristiques des systèmes de recherche d'informations.

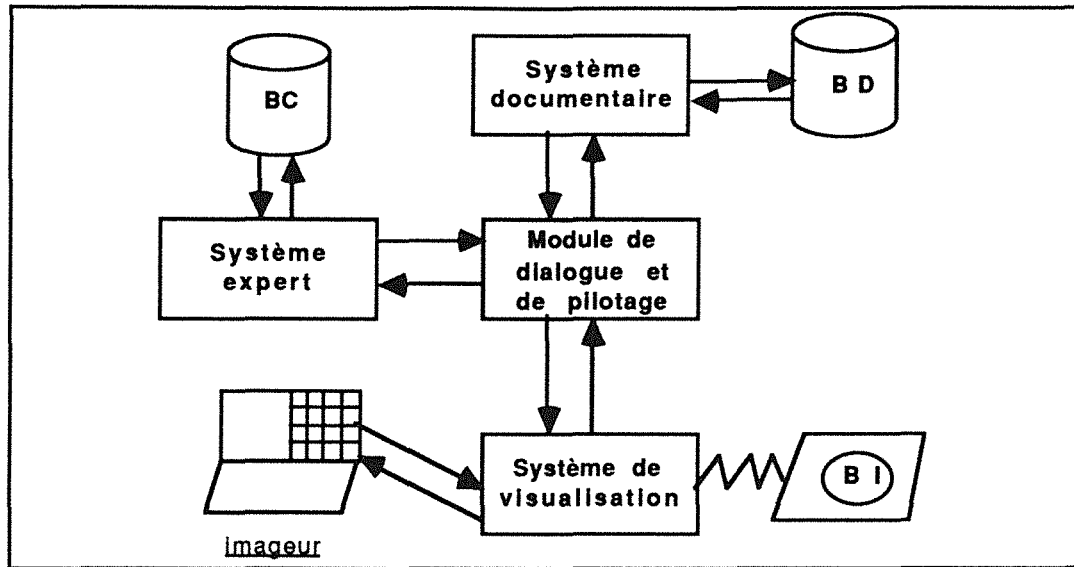


Figure II.2. : Première architecture d'EXPRIM

Le système de visualisation permet l'accès aux images qui sont stockées sur un support optique. Ce système peut être composé d'un simple lecteur connecté à un moniteur n'offrant qu'une visualisation séquentielle des images. Le système de visualisation proposé initialement dans cette architecture est l'imageur documentaire développé par la SEP qui constitue un outil très puissant de visualisation interactive d'images. Il permet à l'utilisateur de comparer, de trier et de constituer les ensembles d'images nécessaires au système pour le bon déroulement du processus.

Le système de dialogue et de pilotage a, comme son nom l'indique, un double rôle : il doit communiquer avec l'utilisateur, puis en fonction de ce dialogue, il doit piloter les différents sous-systèmes en ordonnant les tâches à effectuer. Ce système est central dans l'architecture, il doit être en relation très étroite avec le système expert.

Nous ne décrivons pas plus en détail la communication entre ces sous-systèmes, un exemple de communication est donné dans [CRE86]. Voyons plutôt quels sont les types de connaissances nécessaires au système.

I.6.3. Les Connaissances et Expertises utilisées

Le projet EXPRIM préconise pour la réalisation de la phase avant-visualisation la coopération de deux expertises :

- l'expertise du domaine,
- l'expertise de base en matière documentaire.

L'expertise du domaine

L'expertise du domaine comprend tout ce qui est spécifique au domaine d'application, c'est-à-dire relatif au fonds iconographique. Ces connaissances regroupent à la fois le thesaurus qui a servi à décrire les images, mais aussi une certaine "expertise" du documentaliste qui a l'habitude de manipuler ce fonds. Les structures, les propositions de représentation avec des exemples sont donnés dans [CRE86, HAL89].

L'expertise de base

Le rôle de cette expertise est de diriger la recherche d'images. Elle doit utiliser l'expertise du domaine pour coordonner le parcours du fonds documentaire et les différentes déformations de la requête. Cette expertise est celle qui est la plus proche de l'expertise d'un documentaliste utilisant un système documentaire classique pour effectuer des recherches d'images. En effet, ce documentaliste va alors déformer sans cesse sa requête en fonction des réponses que lui fournit le système, et peut-être en s'aidant d'un thesaurus.

Nous présentons en guise de conclusion du chapitre les rôles que chaque concept peut remplir pour la réalisation d'un système d'EIAO.

I.7. En Résumé

Les concepts que nous voulons mettre en œuvre pour la réalisation d'un système d'EIAO sont le processus EXPRIM, l'image et l'intelligence artificielle. Quels seront les rôles de chacun de ces concepts ?

Rôle du Processus EXPRIM

Les principales caractéristiques du projet EXPRIM qui sans aucun doute définissent son originalité sont :

- Le processus en trois phases qui se veut très interactif grâce à un "feedback" rendu puissant par la perception presque instantanée des images lors de la phase de Visualisation.

- Les deux types de connaissances manipulées par le système :
 - . la connaissance du domaine incluant le thesaurus et la base descriptive,
 - . la connaissance de base contenant les stratégies de recherche, de reformulation et de déformation de la requête.

Le processus EXPRIM est une bonne méthode pour le dialogue entre le système et l'élève surtout pendant la phase de symbolisation et de raisonnement. Le processus permet en particulier d'avoir un mécanisme pour connaître les choix de l'élève. Cela peut révéler les centres d'intérêt de l'élève. Nous reviendrons sur l'application du processus EXPRIM dans la troisième partie.

Rôles de l'Image dans l'EIIAO

L'image est au cœur du système d'EIIAO. Elle intervient dans les tâches suivantes :

- faciliter la motivation de l'élève ;
- représenter ses connaissances ;
- faciliter le dialogue entre l'élève et le système ;
- faciliter l'acquisition, par le système, de connaissances sur l'élève ;
- etc.

Rôles de l'IA dans l'EIIAO

Le moteur d'inférence est pour la tâche de raisonnement ce qu'était le langage de programmation de haut niveau pour la programmation en informatique. Un système à base de connaissances permet d'effectuer des raisonnements d'une manière modulaire par des règles. Les mécanismes de l'IA peuvent intervenir dans les aspects touchant :

- la communication homme-machine - cela pour que l'interaction avec l'élève puisse se dérouler dans les meilleures conditions. Parce que l'élève est habitué à formuler ses demandes ou ses réponses en langage naturel, l'IA peut faciliter l'interface homme-machine par le langage naturel. La tâche principale à effectuer pendant le dialogue avec l'élève est la déduction des besoins de l'élève qui reflètent ses centres d'intérêts. Le processus EXPRIM qui utilise les mécanismes de l'IA facilite cette tâche;
- les types de connaissances du domaine d'apprentissage : Il y a des connaissances qui sont de type déclaratif. Elles correspondent à des faits. Par contre il y a d'autres types de connaissances qui sont de type procédural comme l'application des règles pour la résolution des problèmes. L'IA permet dans tous les cas de représenter les connaissances soit sous forme de réseau sémantique soit par des règles de production. Les connaissances

déclaratives sont en général représentées par le réseau sémantique et les procédures de résolution des problèmes par des règles de production. Les fonctions pédagogiques peuvent être déclenchées en conséquence des déductions faites à partir des connaissances acquises sur l'élève.

Mais le type de représentation de connaissances à adopter est souvent déterminé par le type d'utilisation que l'on va faire de ces connaissances. Nous pensons tout de même qu'avec un réseau sémantique et la possibilité de représenter les procédures de résolution par des règles de production, beaucoup de domaines peuvent être représentés.

Nous avons essayé de matérialiser nos concepts par la réalisation d'un système d'EIIAO (le prototype BIRDS). Ce système est basé sur une architecture que nous avons adoptée pour un système d'EIIAO. Cette architecture est présentée au chapitre suivant.

CHAPITRE II

ARCHITECTURE PROPOSÉE POUR UN EIIAO

II.1. Introduction

Rappelons que notre recherche porte sur l'application de l'image et du processus EXPRIM dans un environnement d'apprentissage individualisé. L'architecture que nous présentons ici reflète donc les principales parties d'un système (que nous appelons un système d'EIIAO) permettant de réaliser notre projet.

Dans un environnement d'apprentissage (comme le montre le diagramme suivant) se déroulent trois actions principales : la recherche de connaissances (ou d'information) par l'élève, la transmission de connaissances (ou d'information) par le système et l'application des connaissances acquises par l'élève.

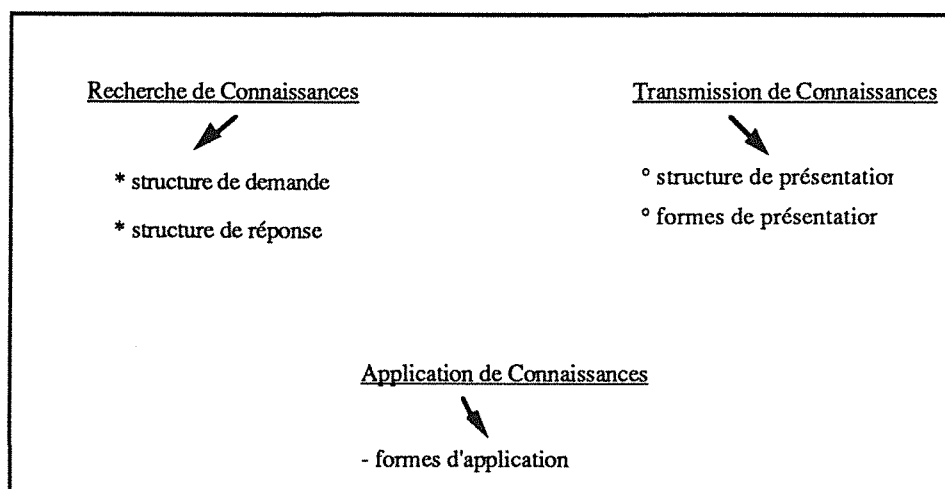


Figure II.3. : Les Actions dans un Environnement d'Apprentissage

Un système d'EIIAO doit permettre d'effectuer ces trois actions. La réalisation de ces actions nécessite la définition de quelques mécanismes. Par exemple, pour réaliser l'action de recherche de connaissances, il faut définir les structures de formulation des demandes et des réponses. La transmission des connaissances nécessite la définition de structures et de formes de

présentation. Et enfin, différents styles et formes d'applications doivent être définis pour l'action d'application des connaissances.

Pour effectuer ces actions d'une manière efficace, nous pensons qu'il faut au moins quatre modules dans le système d'EIIAO. Ces modules sont schématisés dans la figure suivante. La figure correspond à l'architecture que nous adoptons. L'architecture est constituée d'un module d'interface, d'un module du domaine, d'un module de technique pédagogique et d'un module de l'élève.

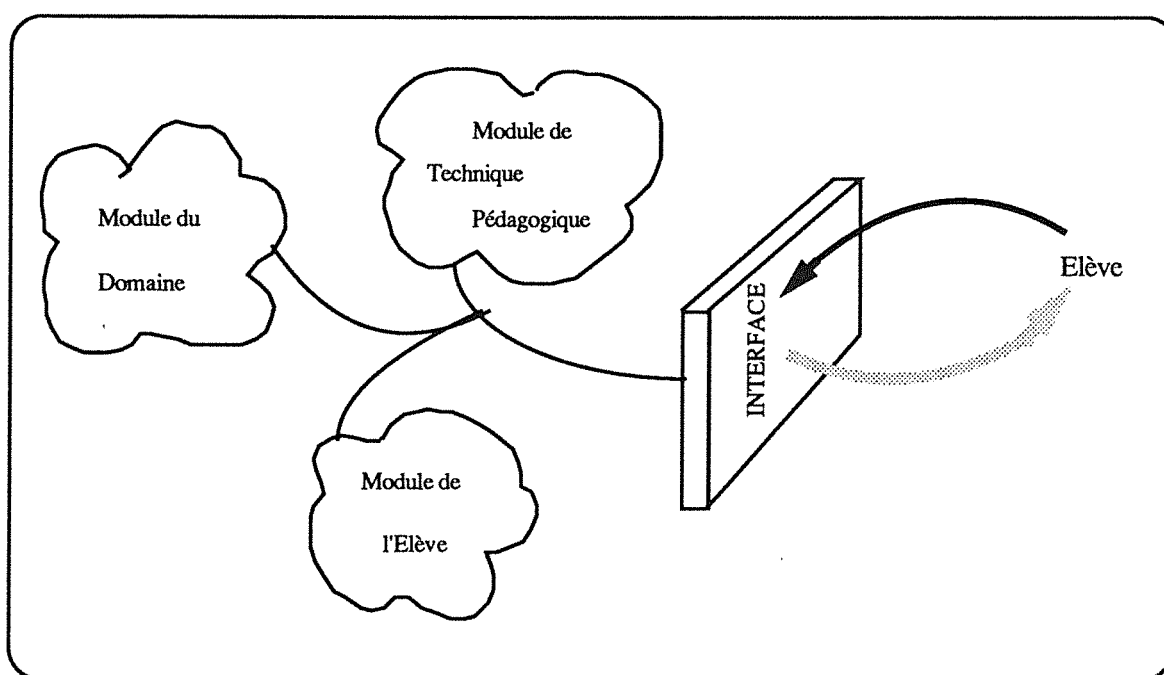


Figure II.4. : Proposition d'Architecture pour un Système d'EIIAO

Toutes les actions d'un environnement d'apprentissage se déroulent dans un domaine d'apprentissage donné. En effet nous pensons qu'un environnement individualisé implique un cadre de référence précis et un objectif pédagogique déterminé. A titre d'exemple, dans la maquette (cf chapitre I de la partie III) le domaine choisi est "la capacité d'associer les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux à leurs modes de nourriture". C'est pourquoi nous mettons en évidence le module de domaine dans l'architecture.

Parce que nous désirons construire un système d'EIIAO individualisé, il nous faut un ensemble de connaissances sur l'élève qui concerne à la fois son utilisation du système mais aussi, autant que faire ce peut, ses traits particuliers et personnels. Un module de l'élève nous est donc indispensable.

Le système d'EIIAO doit transmettre les connaissances, traiter les demandes et les réponses de l'élève. Et en plus de cela, il doit permettre à l'élève d'appliquer ses connaissances, ce qui est dans notre cadre de travail, un moyen de vérifier si les connaissances transmises sont bien assimilées. Il s'agit là d'un rôle pédagogique. Il faut non seulement transmettre les connaissances, mais aussi veiller à ce que ces connaissances soient bien assimilées. Donc un module de technique pédagogique est indispensable.

Toutes ces actions s'effectuent bien sûr, dans notre contexte, sur des matériels informatiques. Il faut donc fournir une interface à la fois conviviale et intelligente et effectuer les actions d'une manière efficace.

II.2. Module de Technique Pédagogique

Par définition, la pédagogie représente la "méthode d'enseignement". Par conséquent le module de technique pédagogique doit permettre de mettre en œuvre les différentes méthodes définies pour le transfert de connaissances. Mais nous savons bien qu'il ne suffit pas d'avoir mille méthodes de transfert de connaissances pour réussir l'enseignement, il faut également une bonne connaissance sur l'élève - comment il perçoit les connaissances, comment il les représente dans sa mémoire et comment il les restitue. Il y a donc au moins quatre aspects que nous devons valoriser pour réussir la mise en œuvre des méthodes pédagogiques :

- la perception et l'assimilation de connaissances par l'élève ,
 - la prise en compte par le système des phases cognitives de l'élève ,
 - les formes de présentation de connaissances ,
 - les outils pour le transfert de connaissances ,
- etc.

Les deux premiers aspects sont considérés dans les paragraphes II.2.1. et II.2.2 plus bas. Les deux derniers aspects cadrent dans le contexte de communication homme-machine, ce que nous présentons au paragraphe II.3.

Les méthodes pédagogiques à mettre en œuvre dans un système d'EAO sont une chose, mais les états des élèves sont autre chose. Nous constatons qu'un élève qui est dans un contexte d'apprentissage peut être dans trois cas de figures :

- a : l'élève sait ce qu'il faut apprendre et il sait également comment s'y prendre ;
- b : l'élève sait ce qu'il faut apprendre mais il ne sait pas comment s'y prendre ;
- c : l'élève ne sait même pas ce qu'il faut apprendre.

Nous supposons qu'un élève utilisant un système d'EIIAO peut être dans n'importe lequel de ces cas de figure à n'importe quel moment. Nous répondons donc à ces différentes situations en :

- créant un environnement d'apprentissage utile pour répondre à (a),
- créant des scénarios pour répondre à (c),
- mettant en même temps à la disposition de l'élève l'environnement d'apprentissage et les scénarios pour le cas (b).

L'environnement d'apprentissage et les scénarios sont définis dans le module de technique pédagogique. Nous supposons qu'il y a au moins un intérêt initial de la part de l'élève. C'est-à-dire qu'en principe le système ne s'attend pas à ce qu'il y ait un élève fermé à tout apprentissage. L'un des rôles du système consiste donc à maintenir l'intérêt initial et à en susciter de plus en plus chez l'élève.

Les buts que nous voulons atteindre dans le module de techniques pédagogiques sont présentés dans les trois paragraphes suivants sous forme d'objectifs. Les deux premiers objectifs correspondent aux deux premiers aspects que nous devons valoriser pour réussir la mise en œuvre des méthodes pédagogiques. Le troisième objectif est défini pour compléter le rôle du système en tant que locomotive pour entraîner le processus d'apprentissage.

II.2.1. Notre premier Objectif - favoriser la perception et l'assimilation des Connaissances

Le cœur du problème d'enseignement ou d'apprentissage est l'acquisition de connaissances. Représenter des connaissances sous une forme et les transmettre à l'élève est une chose, mais la perception et l'assimilation des connaissances par l'élève est autre chose. Pourtant tout est lié. Un de nos objectifs, par l'architecture que nous proposons, est de mettre en œuvre tout ce qui favorise la perception, l'assimilation et l'application des connaissances.

Nous exploitons l'image pour favoriser la perception et l'assimilation de connaissance. L'importance de l'image par rapport à la perception et à l'assimilation de connaissances est présentée dans [MOU79] ainsi :

"Alors que l'enseignement oral, affectant presque toujours une forme abstraite, exige de l'élève une puissance et une persistance d'attention d'autant plus soutenues qu'il laisse inoccupé le plus actif de ses sens, l'image au contraire s'empare de ses regards et par eux saisit l'esprit. Elle meuble la mémoire de couleurs et de formes qui aideront plus tard l'élève à revivre avec plus de précisions des faits qui lui ont été révélés".

Nous exploitons l'image également pour favoriser l'application des connaissances car elle favorise l'évocation des connaissances déjà acquises (cf paragraphe I.2 de la partie I du rapport).

II.2.2. Notre deuxième objectif - adapter le système à chaque Phase Cognitive

L'environnement d'apprentissage dans le module de technique pédagogique s'applique aux élèves qui savent ce qu'il faut apprendre et qui savent (ou qui ne savent pas) comment s'y prendre. Nous devons définir au moins quatre modules dans le système pour favoriser l'apprentissage par un élève dans ce cas de figure. Chaque module doit correspondre à une phase cognitive (observation, abstraction élémentaire, symbolisation et raisonnement, créativité).

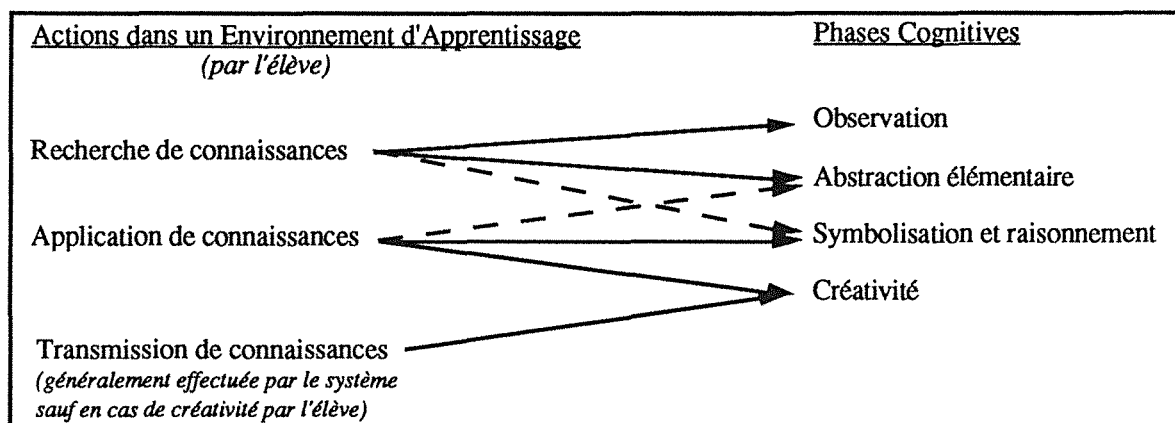


Figure II.5. : Rapports Entre les Actions dans un Environnement d'Apprentissage et les Phases Cognitives

La figure ci-dessus montre les rapports qui existent entre les actions effectuées par l'élève et les différentes phases cognitives. Les traits discontinus signifient un rapport faible et les lignes continues signifient des rapports étroits. Par exemple, quand un élève recherche de la connaissance, c'est en général pour observer ou pour faire une abstraction élémentaire même si de temps à autre il peut se produire un processus de symbolisation et de raisonnement. En outre, un élève qui veut appliquer ses connaissances n'est pas dans la phase d'observation. Il symbolise, raisonne et

découvre par les connaissances déjà acquises. Mais il peut aussi vouloir vérifier ses connaissances en se mettant dans une phase d'abstraction.

Que ce passe-t-il pour un élève qui ne sait pas ce qu'il faut apprendre ? Ceci signifie que l'élève ne peut pas rechercher des connaissances puisqu'il ne sait pas ce qu'il faut apprendre et ne peut pas appliquer ces connaissances puisqu'il n'en a pas. Une solution consiste à la création de scénarios pour aider l'élève.

II.2.3. Notre troisième Objectif - créer des scénarios pour entraîner l'Apprentissage

Les scénarios s'appliquent aux élèves qui ne savent pas ce qu'il faut apprendre ou qui le savent mais qui ne savent pas comment s'y prendre. Les scénarios renforcent l'intervention du système dans le processus d'apprentissage. En fait, l'utilisation des scénarios correspond à ce que nous appelons l'enseignement.

Nous présentons donc ce qui constitue un processus d'enseignement et ensuite nous présentons une méthode pour la définition des scénarios.

Nous pouvons schématiser les quatre axes composant un processus d'enseignement par la figure ci-dessous :

- actions effectuées pendant le processus d'enseignement par l'enseignant,
- objectifs pédagogiques à atteindre ,
- stratégies pédagogiques à appliquer ,
- méthodes d'implantation à employer.

Pendant le processus d'enseignement, le système doit jouer le rôle de l'enseignant. Les actions à effectuer par le système consistent donc parmi d'autres, à motiver l'élève, à transmettre les connaissances et à vérifier que les connaissances sont bien assimilées. Il faut savoir qu'au début de l'utilisation du système, l'élève ne sait pas ce qu'il faut apprendre (et par conséquent n'a pas ou peu de connaissances du domaine). Mais il faut s'attendre à ce que cet état initial de l'élève change en cours d'utilisation du système. Donc les actions à effectuer sont à vérifier pour leur adéquation à un état donné de l'élève. Cela explique le fait qu'un module de la technique pédagogique ne peut être très efficace que s'il exploite les informations du module de l'élève.

Supposons par exemple que l'élève n'ait jamais utilisé le système, le système ne doit alors pas commencer le dialogue par un contrôle de connaissance. Cependant le système peut aider l'élève en le mettant dans un environnement d'observation et par la suite utiliser des scénarios basés sur diverses techniques pédagogiques adaptées à son état.

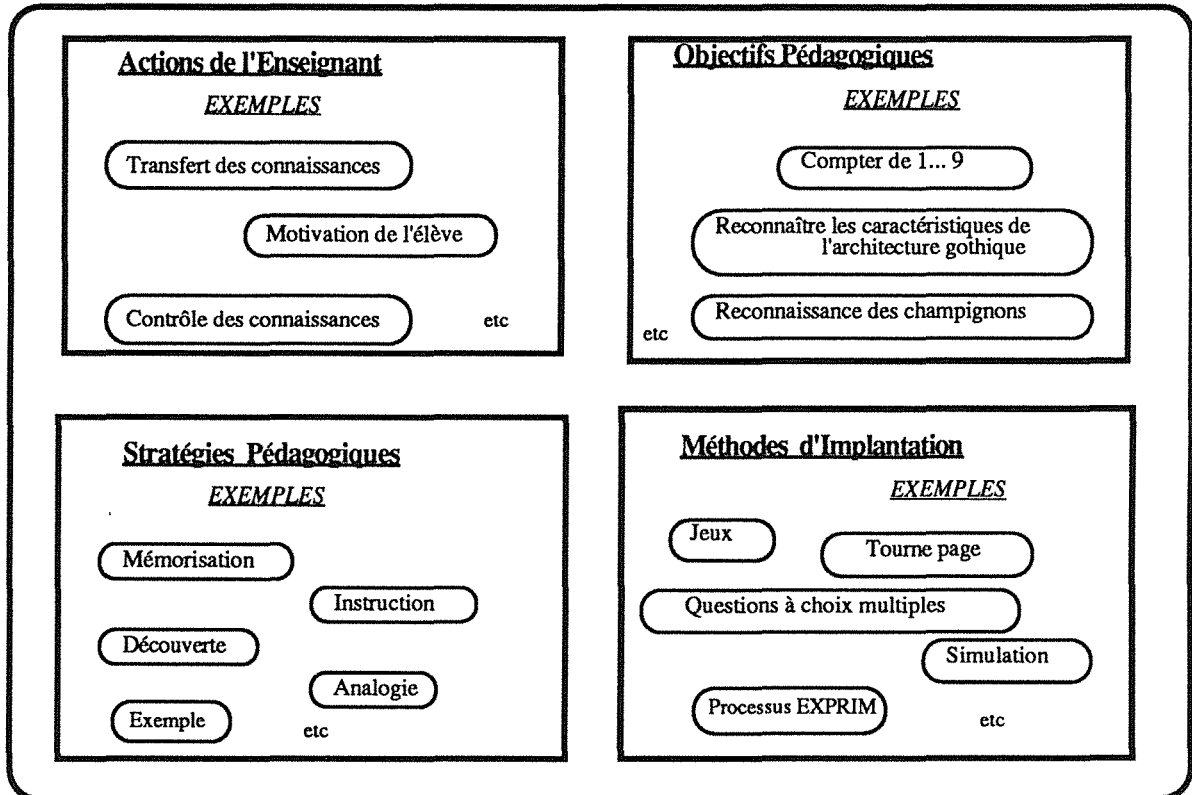


Figure II.6. : Les Axes dans un Processus d'Apprentissage

II.2.3.1. Les objectifs pédagogiques

Puisque c'est le système qui prend en main le transfert des connaissances, les objectifs pédagogiques doivent être bien définis. Cela est nécessaire pour faciliter la définition des dialogues entre le système et l'élève et leur déroulement. Un objectif pédagogique est souvent défini sous forme de capacité à faire acquérir ou à développer chez l'élève [LEF84]. Par exemple :

- percevoir,
- reconnaître,
- mémoriser,
- sélectionner,

- utiliser,
 - illustrer,
 - imiter,
 - représenter,
 - analyser,
 - déduire,
 - modéliser,
 - généraliser,
 - critiquer,
 - créer,
- etc.

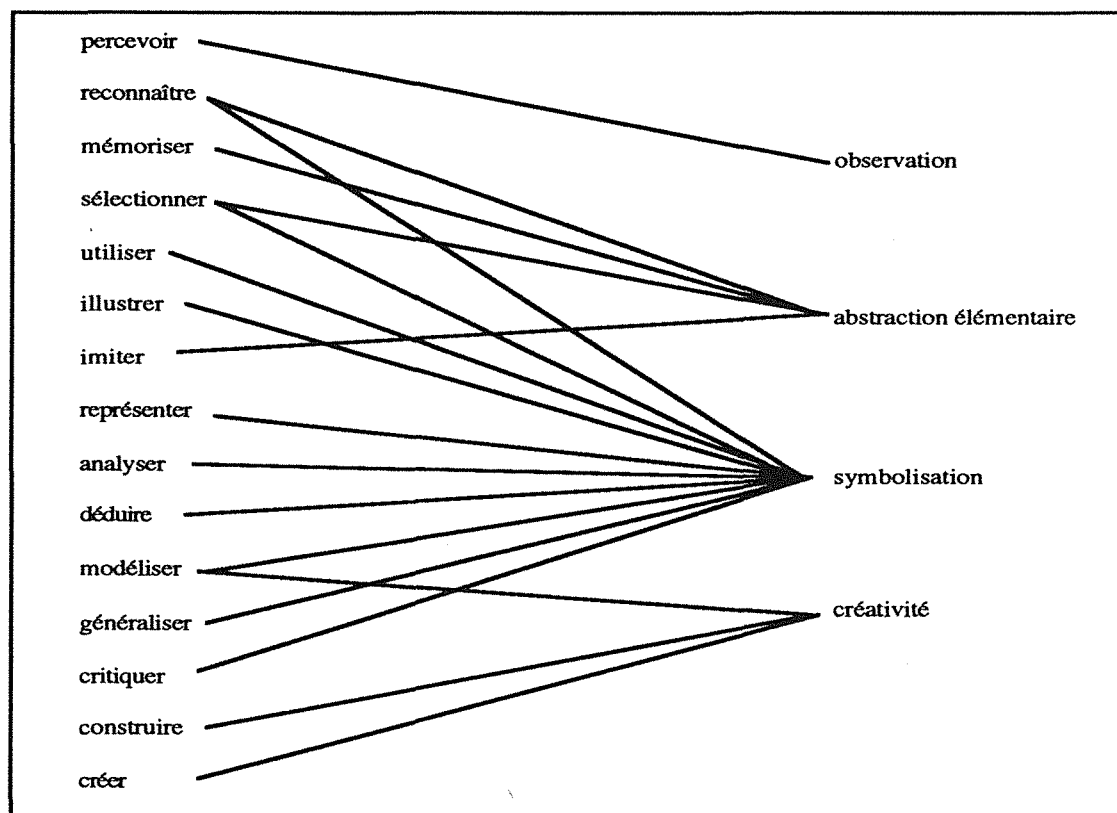


Figure II.7. : Les Objectifs Pédagogiques et les Phases Cognitives

Nous constatons que la liste non exhaustive de capacités que nous venons de donner peut être classée par rapport aux phases cognitives que nous avons introduites au paragraphe I.5 de la partie I selon la figure II.7.

Il faut noter que la majeure partie des capacités que l'on veut cultiver chez l'élève concernent la symbolisation et le raisonnement. Pourtant l'observation et l'abstraction élémentaire sont les bases cognitives. Nous devons donc veiller à ne négliger aucune des phases cognitives.

II.2.3.2. Les stratégies pédagogiques

Tout apprentissage passe par une forme d'association (visuelle ou non visuelle) des connaissances déjà acquises. Basée sur cette observation, une typologie de stratégies pédagogiques peut être faite en variant le degré d'association et le volume des connaissances pré-requises par l'élève. Dans la typologie que nous présentons ci-dessous, nous pensons comme [BRO86] que le degré d'association et le volume des connaissances pré-requises augmentent de la première stratégie à la dernière.

* Apprentissage par cœur ou implantation directe

Il n'y a aucune inférence par l'apprenant par cette stratégie. Tout passe par la mémorisation. Néanmoins, le processus de mémorisation ne se fait pas sans association. Cela se voit plus nettement chez les enfants qui apprennent à compter. On associe des chiffres à des groupes d'objets bien connus par exemple :

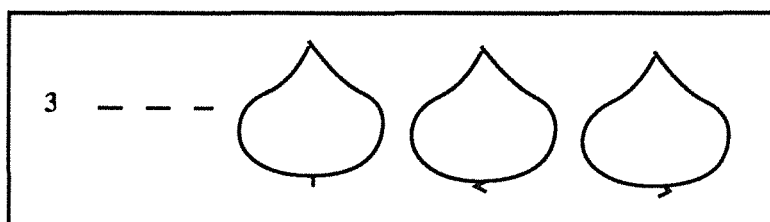


Figure II.8. : Association de connaissances

Même chez les adultes, il y a une sorte d'association dans la mémorisation. Par exemple, quand on demande si un Mr. Jacques est connu, on commence par des associations comme :

- je sais qu'il est à l'IUT,
- je sais qu'il n'est pas en informatique,
- etc.

Dans ce processus, tout ce qui est demandé à l'élève, c'est de trouver un moyen pour garder des éléments en mémoire et de pouvoir les rappeler facilement quand ils sont demandés.

*** Apprentissage par l'instruction**

Dans cette stratégie, toute connaissance est passée explicitement à l'apprenant sous forme écrite, image ou orale. L'apprenant intègre ces nouvelles connaissances à celles déjà acquises pour les utiliser. Toute découverte et toute organisation de connaissances sont déjà faites par l'enseignant. Bien qu'une mémorisation des faits soit nécessaire dans cette stratégie, c'est la complexité et l'application des connaissances (et donc l'association des connaissances) qui occupent la place la plus importante. Le diagnostic est un exemple de ce type d'apprentissage (un système de maintenance par exemple). Tous les types de défaillances sont déjà entrés ainsi que les causes probables. L'élève peut quand même exploiter les connaissances déjà acquises pour raccourcir les étapes de détermination des défaillances et des causes.

*** Apprentissage par analogie**

C'est l'application des connaissances acquises à d'autres domaines. De nouvelles règles peuvent être construites en transformant les anciennes qui ont servi dans un domaine similaire. A partir de ce type de stratégie, l'élève commence à prendre des décisions concernant le domaine à étudier. L'étude des monuments anciens est un exemple d'application de ce type de stratégie. On peut présenter toutes les informations historiques d'un monument, et l'élève peut déduire des événements culturels ou des traditions d'une autre époque.

*** Apprentissage à partir des exemples**

Dans cette stratégie l'élève extrait un schéma général des exemples et des contre-exemples afin de pouvoir classer des instances. Les exemples peuvent être générés par l'élève ou par l'enseignant ou par l'environnement. Un grand volume de connaissances déjà acquises est exigé pour utiliser cette stratégie. C'est l'association des connaissances qui prend la place la plus importante. Par exemple, on peut présenter à un agent de l'EDF en stage de formation une séquence d'images qui montre les étapes et les équipements nécessaires pour déconnecter une grande ligne électrique. Ce qui est demandé à l'agent peut être de relever tous les équipements et les étapes successives nécessaires pour effectuer l'opération et de dire quelle est la conséquence de l'exemple précis présenté.

*** Apprentissage par l'observation et par la découverte**

Dans cette stratégie, l'élève doit centrer son attention sur les éléments les plus importants de son environnement afin de former des règles sur ce qu'il observe. Deux exemples d'applications de ce type de stratégie sont la simulation et la reconnaissance. En reconnaissance comme en simulation, le système ne peut rien déduire sur l'élève qu'en fonction de ce que l'élève aurait jugé le plus important dans son observation.

Ces stratégies peuvent être appliquées pour entraîner l'élève dans un véritable processus d'apprentissage. Commenant par le guider, le système ensuite diminue son intervention jusqu'à ce que l'élève soit capable de se motiver et de se prendre en charge par l'observation et par la découverte.

II.2.3.3. Les méthodes d'implantation

La méthode d'implantation choisie peut être une de celles présentées au paragraphe II.2.3.2 de la partie I. Nous ne développons pas ici la simulation qui est fort utile dans certains domaines comme les sciences physiques ou naturelles. Notre hypothèse de méthode d'implantation est, nous l'avons déjà dit, le processus EXPRIM. Ceci est présenté au paragraphe I.6 de la partie I de la thèse.

II.3. Interface Homme-Machine

Une des grosses difficultés des systèmes d'enseignement concerne les formes de dialogue entre l'élève et le système. Les formes de dialogue sont liées à la fois aux outils de communication employés et aux contenus du dialogue.

Un dialogue est constitué d'une manière générale d'un ensemble de demandes et de réponses. Les demandes et les réponses peuvent être présentées soit par le système, soit par l'élève. Notre tâche porte donc sur la définition des outils et des formes de présentation des connaissances pendant le dialogue afin de favoriser la perception, l'assimilation et l'application des connaissances. Nous devons également définir les formes de présentation des demandes qui faciliteront cette tâche.

II.3.1. Formulation des demandes

Nous donnons ici quelque exemples de méthodes de formulation de demandes.

Les menus : Les menus sont utilisés dans les cas où les demandes concernent des opérations. Les opérations sont prédéfinies et elles sont souvent limitées en nombre. Les menus sont

également utilisés par le système pour présenter un ensemble de réponses parmi lesquelles l'élève doit choisir la bonne. C'est le cas par exemple des questions à choix multiples (QCM).

Le langage naturel : La méthode de formulation de demande la plus courante est l'utilisation du texte. Les demandes peuvent être des mots, listes de mots ou des phrases. Parfois, les mots utilisés pour formuler les demandes sont abrégés ou déformés par contrainte d'efficacité. Un cas particulier de la formulation de demande par le langage naturel est la commande vocale. Par cette méthode, les demandes sont formulées par la parole.

Le graphique : Le graphique est particulièrement utile dans les domaines scientifiques. L'élève peut poser ses demandes sous forme graphique. Il peut demander une réponse graphique ou sous forme d'une formule mathématique. De la même manière, le système peut poser ses demandes sous forme graphique et demander à l'élève de lui fournir les réponses sous forme graphique.

Dans toutes ces méthodes, les problèmes à résoudre sont multiples. Nous pouvons formuler ces problèmes par les questions suivantes :

- la méthode choisie facilite-t-elle la compréhension des demandes ?
- la méthode rend-t-elle le dialogue efficace ?
- la méthode facilite-t-elle la formulation des demandes ?
- etc.

II.3.2. Formulation des réponses

Nous traitons la formulation des réponses sous deux angles :

- les structures de la présentation,
- les formes de la présentation.

Les structures de la présentation

Parmi les structures de présentation des réponses, deux sont essentielles : les listes et les réseaux. Les éléments de ces structures peuvent être affichés à l'écran de l'ordinateur de manières différentes. Quelques exemples de liste et de réseau sont présentés dans le diagramme suivant. Nous les illustrons aussi par un exemple de réponse à une demande de l'élève.

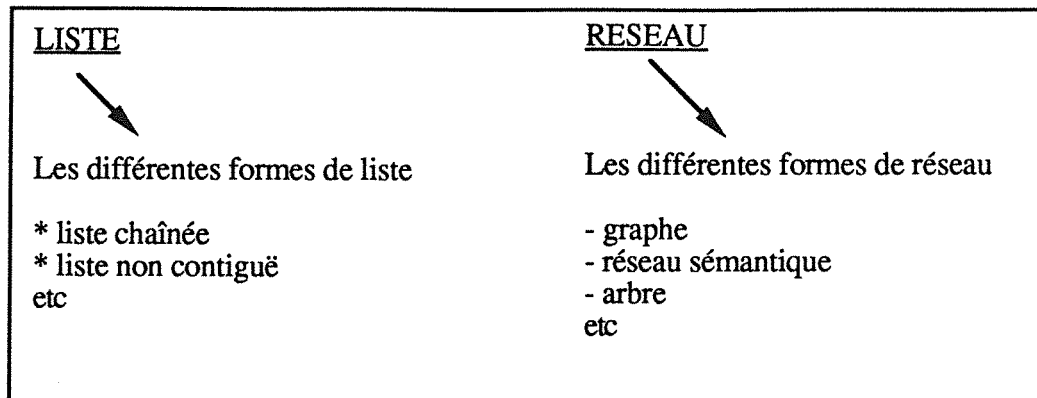


Figure II.9. : Les Structure et les Dispositions de Présentation

Supposons qu'un élève demande quels sont les membres de la famille de Mr. David. Le système peut répondre de la manière suivante :

a)

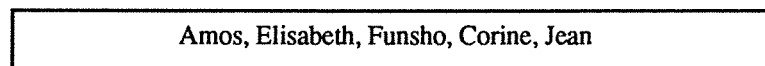


Figure II.10.

Ici le système donne, sous forme de liste, les prénoms des membres de la famille de Mr. David.

b)

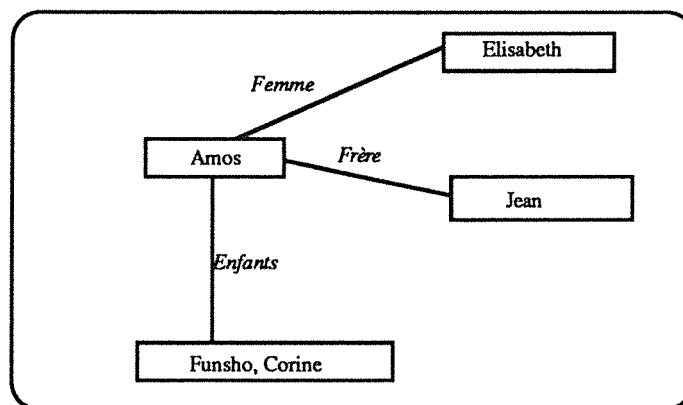


Figure II.11.

Ici le système donne en plus des prénoms de la famille de Mr. David les relations entre les membres.

Nous voyons qu'en plus de la réponse à la question de l'élève, le système structure la réponse sous forme de réseau sémantique afin de faciliter la perception, la compréhension et l'assimilation des connaissances. La disposition spatiale des connaissances favorise la perception

[DUC87]. Et le fait de rajouter les liens entre les membres de la famille facilite la compréhension et l'assimilation.

Les formes de présentation

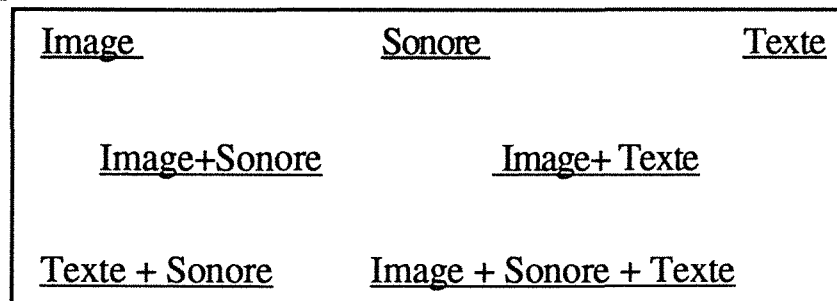


Figure II.12. : Les Formes de Présentation de Connaissances

Avec la même demande de l'élève, le système peut répondre de la manière suivante :

- 1) Sonore : Prononcer les prénoms des cinq membres de la famille. Dans ce cas, la présentation est sonore.
- 2) Texte : Le système donne la réponse sous forme de texte. Cela correspond à la forme de présentation en a) et b) dessus.
- 3) Image : Au lieu d'utiliser du texte, le système peut présenter uniquement les images des membres de la famille. C'est donc une présentation image.
- 4) Image + Sonore : En même temps que le système présente les images des membres de la famille, il peut prononcer leur noms. Ce qui est une présentation image et sonore.
- 5) Image + Texte : Le système peut également présenter les images des membres de la famille et présenter les relations entre les membres de la famille par des textes - donc une présentation image et texte.
- 7) Texte + Sonore : Mais le système peut présenter simplement les noms sous forme de texte et les prononcer en même temps. Ce qui est une présentation texte et son.
- 6) Image + Sonore + Texte : Enfin le système peut présenter les images des membres de la famille, les relations entre eux par des textes et prononcer aussi bien les prénoms de chaque membre que les relations entre eux. C'est une présentation image, texte et sonore.

Notons que toutes ces formes de présentation (de 1 à 7) peuvent être sous forme de (a) ou de (b) comme ci-dessus, et que les images au lieu d'être réelles peuvent être graphiques. Le type d'image dépend du domaine d'étude. Toutes ces formes et ces structures peuvent être employées dans un environnement d'apprentissage.

En effet la méthode de la formulation des demandes et la méthode de la formulation des réponses dépendent bien souvent du domaine d'étude.

II.4. Module du Domaine

Même si les objectifs pédagogiques sont formulés sous forme de capacité à faire acquérir, les connaissances à transmettre n'ont pas forcément cette forme. Parfois les connaissances à transmettre peuvent être :

- des faits,
- des procédures.

Les faits représentent les définitions ou les descriptions des éléments de connaissances. Ces types de connaissances constituent des éléments de raisonnement. Les procédures constituent les descriptions d'étapes ou l'enchaînement de processus de raisonnement. Elles sont formées par des exemples, par des explications, par des logiques d'enchaînement de déductions, etc.

Nous pensons que le module du domaine dans un système d'EIIAO nécessite

- la définition des types de connaissance à transmettre ;
- la définition des types de représentation de ces connaissances ;
- l'adéquation de l'image et le type d'image dans le domaine ;
- les outils d'exploitation de ces connaissances.

Ces aspects du module de domaine sont repris dans les paragraphes suivants.

Définir les types de connaissances et leur représentation

Pour réaliser un système d'EIIAO, nous devons définir les types de connaissances à transmettre afin de choisir leur meilleure représentation dans le système. Par exemple le type de représentation des connaissances choisi conditionne l'efficacité du déroulement du système (en temps de réponses, en qualité des formes de présentation des demandes et des réponses, etc). Supposons que le domaine d'étude soit le champignon. Nous pouvons nous limiter aux faits du domaine - par exemple les descriptions des champignons, leur croissance et leur reproduction. Mais nous pouvons nous intéresser également à la reconnaissance des champignons. Le processus de reconnaissance est une procédure d'identification, de discrimination, de classification etc. Dans le premier cas nous pouvons nous limiter à une représentation des connaissances sous forme d'objets

avec leurs attributs et leurs valeurs. Mais le deuxième cas nécessite une structure qui reflète les relations entre les éléments de la connaissance. Ceci afin d'effectuer les raisonnements d'identification.

Adéquation de l'image

Nous avons pour objectif d'avoir un processus d'apprentissage basé sur l'image. Nous avons vu que l'image se présente sous plusieurs formes (images graphiques, images réelles, images fixes, séquences d'images, etc). Cela signifie qu'il faut définir le type d'image le mieux adapté au type de connaissances du domaine d'étude.

Il est nécessaire également de définir comment les images seront représentées - images numérisées ou images analogiques. Le choix de représentation d'images déterminera le choix de support. Par exemple les images numérisées seront stockées plutôt sur un compact-disque. Les images analogiques seront stockées sur un vidéodisque.

Il faut noter également que parfois il n'est pas possible ou qu'il n'est pas souhaitable de stocker toutes les images à utiliser dans le domaine d'étude. Il est préférable parfois de générer les images dynamiquement, par exemple en mathématiques, ou même de les simuler dynamiquement, par exemple en sciences naturelles.

Choix d'outil d'exploitation

Nous avons dit que les mécanismes de l'IA peuvent aider à résoudre quelques uns des multiples problèmes du type de système que nous désirons construire. Un système à base de connaissances, par exemple, peut intervenir dans tous les modules du système.

En utilisant les mécanismes d'un système à base de connaissances, nous avons de nombreuses possibilités de représentation des connaissances. Les faits peuvent être représentés sous forme de listes, arbres, classes, réseaux sémantiques. Les procédures peuvent être représentées par des règles de production.

II.5. Le Module de l'Elève

Nous pensons qu'il est nécessaire d'intégrer un module de l'élève et que ce module doit être bien défini dans l'architecture.

Le problème de la mise en application du module de l'élève ne date pas d'aujourd'hui. En enseignement traditionnel par exemple où on regroupe 20 à 30 élèves dans une même classe, la nécessité de prendre en compte chaque élève comme un individu pour une meilleure performance scolaire n'est pas à prouver. Le professeur devant ses élèves peut observer les comportements de chacun d'eux et ainsi modifier ses méthodes pédagogiques pour répondre plus précisément à leurs besoins. Alors qu'un professeur dans une classe connaît les paramètres à observer chez les élèves et comment les traiter, il faut tout préciser à l'ordinateur - quoi prendre en compte et comment utiliser les paramètres observés.

Nous distinguons deux aspects dans un module de l'élève :

- le concept de ce qu'est l'élève (ce que nous appelons le *modèle de l'élève* dans la suite du rapport), et
- l'aspect opératoire (c'est à dire sa représentation et son exploitation, appelé module de l'élève).

Le module doit permettre de représenter un modèle de l'élève et de l'exploiter.

Nous présentons au chapitre III les propositions qui ont été faites par des psychologues et des réalisateurs de didacticiels pour représenter les modèles de l'élève. Nous présentons également une nouvelle représentation car il nous semble qu'un module de l'élève doit permettre d'exploiter les traits caractéristiques d'un élève, ce qui n'est pas souvent pris en compte dans les systèmes et qui est même à notre avis mal défini dans les propositions actuelles. Ces traits caractéristiques ne doivent pas être des jugements subjectifs par le maître mais un jugement plus objectif et basé sur les connaissances que le système peut avoir sur l'élève et cela dans le temps.

II.6. Conclusion

Par l'architecture que nous proposons, nous comptons exploiter au maximum l'image dans tous les modules. L'interface doit être intelligente et faciliter le dialogue entre le système et l'élève. Le module de technique pédagogique doit faciliter la perception, l'assimilation et l'application des

connaissances par des scénarios. Le module du domaine doit être construit en fonction du type de connaissance du domaine et il faut choisir une représentation adaptée au type de connaissance qui rend efficace le processus d'apprentissage. L'efficacité du système dépend de l'adéquation des techniques pédagogiques employées pendant l'évolution cognitive de l'élève - ce qui nécessite un lien étroit entre le module de technique pédagogique et le module de l'élève.

Ce qui paraît être l'apport principal de notre travail ce sont, à notre sens, le développement et l'implantation d'un modèle de l'élève et l'exploitation de l'image. Nous consacrons le chapitre suivant au module de l'élève.

CHAPITRE III

MODULE, MODELE DE L'ELEVE - LES DIFFÉRENTES APPROCHES ET NOTRE PROPOSITION

III.1. Introduction

Un environnement d'apprentissage (tel que nous le concevons) nécessite un module de l'élève comme nous l'avons présenté aux chapitres I. et II. de la partie I d'autant plus que l'environnement doit être individualisé. Le module de l'élève est la partie de l'architecture qui matérialise la représentation de l'élève (la construit et l'utilise). Celle-ci correspond à ce que nous appelons le modèle de l'élève. Quand nous faisons référence à ces deux termes nous associons le module de l'élève à la partie de l'architecture (action) et le modèle de l'élève à la représentation de l'élève (ce sur quoi porte et s'appuie l'action).

Nous présentons dans ce chapitre les différentes interprétations du "modèle de l'élève" du point de vue des chercheurs aussi bien en enseignement par l'informatique qu'en psychologie et pédagogie. Nous présentons également, au paragraphe III.4, les différents types de modèles proposés, mais d'abord les rôles qui leur sont attribués au paragraphe III.3. Nous pensons que les modèles proposés sont insuffisants, ce qui nous a amené à en définir un nouveau. Ce nouveau modèle que nous proposons (présenté au paragraphe IV.5.) est inspiré par le nouveau rôle que nous attribuons à un module de l'élève.

III.2. Les Interprétations du Modèle de l'Elève

Beaucoup d'études ont été faites sur le modèle de l'élève [TSI88, ITS88, GAR87]. Dans [TSI88] et [ITS88] par exemple, des synthèses approfondies et quelques applications sont présentées. L'objectif de l'utilisation du modèle de l'élève est de mieux connaître et comprendre l'élève afin de l'aider dans le processus d'apprentissage. Mais les études menées jusqu'alors sont basées sur les recherches dans le domaine des tuteurs intelligents (EIAO). Or la plupart de ces tuteurs intelligents ont pour objectif l'acquisition de compétences procédurales telles que la résolution de problèmes [NIC88]. **Le fait de restreindre l'objectif à l'acquisition de compétence**

limite à notre avis la généralité de telles propositions pour la construction d'un module de l'élève; nous nous intéressons à d'autres types de processus cognitifs.

Il y a deux points de vue ou interprétations considérablement différents sur ce que doit être un modèle de l'élève, en particulier sur ce qu'il faut mettre comme composants du modèle.

Interprétation au niveau interne

Une première interprétation du "modèle de l'élève" se situe au niveau "interne", intrinsèque, de l'élève. Dans ce contexte, on s'intéresse aux facettes de l'élève qui permettront de comprendre et de classer ses capacités et ses processus psychologiques dans un processus d'apprentissage [GAR88]. L'intérêt de cette représentation porte également sur :

- la représentation que l'élève a de ses propres connaissances, par exemple, s'il a comme modes de représentation de ses connaissances plutôt l'image ou l'ouïe, et
- quels sont les processus qu'il emploie pour retenir, pour comprendre, pour composer, pour chercher et pour trouver.

Interprétation au niveau externe

La deuxième interprétation se situe au niveau externe de l'élève. L'objectif est d'appréhender l'élève au moyen de paramètres "mesurables" par un observateur, notamment en observant son comportement. Dans ce contexte d'interprétation, l'intérêt porte sur les connaissances factuelles et opératoires de l'individu, sa stratégie d'apprentissage et son centre d'intérêt [NIC88].

Nous précisons encore que le modèle de l'élève est la représentation de l'élève en face du didacticiel et qu'il est implanté par le module de l'élève. Les rôles attribués au modèle de l'élève sont en fait des rôles pédagogiques. C'est donc le module pédagogique qui exploite les informations du module de l'élève. Cela explique le lien très étroit entre les deux modules dans l'architecture présentée au chapitre II.

III.3. Rôles "Consacrés" d'un Modèle de l'élève

Il y a ceux qui pensent que le modèle de l'élève n'est pas indispensable (par exemple, l'article de J.A. SELF dans [ITS88]), et par conséquent qu'un système d'EIAO peut se dispenser

d'un tel composant. J.A. SELF pense par exemple qu'en respectant les deux consignes suivantes, on peut éviter le modèle de l'élève :

1) Eviter l'incertitude : il faut demander à l'élève de bien préciser ses réponses ;

2) Eviter la surcharge du système par des traitements trop compliqués et lourds à réaliser.

La réticence de ceux qui pensent ainsi est qu'il est déjà assez difficile de mettre en place une interactivité conviviale avec l'élève pour ne pas essayer en plus de la représenter par un modèle.

Mais il y a aussi ceux qui pensent au contraire, comme nous, que l'intégration d'un module de l'élève peut améliorer l'efficacité des didacticiels individualisés (cf [ITS88, AGD87, TSI88, ICC89] où beaucoup d'articles présentent les recherches sur le module de l'élève). L'une des raisons de notre prise de position est que **la recherche sur le module de l'élève permettra une meilleure conceptualisation des didacticiels prenant en compte particulièrement l'élève et aussi la connaissance à acquérir.**

Des résultats sont déjà produits par des chercheurs pour la conceptualisation d'un didacticiel. Trois de ces résultats sont :

- les recherches sur la conceptualisation ont permis de proposer des architectures de didacticiels;
- des rôles sont définis pour chaque élément de l'architecture et
- des modèles sont proposés pour représenter chaque module de l'architecture.

En outre, **le fait que notre recherche ait débuté à partir du projet EXPRIM peut rendre le résultat de ce travail applicable à la définition du profil d'un utilisateur de ce système.**

Nous présentons dans les deux paragraphes suivants les rôles qui sont attribués au module de l'élève, c'est à dire les rôles que le module doit permettre au didacticiel de remplir, et les modèles proposés pour sa représentation.

Self [SEL87, NIC88] donne six catégories de fonctions ou rôles que le module de l'élève peut remplir: correctif, élaboratif, stratégique, diagnostique, prédictif, et évaluatif.

Le Rôle Correctif

Il s'agit d'éliminer des connaissances repérées comme erronées. Deux tâches principales sont à effectuer pour remplir ce rôle : d'abord il faut identifier les connaissances erronées et ensuite les corriger.

Le Rôle Elaboratif

Ce rôle concerne le cas où les connaissances de l'élève sont correctes mais incomplètes. C'est à dire que les connaissances acquises par l'élève constituent un sous ensemble des connaissances du système.

Le Rôle Stratégique

L'objectif est d'utiliser le module pour la prise de décisions. Les décisions à prendre peuvent être les plans à suivre ou des styles d'interactions à adopter pour un élève donné.

Le Rôle Diagnostique

Ce rôle concerne le cas où le système doit interpréter une situation qui paraît incomplète ou ambiguë. Dans ce cas, il faut préciser la situation soit en interrogeant l'élève soit en utilisant les connaissances de l'élève déjà identifiées au cours de l'utilisation du système. La situation à préciser peut être une connaissance factuelle mal définie, ou une incohérence de démarche ou de règles employées pour résoudre un problème.

Le Rôle Prédicatif

Par ce rôle, l'objectif est de prévoir des attitudes futures de l'élève, de simuler ses comportements ou ses connaissances.

Le Rôle Evaluatif

Le module de l'élève a un rôle d'évaluation des progrès de l'élève. Pour cela la composante historique peut être employée afin de fournir un résumé des performances de l'élève, les connaissances de l'élève identifiées servant à définir ce que l'élève sait.

III.4. Les Approches Existantes

Nous présentons au paragraphe suivant les modèles proposés pour la représentation du modèle de l'élève. Le premier modèle que nous présentons est proposé par un psychologue de formation. Les deux derniers sont proposés par des chercheurs dans le domaine de l'application de l'ordinateur en éducation. L'importance du premier modèle est qu'il est proposé par un psychologue qui s'intéresse donc plus aux aspects psychologiques qu'aux aspects informatiques. **Il nous semble intéressant pour nos nouvelles propositions d'essayer d'intégrer les résultats de la science cognitive et de la science informatique.**

III.4.1. Les Modèles proposés

A - Le Modèle de de La Garanderie

De la Garanderie et son équipe [GAR87] considèrent les aptitudes scolaires comme étant relatives à l'habitude évocative (appelée "la langue pédagogique") et pensent qu'il serait donc possible, une fois connues les habitudes évocatives dont chacun fait usage, d'en déduire les aptitudes scolaires qui correspondent et de construire un portrait scolaire de chaque individu à un moment donné. Par plusieurs exemples ils ont démontré que la mémorisation et la compréhension se constituent à l'aide d'images visuelles ou d'images auditives et que ces images véhiculent l'acquis et le compris. Donc si l'on réussit à répertorier et à conceptualiser ces formes d'habitudes visuelles ou auditives, elles constitueraient de véritables paramètres pédagogiques. Ainsi de La Garanderie propose une classification des paramètres liés aux deux formes d'habitudes évocatives visuelles ou auditives. Pour chaque classe appartenant à l'une des formes, nous donnons les éléments de connaissances la composant. Les classes représentent les phases cognitives dans un processus d'apprentissage. Les *Pi* correspondent aux noms donnés aux classes pour lesquelles nous donnons également des exemples en sciences naturelles et en mathématiques. Les exemples en sciences naturelles concernent les oiseaux et leurs modes de nourriture. Les exemples en mathématiques concernent les figures géométriques. Nous avons défini ces exemples nous-mêmes pour illustrer les concepts à expliciter.

L'habitude Evocative Visuelle

- P1: Ce sont les images des objets perçus réellement dans le monde visible qui constituent les éléments du centre d'intérêt de l'individu et les éléments de connaissances de base : choses, êtres, scènes de la vie. Certaines personnes bornent leurs évocations visuelles à cette catégorie d'objets.

Exemple :

En sciences naturelles et en mathématiques, l'habitude évocative sera l'observation des choses réelles et une perception globale des objets observés. En sciences naturelles les objets d'observation peuvent être par exemple un oiseau, un arbre, etc. En mathématiques, les objets d'observation peuvent être par exemple une valise, une maison, etc.

- P2: Les images des mots eux-mêmes constituent les éléments d'abstraction. Ce n'est pas le fait de toute personne même possédant l'habitude évocative visuelle, d'évoquer

visuellement les mots lus ou entendus. Cette classe correspond à une phase d'abstraction élémentaire. Les objets observés sont représentés par des mots. Ces mots sont eux aussi représentés sous forme d'images mentales visuelles. Par ailleurs, dans cette phase, l'élève n'observe pas simplement les objets, mais il effectue une analyse sur les objets pour, par exemple, identifier les différentes parties de l'objet.

Exemple :

En sciences naturelles, l'élève observera un oiseau mais aussi les différentes parties d'un oiseau. Il ne s'intéresse pas particulièrement à un oiseau donné. Cette phase est un mélange de deux processus cognitifs : la globalisation et l'analyse [BAS76].

En mathématiques, l'élève observera non seulement une boîte mais aussi les différentes parties d'une boîte - les faces d'une boîte, les coins, les bords et les différents types de boîtes.

- P3: Les images des figures, des croquis, des symboles, etc ... constituent les éléments de raisonnement. Dans cette phase cognitive, l'élève passe à la symbolisation. Il ne verra plus l'image réelle d'un oiseau ou d'une boîte mais un schéma d'oiseau ou d'une boîte. Il s'intéresse aux caractéristiques des objets, utilisant une forme de classification et usant de langages plus spécialisés que dans la phase précédente.

Exemple :

En sciences naturelles, l'élève s'intéressera aux caractéristiques des oiseaux, les caractéristiques des différentes parties des oiseaux, et utilisera des langages du domaine ornithologique. Il saura également que l'on peut classer les oiseaux selon leurs modes de nourriture basés sur les types d'aliments consommés.

En mathématiques, l'élève s'intéressera aux types de figures ou de schémas, les caractéristiques et les formules pour représenter les objets. Par exemple, pour une boîte, il s'intéressera aux caractéristiques comme le nombre de faces d'une boîte, à ce qu'est une surface, un volume, etc, et à comment les représenter par des formules.

Remarque

La particularité de cette phase est que l'élève se dote d'outils d'abstraction pour le travail de raisonnement. Il n'est plus limité ou attaché aux choses réelles et visibles, il a dans tous les cas des objets de réflexion - figures, croquis, symboles, formules, etc.

- P4: L'élaboration d'images visuelles mentales pour se représenter ce qui n'a pas été perçu ou pour symboliser des objets perçus constituent principalement l'objectif du raisonnement de l'élève. Il faut noter que l'application des objets de la phase P3 aux choses déjà vues se ramène à un processus de compréhension ou d'explication. Mais la particularité de cette phase est la conscience prise par l'élève d'appliquer les objets de la phase P3 aux choses non encore vues. C'est en fait la phase de la créativité.

Ce modèle est très important pour nous car il repose sur l'utilisation d'images (images réelles et images mentales). Il est donc très proche de notre préoccupation puisque notre intérêt de recherche porte sur l'utilisation d'images en enseignement.

L'habitude Evocative Auditive

- P1: Les images auditives des sons perçus, des conversations tenues, des mots entendus désignant des choses ou des êtres.
- P2: Les images auditives des mots appris, les séries de mots appris mécaniquement qui sont évoquées auditivement en images mentales.
- P3: Les enchaînements de phrases constituant des ensembles logiques à teneur historique, scientifique ... évoqués par des successions d'images mentales auditives.
- P4: L'élaboration par des images auditives internes de récits inventés, d'histoires complétées ou transformées, etc.

Pour appliquer ce modèle, le travail d'un pédagogue consiste donc à déterminer l'habitude évocative de l'élève, à déterminer son niveau dans la classification (entre P1 et P4 dans les deux classes) et à modifier sa méthode pédagogique pour que la méthode soit conforme aux paramètres mesurés. Chaque élève se place à l'échelle des phases visuelles et dans celle des phases auditives. Il faut noter que logiquement, l'élève passe de P1 à P4. Il peut se trouver dans plusieurs phases à la fois mais il est impossible de trouver un élève dans la phase P4 sans qu'il soit déjà passé par P1 à P3.

L'origine de notre travail de recherche étant d'étudier les applications du processus EXPRIM dans l'enseignement, étendu par la suite à l'enseignement basé sur l'image, nous n'avons pas approfondi notre étude sur l'habitude évocative auditive. Nous nous intéressons plus particulièrement aux applications de l'image, du texte et moins du son.

B - Le Modèle de Dede

Pour DEDE [DED86], le modèle peut être représenté par le triplet (F, E, M) avec les significations suivantes :

- F : représente les connaissances factuelles et opératoires de l'élève. Par ce composant, le système pourra comparer les connaissances factuelles du domaine qu'a l'élève avec les connaissances du système (la connaissance de l'expert), et en conséquence transmettre les

connaissances manquantes ou mal comprises par l'élève. Quant aux connaissances opératoires (ou connaissances procédurales), le système peut comparer la compétence de l'élève avec celle d'un expert en situation identique;

- E : représente les erreurs commises par l'élève. Le composant doit permettre de déterminer les causes des erreurs de l'élève et donner aussi des modèles des erreurs. Connaissant donc les erreurs et leurs causes le système pourra effectuer un diagnostic sur des connaissances mal comprises ou mal appliquées;

- M : représente les méthodes d'apprentissage employées par l'élève. D'une manière générale, les élèves s'attendent à ce que les enseignants respectent une certaine règle ou protocole de communication. Par exemple, les élèves pensent rencontrer dans le déroulement d'un cours : tout d'abord la présentation d'une information nouvelle et simple, cette information devant compléter ou remplacer d'autres déjà assimilées. Et en fait cette information doit pouvoir être déduite par des exemples ou par des exercices.

Ce composant du modèle ne permettra pas uniquement de déterminer les modes de communication entre le système et l'élève, il doit permettre de déterminer les facteurs importants qui influencent l'assimilation des connaissances par l'élève. La question que nous posons est la suivante : **quels sont les facteurs permettant de déterminer les modes de communication (ou protocoles de communication) à mettre en œuvre permettant au système d'aider l'élève à mieux assimiler les connaissances ?** Nous pensons que cette question est toujours ouverte aussi bien pour les psychologues que pour les réalisateurs de didacticiels. Notre travail de recherche est une contribution répondant à cette question.

C - Le Modèle de Self

Self considère que le modèle de l'élève peut être vu comme un quadruplet (P,C,T,H) [SEL87] dans lequel :

- P : décrit le niveau de connaissances procédurales de l'élève. Exemples de ce type de connaissances : la procédure de diagnostic médical ou la procédure d'intégration symbolique en mathématiques;
- C : décrit les connaissances conceptuelles de l'élève. Par exemple la description de concepts. De telles descriptions sont représentées sous une forme donnée : par exemple la représentation sous forme de règles de production ou de réseau sémantique en

intelligence artificielle. Des exemples de concepts sont : la définition des nombres pairs, ce qu'est un métal, la description de la maladie "hépatite", etc;

- T : décrit les traits particuliers de l'élève, par exemple un élève introverti, qui s'ennuie, etc;
- H : est l'historique (contraction de sessions antérieures).

Remarque:

Nous pensons que l'historique peut être utilisé pour expliquer le parcours dans une session et pour construire P, C et conserver toutes les erreurs faites par l'élève. On peut voir un historique comme le dossier de toutes les propositions du système à l'élève et de toutes les réponses de l'élève au cours d'une session. Mais pour stocker toutes ces informations afin de pouvoir ultérieurement exploiter le dossier historique, il faudra une très grosse machine. Or d'une part, le public que nous visons (collèges et lycées) ne dispose pas de grosses machines, d'autre part et surtout, il ne nous semble pas utile de tout garder pour réaliser notre objectif pédagogique comme nous l'expliquons au paragraphe III.2.1. Pour générer l'explication d'un déroulement de session, il faudra prévoir un autre module (module d'explication), ce qui alourdira le système.

Didacticiel avec Module de l'Elève

Dans les systèmes avec module de l'élève, les analyses de réponses sont bien plus développées que dans les systèmes sans module de l'élève. Les concepteurs non seulement prennent en compte l'ensemble des erreurs mais aussi les répertorient pour déterminer les erreurs les plus commises (cf [NIC88] dans [TSI88]). Le principe de fonctionnement de ces systèmes repose beaucoup sur l'historique du déroulement du système. L'historique pris en compte est souvent limité à une session d'utilisation. Mais il y a quelques systèmes qui gardent la trace de connaissances de l'élève sur plusieurs sessions, cela pour évaluer le niveau de connaissance de l'élève.

Exemples de Didacticiels avec Module de l'élève

Geometry Tutor : l'objectif est d'aider l'élève à découvrir des règles mathématiques et acquérir une meilleure conduite de preuve. Le système repose sur la résolution de problèmes présentés sur forme d'exercices. Les erreurs sont signalées et corrigées immédiatement par le système. La particularité de ce système est qu'il intègre la présentation graphique pour illustrer chaque étape du problème. Mais tout ce qui est relatif à l'élève s'arrête après la session.

Guidon : L'objectif du système est d'améliorer la capacité de diagnostic d'un élève. Il repose sur des étude de cas. Il nécessite une importante connaissance préalable. L'initiative est mixte. La particularité du système est qu'il garde la trace des connaissances sur plusieurs sessions, mesure la compétence de l'élève par rapport à celle du système (considéré comme l'expert). Les choix de connaissances ou de cas à présenter dépendent donc du niveau de connaissances de l'élève.

III.4.2. Les Insuffisances des propositions

L'utilisation du module de l'élève a bien sûr un but pédagogique, en fait, il sert à orienter la méthode d'enseignement à des moments ou pour des objectifs différents. Deux formes d'objectifs d'un didacticiel sont présentées dans [HEN86] :

- l'adaptation aux performances de l'utilisateur: dans cette forme d'adaptation, le plan et le parcours sont organisés en fonction de l'acquisition d'une capacité. L'accent est mis sur la matière et la progression.
- l'adaptation aux choix de l'apprenant: cette forme d'adaptation est fondée sur l'idée que l'on n'apprend que si le besoin et le désir y conduisent. Le système répond donc aux demandes de l'élève.

Nous avons constaté que les rôles ou fonctions du module de l'élève énumérés dans le paragraphe III.3. portent essentiellement sur une analyse globale des réponses. Nous avons constaté également que la forme d'adaptation voulue par un didacticiel se précise en fonction de l'importance accordée à chacun de ces rôles. Par exemple si une grande importance est accordée au rôle correctif et diagnostic, nous serions dans un cadre d'adaptation aux performances. Car dans ce cas, l'objectif sera de veiller à ce que toutes les connaissances soient bien acquises et bien assimilées avec peu de souci sur la méthode employée par l'élève. Par contre, si une grande importance est accordée aux rôles stratégique et prédictif, nous serions dans un cadre d'adaptation aux choix de l'élève. L'intérêt porte alors sur les méthodes employées par l'élève pour acquérir ses connaissances.

Nous croyons que pour orienter un didacticiel vers "l'adaptation aux choix de l'élève" les choix à prendre en compte ne doivent pas être uniquement les choix de questions ou de réponses de l'élève. En fait si l'on se limite à ces possibilités, alors on est toujours dans le cadre de la première

adaptation - adaptation aux performances. En fait **nous croyons qu'il faut pouvoir prendre en compte dans le didacticiel le niveau d'habitude évocative de l'élève** (cf paragraphe I.4 de la partie I) **afin de faciliter et améliorer l'assimilation de ses connaissances**. Seul le modèle proposé par de La Garanderie reflète cet objectif mais c'est un modèle cognitif. Le composant T du modèle de Self à première vue peut refléter cet objectif mais en fait on se limite à une fonction très subjective tel que déterminer l'ennui d'un élève.

Ces remarques nous ont donc amené à définir un autre modèle avec un autre rôle que ceux présentés au paragraphes III.3. Le nouveau rôle et le modèle sont présentés dans les trois paragraphes suivants.

III.5. Une nouvelle Approche

Notre proposition est inspirée par le nouveau rôle pédagogique que nous voulons qu'un module de l'élève puisse remplir. Nous présentons d'abord le nouveau rôle au paragraphe suivant et ensuite le modèle au paragraphe III.5.2.

III.5.1. Un nouveau rôle

Le module de l'élève doit être en accord avec l'objectif fixé pour le didacticiel. En fait trois objectifs sont possibles pour un didacticiel donné, dont deux ont déjà été présentés dans le paragraphe III.3. :

- adaptation du didacticiel aux choix de l'élève;
- adaptation du didacticiel aux performances de l'élève.

Nous rajoutons **un troisième objectif qui est l'adaptation du didacticiel aux habitudes évocatives de l'élève**. Donc pour ce rôle, **il faut un modèle qui permette non seulement de connaître les connaissances acquises par l'élève mais aussi qui permette la détermination du niveau d'habitude évocative de l'élève**.

Deux raisons à l'intérêt du niveau d'habitude évocative de l'élève :

- si le niveau d'habitude évocative est connu, cela permettra une meilleure évaluation de l'élève. On saura non seulement qu'il y a plus de connaissances acquises par l'élève mais aussi qu'il y a une évolution dans la progression de son niveau cognitif;
- connaître le niveau d'habitude évocative permettra également à l'enseignant de mesurer l'adéquation des scénarios de déroulement du didacticiel à proposer à l'élève ou à mettre en œuvre dans le système.

III.5.2. Un nouveau Modèle et ses composants

Le rôle d'adaptation au niveau d'habitude évocative de l'élève ne peut être pris en compte par aucun des modèles présentés. Mais pour créer un nouveau modèle, nous sommes confronté à trois types de problèmes :

- quels paramètres représenter dans le modèle ?
- comment les déterminer ou les mesurer ?
- comment les exploiter ?

Quels paramètres représenter dans le modèle ?

Pour le premier problème, c'est-à-dire les paramètres à représenter, la réponse est donnée par le rôle que le modèle doit jouer. Malheureusement, certains paramètres ne sont pas mesurables ou discernables par des moyens informatiques. Par exemple, même si l'on veut représenter la forme de représentation mentale de l'élève, cela n'est pas possible par les moyens informatiques disponibles, d'où les questions suivantes :

Comment déterminer les paramètres ou les mesurer ?

Une autre difficulté dans la construction d'un modèle de l'élève est la prise en compte des contenus des enseignements. Certains enseignements sont plus orientés vers les connaissances factuelles, d'autres vers la manipulation de règles de base, d'autres encore vers l'utilisation d'heuristiques. Pourtant nous pensons qu'un modèle de l'élève doit se situer au dessus de ces aspects divergents.

Comment exploiter les paramètres ?

Puisqu'il est difficile dans beaucoup de cas voire impossible de mesurer certains paramètres pour construire le modèle de l'élève, nous nous contentons d'utiliser les résultats des études faites

sur ces paramètres. Par exemple on sait qu'il est difficile de comprendre la méthode de représentation mentale de connaissance par l'élève utilisant l'ordinateur. Donc nous utilisons le résultat des études psychologiques et pédagogiques qui montrent que la plupart des individus font appel à une représentation mentale de connaissances par des images mentales ou auditives [GAR87, BAS76, DUR79]. Les études montrent également qu'il y a une évocation d'image mentale (des images mentales visuelles ou auditives) par des images réelles. Donc au lieu d'intégrer des modules dans le système pour connaître la méthode de représentation mentale de connaissances, nous utilisons ces résultats.

Composants du nouveau modèle

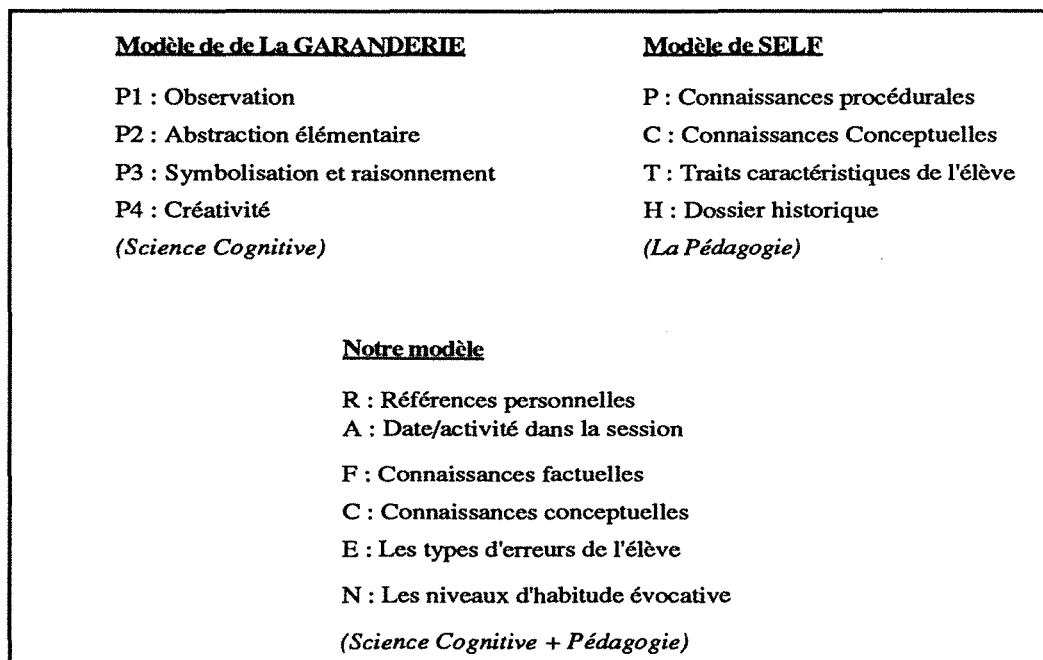


Figure II.13. : Notre Modèle et deux autres

Ce schéma montre les deux modèles de l'élève proposés par de La Garanderie et par Self qui servent de base à notre réflexion intégrant des aspects de science cognitive, la pédagogie et la science informatique.

Le modèle que nous proposons est représenté par les composants suivants :

(R, A, F, C, E, N)

où

R : représente les références personnelles,
A : représente les activités de l'élève et la date de la session,
F : représente les connaissances factuelles,
C : représente les connaissances conceptuelles,
E : représente les types d'erreurs,
N : représente les niveaux d'habitudes évocatives.

Nous détaillons maintenant la signification de chaque composant du modèle en argumentant sur des exemples. La plupart des exemples donnés proviennent de la maquette en construction qui a pour objectif pédagogique : "donner à l'élève la capacité de reconnaître les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux liées à leurs modes de nourriture".

R (référence personnelle)

Ce composant du modèle peut paraître évident puisque notre objectif est d'avoir un système individualisé. Nous voulons néanmoins insister sur le fait que nous avons à faire à des individus qui doivent être bien identifiés. Ce composant est donc nécessaire. La moindre des choses dans un didacticiel individualisé est de ne pas reposer certaines questions à un élève habitué au système. Le type de questions à ne pas reposer peut être par exemple des questions destinées à déterminer le niveau de connaissance de l'élève (c'est à dire si l'élève remplit le prérequis). Ce composant peut être constitué à l'origine des éléments suivants :

- le nom de l'élève et son prénom;
- l'âge de l'élève : ce composant peut être significatif pendant une longue période de suivi de l'élève en observant l'évolution de ses habitudes évocatives avec son âge ou avec son niveau scolaire.

A (Activités de l'élève et la date de session)

Le composant A représente les activités de l'élève et la date de la session d'utilisation, c'est à dire l'heure de début et l'heure de fin. La date est nécessaire pour l'évaluation et le suivi de l'élève. Il ne suffit pas de connaître les connaissances acquises par l'élève d'une manière globale, il est au moins aussi important de pouvoir examiner son évolution dans le temps. Les durées de sessions dans le temps peuvent fournir des renseignements sur le comportement de l'élève. Mais comme nous le montrerons dans le composant "niveau d'habitude évocative", il ne suffit pas d'allumer l'ordinateur et de lancer le système sans rien faire. Les activités de l'élève dans chaque module a une importance aussi grande que l'ensemble de ses activités pendant la session. Ce composant est également indispensable à

cause du nouveau rôle attribué au module de l'élève : permettre une adaptation au niveau d'habitude évocative de l'élève. L'évolution du niveau d'habitude évocative ne se détermine que dans le temps.

F (les connaissances factuelles) :

Par connaissances factuelles, nous entendons les connaissances concrètes, élémentaires ou les faits (ainsi interprétés du point de vue de l'enseignant) dans le domaine. Par exemple, *insecte, poisson, patte-palmée, bec-crochu, arbre, eau* sont des connaissances factuelles en ornithologie pour exprimer respectivement la nourriture, la morphologie et l'habitat des oiseaux. Le contenu de ce composant reflètera les connaissances d'un élève qui a une habitude évocative du type P1 et P2 (cf paragraphe III.3.), mais particulièrement P2. Il y a deux facettes pour ce composant.

Première facette :

Le système doit connaître les connaissances réelles de l'élève. Donc toutes les connaissances supposées acquises doivent être stockées dans le système.

Deuxième facette :

Le système doit connaître la quantité de connaissances supposées acquises (par exemple le nombre de termes factuels utilisés) pour pouvoir déterminer l'évolution d'habitude évocative de l'élève.

Deux problèmes se posent alors, d'ordre différent :

Le premier problème est d'ordre pédagogique - comment déterminer les connaissances acquises ?

Le deuxième problème concerne la réalisation - stocker toutes les connaissances de l'élève nécessite une grande mémoire.

Le premier problème constitue toujours un objet de recherche pour les pédagogues.

Pour le deuxième problème, ce que nous constatons, c'est qu'il n'est peut-être pas nécessaire de stocker toutes les connaissances de l'élève d'une manière rémanente (c'est à dire d'une session à l'autre). Le système peut garder ces connaissances pendant toute la session mais ne garder après chaque session que la quantité de connaissances (le nombre de connaissances les plus significatives) acquises pendant la session.

C (connaissances conceptuelles) :

Les connaissances conceptuelles signifient pour nous les connaissances qui relèvent du concept ou de l'abstraction. Elles ne sont pas toujours visibles (dans le domaine de la science de l'observation) et elles sont plutôt des abstractions de connaissances. Par

exemple *bec*, *piscivore* sont pour nous des connaissances conceptuelles car *bec* est une abstraction de toutes les formes de becs possibles. *Piscivore* est une catégorie de mode de nourriture en ornithologie. Les connaissances conceptuelles dans le domaine de la résolution de problème consistent en les méthodes de résolution, les axiomes, les méthodes de classification, etc

Remarque :

Nous remarquons que l'interprétation d'une connaissance comme factuelle ou conceptuelle est l'affaire de l'enseignant. Une connaissance interprétée comme factuelle dans un domaine peut être interprétée comme conceptuelle dans un autre. Par exemple, nous avons donné comme types de connaissances factuelles les termes "*insecte*, *poisson*." Mais ces termes peuvent être considérés comme des connaissances conceptuelles si le domaine d'étude est les insectes ou les poissons. Mais cela ne pose pas de problème de réalisation car un didacticiel ne traite en général pas plus d'un domaine à la fois.

E (les types d'erreurs) :

Les types d'erreurs commises peuvent aider à mieux connaître l'élève. Il y a deux formes d'erreurs - les erreurs lexicographiques et les erreurs d'association. Ces deux types d'erreurs se produisent dans tous les domaines.

Les erreurs lexicographiques ont les mêmes formes dans tous les domaines : omission, insertion, remplacement d'un ou plusieurs caractères.

Les erreurs d'associations n'ont pas les mêmes formes dans tous les domaines. Dans certains domaines elles se produisent par l'utilisation d'un terme (par exemple un terme qui n'a pas de signification dans le domaine). Les termes sont correctement écrits mais ils n'appartiennent pas au dictionnaire. Par exemple dans la maquette qui a pour domaine l'ornithologie, *bec-palmé* est correctement écrit mais ce n'est pas un terme du domaine c'est-à-dire qu'il n'est pas dans le dictionnaire. Ces erreurs se produisent quand il y a une contradiction contextuelle. Dans d'autres domaines, ce type d'erreur concerne l'application de mauvaises règles en résolution de problème (en mathématiques par exemple) ou une association erronée de deux termes par un lien sémantique (par exemple en sciences naturelles, dire que *faucon-crecerelle est une sorte de piscivore alors que c'est un carnivore*).

Les erreurs lexicographiques peuvent être identifiées par une analyse lexicale de la réponse ou de la demande de l'élève. Les erreurs du type omission, insertion ou remplacement d'un ou plusieurs caractères peuvent être corrigées automatiquement par le système en les remplaçant par les termes les plus proches ou demander une correction du terme par l'élève. Donc nous pouvons utiliser cette fonction pour la première forme d'adaptation d'un didacticiel (adaptation aux performances de l'apprenant) si l'on veut obligatoirement

que la correction soit faite avant de progresser. Par exemple dans le domaine d'ornithologie, si l'élève doit acquérir le vocabulaire du domaine, le système peut boucler sur une demande ou sur une réponse tant que le terme ne sera pas correctement donné. Si l'on se contente de signaler les erreurs en laissant l'élève choisir le plan pour les corriger, ou bien d'avancer dans le plan mais en laissant l'apprenant rectifier les erreurs lui-même, le système peut être utilisé pour la deuxième forme d'adaptation (adaptation aux choix de l'apprenant).

Les erreurs d'associations sont plus compliquées à identifier car elles nécessitent non seulement une analyse lexicale mais aussi une analyse sémantique utilisant la base de connaissances. Pour les termes composés n'appartenant pas au dictionnaire, on peut éclater le terme en deux puis donner les liens sémantiques outre ces termes qui sont dans la base de connaissances. Par exemple dans la maquette si le terme est "bec-palmé", on a intérêt à donner des exemples de bec (ex: bec-long, bec-large, ...) et les parties d'oiseaux qui peuvent être palmées (ex: palmé qualifie patte) pour aider l'élève à corriger son erreur.

N (les niveaux d'habitude évocative) :

La méthode que nous avons adoptée pour connaître les niveaux d'habitude évocative de l'élève est de construire les modules pédagogiques de manière à refléter chaque niveau d'habitude évocative. Ainsi nous pouvons connaître le niveau d'habitude évocative d'abord en observant les modules du système qui sont déjà parcourus par l'élève et leur nombre de fois. Par exemple dans la maquette si l'élève ne fait que piloter le vidéodisque ou bien s'il le privilégie chaque fois qu'il utilise le système, cela peut nous indiquer que l'élève est toujours au niveau P1 de la classification par niveau d'habitude évocative (c'est-à-dire l'observation). Si le module indique que l'élève privilégie le module d'illustration, cela peut signifier que l'élève est au niveau P2 où l'élève fait un minimum d'abstraction. Si l'élève utilise plutôt le module d'interrogation, et qu'il y a de plus en plus d'éléments de C dans le temps, cela peut signifier que l'élève est au niveau P3 où il conceptualise d'avantage ses connaissances. P4 peut être déduit si l'élève veut construire sa base de connaissances et sa base descriptive. Il faut, pour mesurer les activités de l'élève dans chaque sous-module du module pédagogique, des fonctions qui permettent de déterminer l'activité de l'élève dans ce module, prenant en compte l'interaction de l'élève avec le système.

III.6. Conclusion

Nous avons essayé de démontrer dans ce chapitre qu'un module de l'élève est nécessaire dans un environnement d'apprentissage. Nous avons commencé par la présentation des rôles qui sont attribués à un module de l'élève. Et ensuite nous avons présenté les formes d'adaptations possibles pour les didacticiels et les modèles proposés. Compte tenu de notre objectif qui est la conception d'un système d'EIIAO individualisé, nous avons remarqué que les rôles ainsi que les modèles ne nous sont pas suffisants. Ce qui nous a amené à la définition d'un autre modèle en vue de son application pour suivre les évolutions des niveaux d'habitude évocative de l'élève et dans un contexte d'apprentissage basé sur l'image.

Nous avons essayé de matérialiser nos concepts. Le prototype construit avec l'architecture proposée est présentée dans la partie suivante. Nous avons introduit le module de l'élève dans le prototype. Sa construction est progressive. Le prototype intègre aussi des scénarios. Ces scénarios sont construits avec des stratégies pédagogiques différentes.



PARTIE III

LE PROTOTYPE ET SON EXPERIMENTATION

Les deux premières parties de cette thèse ont été consacrées aux problématiques du domaine de notre travail et aux propositions que nous avons faites pour la construction d'un système d'EIIAO individualisé. Cette troisième partie concerne la mise en œuvre de nos propositions. Pour cette mise en œuvre, nous avons construit un prototype appelé **BIRDS**, que nous allons décrire dans cette partie. L'objectif de la réalisation est l'implantation de ce que nous avons appelé un environnement d'apprentissage basé sur l'image, intégrant le processus EXPRIM et reposant sur un module de l'élève (qui permet d'observer l'évolution d'habitude évocative de l'élève).

La partie est divisée en quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré aux fonctions du prototype, le deuxième à la réalisation du prototype, le troisième aux scénarios que nous avons définis et le quatrième à l'expérimentation que nous avons faite du prototype.

CHAPITRE I

LE PROTOTYPE BIRDS - SES FONCTIONS

I.1. Introduction

La figure suivante donne l'architecture générale choisie pour notre prototype (cf chapitre II de la partie II).

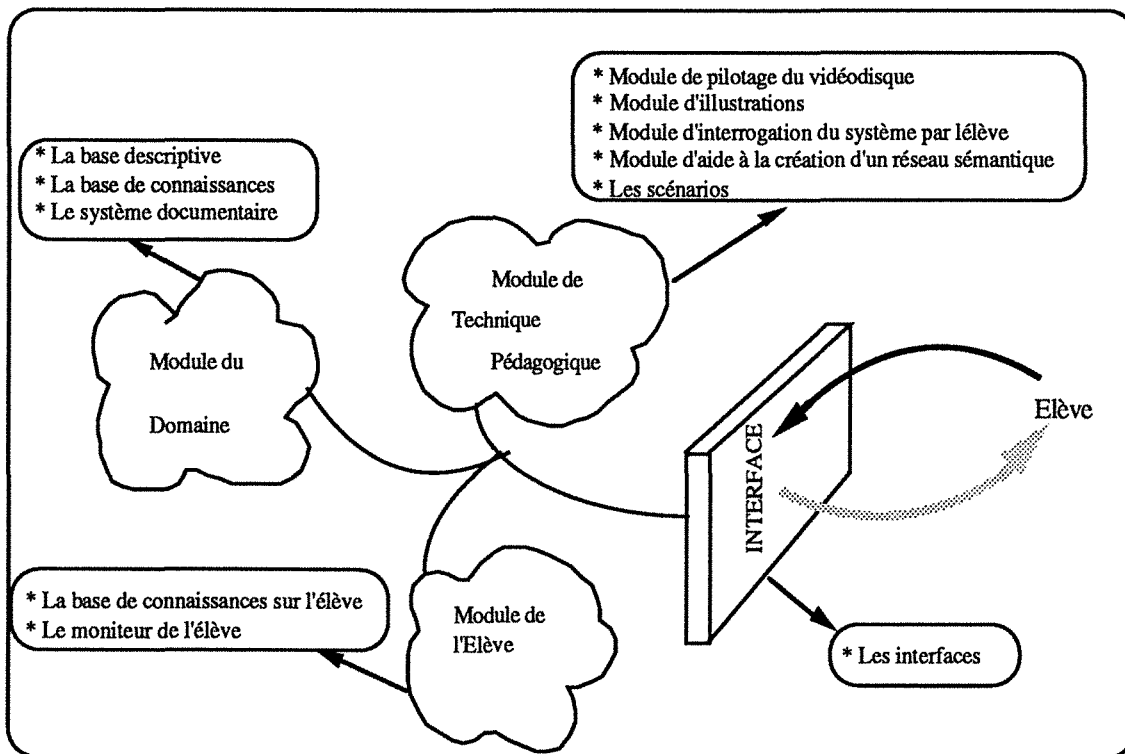


Figure III.1. : Architecture générale du prototype

Le prototype est composé de quatre parties principales :

- 1) le module de technique pédagogique : ce module se décompose en cinq nouveaux modules
 - * le module d'observation ,
 - * le module d'illustrations ,
 - * le module d'interrogation du système par l'élève ,
 - * le module d'aide à la création d'un réseau sémantique et de la base descriptive ,

- * le module déroulant des scénarios prédéfinis ;
- 2) le module du domaine : ce module contient essentiellement la base de connaissances du domaine, la base descriptive et le système documentaire ;
- 3) le module de l'élève : ce module contient la base de connaissances sur l'élève et un moniteur exploitant cette base ;
- 4) le module d'interface : il contient les modules assurant les interfaces entre l'élève et le système, tels que les gestionnaires d'écran, le gestionnaire de menu et le système d'incrustation.

Chacun de ces modules est décrit plus en détail dans la suite du chapitre.

Notons que la réalisation de cette architecture a été centrée sur **l'utilisation d'images et l'intégration d'un modèle de l'élève.**

Rappelons que le processus EXPRIM est au centre de notre travail (cf chapitre I.6. de la partie II). Nous présentons dans le paragraphe I.2. comment nous en avons appliqué les concepts et comment nous les avons adaptés à notre contexte. Dans le paragraphe I.3., nous présentons un bref historique du prototype. Aux paragraphes I.4., I.5., I.6., I.8., nous présentons respectivement le module de technique pédagogique, le module du domaine, le module de l'élève et le module d'interface.

I.2. EXPRIM dans le prototype

Le processus EXPRIM est appliqué principalement dans le module d'interrogation du système par l'élève. Les deux aspects principaux du processus que nous avons adoptés et adaptés à notre prototype sont :

- l'interrogation d'une banque d'images en trois phases ;
- l'utilisation des heuristiques pour analyser la requête de l'élève.

Le processus EXPRIM a été développé plus en détail au paragraphe I.6. de la partie II de la thèse. Comme dans le processus EXPRIM, le but du système d'EIIAO est de connaître les besoins de l'utilisateur et l'utilisateur, dans notre hypothèse de travail, est l'élève.

Pourquoi l'interrogation en trois phases ?

Nous pensons que **les trois phases durant l'interrogation représentent une méthode naturelle de dialogue** :

- une personne pose une question ,
- son interlocuteur répond à la question ,
- la personne qui a posé la question rectifie la réponse dans son esprit en fonction de sa question. Si la réponse ne correspond pas tout à fait à ce qu'il attendait, il repose sa question sous une autre forme.

Cette méthode de dialogue correspond parfaitement au modèle cognitif dans un processus d'apprentissage. **L'élève anticipe un résultat** par la requête qu'il pose. Le système analyse cette requête et lui donne les résultats (sous forme d'images) ainsi que les transformations qu'il a pu faire. Pendant la visualisation, l'élève a la possibilité de rectifier les résultats qu'il attend. Il y aura **des résultats qui confirment ses hypothèses, mais il peut y en avoir aussi qui les remettent en cause**. Ainsi, **des modèles de connaissances peuvent être construits par l'élève**, qui peut aussi ajouter d'autres modèles de connaissances à ceux déjà construits ou modifier ceux qui sont erronés. Donc dans notre contexte d'EIIAO, le processus en trois phases

- est une méthode naturelle de dialogue ;
- permet de mettre en œuvre le modèle cognitif dans un processus d'apprentissage.

Tous les enseignants savent que les questions des élèves ne sont pas sans arrière pensée (ou hypothèse de réponse). Prenons une situation dans une classe :

- un élève A pose une question au professeur ;
- le professeur lui répond ;
- quelques minutes plus tard pendant la même séance, l'élève A pose la même question sous une autre forme ;
- le professeur lui répond, sous une autre forme également ;
- l'élève A ne pose plus la même question pendant la séance ;
- or à la sortie de la classe, l'élève A pose la même question à un camarade de la classe et il est satisfait de la réponse de ce camarade, pourtant c'est la même réponse que celle formulée par le professeur.

Voyons quelques remarques sur cette situation :

- (1) Le professeur n'a pas su faire comprendre ses réponses à l'élève malgré les efforts des deux (le professeur et l'élève).
- (2) La même question peut être posée sous plusieurs formes.

- (3) Les réponses peuvent être formulées, en fonction des formes des questions.
- (4) Un camarade de la classe a su répondre à la question de l'élève A car il a le même processus cognitif.

Nous pouvons, par ces remarques, dire que dans un dialogue, en particulier dans un contexte d'apprentissage, une réponse "juste" ne peut être garantie à cent pour cent. Les réponses "justes" dans ce contexte sont les réponses correctes et sémantiquement comprises par l'élève. Nous pensons, donc, que la méthode qui consiste à utiliser des heuristiques adoptées dans le processus EXPRIM s'adapte bien à notre contexte de travail. Même si les réponses ne correspondent pas à cent pour cent à l'attente, les heuristiques peuvent permettre de fournir des réponses voisines.

Dans le processus EXPRIM, les heuristiques sont définies avec l'aide d'experts en recherche iconographique. Nous avons adopté la méthode d'analyse des requêtes par des heuristiques. Mais les heuristiques sont définies à l'aide d'un professeur du domaine de sciences naturelles (qui est notre expert). Cependant, nous avons emprunté les idées mises en œuvre dans les premières heuristiques du processus EXPRIM. Voyons trois de ces heuristiques et comment nous les avons adaptées à notre contexte. Ces heuristiques sont appliquées pendant la reformulation de la requête avant la recherche des images.

Heuristique 1 : "Dans un contexte où on ne veut pas beaucoup d'images, s'il existe un terme dans la requête qui est en relation (dans le thésaurus) avec un autre plus général en sens et si la relation est "sorte de" alors supprimer le terme plus général en sens".

Dans notre contexte, notre objectif n'est pas de réduire le nombre d'images à proposer mais d'exploiter la sémantique que nous pouvons déduire de la requête de l'élève. Donc cette heuristique vise dans notre contexte, à supprimer les termes plus généraux que d'autres dans une requête, **considérant les termes plus spécifiques en sens comme des précisions des termes plus généraux**. Mais le système doit signaler cette déduction à l'élève sous forme d'explication dans la phase de visualisation.

Heuristique 2 : "Dans un contexte où on veut le plus d'images possible, remplacer les termes généraux en sens par ces termes spécifiques afin d'étendre le champ de recherche d'image".

Dans notre contexte, nous ne cherchons pas à trouver le plus d'images possible, mais à nouveau à utiliser cette heuristique pour déterminer la sémantique d'une requête. Donc pour nous, par cette heuristique, nous supposons qu'un **terme très général en sens** qui

persiste dans la requête après l'application de l'heuristique 1 regroupe des images que l'élève veut observer.

Heuristique 3 : "Dans un contexte où on veut le plus d'images possible, rajouter tous les termes synonymes aux termes de la requête".

Dans notre contexte, **nous signalons simplement à l'élève que les synonymes existent.** Ils ne sont pas rajoutés aux termes de la requête. Mais si les termes synonymes existent eux-aussi dans la requête, ils sont supprimés et la suppression est signalée comme explication de l'analyse de la requête.

Nous croyons que les heuristiques peuvent nous permettre de connaître les besoins de l'élève et en particulier permettre à l'élève de modeler et de remodeler ses modèles de connaissances à acquérir ou qui sont déjà acquis.

Voyons maintenant un bref historique de la construction du prototype et l'objectif pédagogique que nous avons défini.

I.3. Bref historique du prototype et notre Objectif Pédagogique

I.3.1. La Genèse

La conceptualisation de ce prototype a débuté en 1986 dans le cadre d'un projet ESPRIT. Nous avons comme objectif de travail l'étude des applications possibles du processus EXPRIM dans un contexte d'enseignement. Ce travail a débouché sur un rapport de DEA [DAV86] et une partie du rapport ESPRIT. Même si le sujet de travail était une étude des applications du processus EXPRIM en enseignement, il nous a paru évident que le travail concernait d'abord l'utilisation de l'image en EAO. Par conséquent, l'objectif du travail a été élargi : application du processus EXPRIM dans un enseignement basé sur l'image.

Nous avons commencé le travail par la recherche de collaborations avec des professeurs surtout au niveau des collèges et des lycées car nous avons pensé qu'il serait plus facile de trouver des terrains d'application dans ces milieux. Nous avons collaboré dans un premier temps avec trois professeurs - un professeur de lycée (professeur en biologie) et deux professeurs de l'école Normale de Nancy (un professeur de géographie et un professeur de sciences naturelles). Ils nous

ont manifesté intérêt et enthousiasme pour ce travail en participant à des réunions de réflexion et cela de manière régulière. L'obstacle majeur que nous avons rencontré fut le manque d'une banque d'images. Par conséquent, nous n'avons pas pu matérialiser les propositions issues de ces réunions.

Poursuivant le travail, nous avons remarqué qu'avant toute chose, il fallait approfondir les aspects pédagogiques du sujet. Nous avons donc commencé par une étude des théories d'apprentissage et une étude de l'existant de façon à dégager des propositions concrètes. Les deux premières parties de ce rapport sont le résultat de ces études et propositions.

Pratiquement en même temps que nous étudions les aspects pédagogiques du sujet, nous avons participé à la construction de la maquette EXPRIM. Notre participation a été menée de manière parallèle à celle de notre équipe de recherche (EXPRIM) compte tenu du contexte de notre travail. La maquette EXPRIM (qui a beaucoup évolué depuis) est orientée vers une recherche iconographique dans une banque d'image, alors que notre intérêt porte sur l'application de l'image en EAO. Cette participation a été très fructueuse car elle nous a non seulement permis de mieux cerner les applications possibles du processus EXPRIM, mais elle a également mis en valeur les problèmes de conception et de réalisation de notre maquette. Dans [HAL89] se trouve une présentation plus détaillée de la maquette EXPRIM et de son évolution.

I.3.2. Le Choix

En cherchant une base d'images applicable à notre travail, nous avons eu des contacts avec deux autres professeurs (du lycée H. Poincaré à Nancy) qui nous ont manifesté également de l'intérêt pour notre travail. Elles étaient prêtes à collaborer avec nous, et elles nous ont prêté un vidéodisque ("le vidéodisque **British Garden Birds**" : oiseaux des jardins de Grande Bretagne). Nous avons continué à travailler avec l'une d'elles (Mme Colette Roynette) pour la réalisation du prototype.

L'objectif pédagogique ainsi que le contenu pédagogique du prototype ont été définis en collaboration avec le professeur. L'objectif pédagogique que nous avons défini est "***de cultiver chez l'élève la capacité d'associer les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux à leurs modes de nourriture***". Cette objectif pédagogique correspond en fait à un objectif pédagogique défini pour les élèves de 5^e et de 6^e en classe de sciences naturelles. Cet objectif cadre donc avec un

cycle précis de formation et il est un moyen d'expérimentation des propositions que nous avons définies.

I.3.3. La Captation de l'Expertise

Le travail qui consiste en la captation de l'expertise de notre experte en sciences naturelles (Mme. Colette Roynette) s'est déroulé sur six mois à raison d'une matinée par semaine. Ce travail s'est déroulé en quatre étapes :

- 1) Dans la première étape, nous avons exposé notre travail à l'experte. Nous lui avons décrit notre contexte de travail, notre hypothèse de travail et les matériels disponibles. Nous avons remarqué que cette étape a été décisive car si nous n'étions pas parvenus à lui exposer ce que nous faisons de manière à ce qu'elle comprenne, et si elle n'était pas prête à comprendre avec un esprit ouvert, nous n'aurions pas été capables de mener le travail en commun.
- 2) Dans la deuxième étape, nous avons demandé à notre experte de nous suggérer ce qu'elle pensait que nous pouvions réaliser. Nous avons remarqué à nouveau que, dans cette étape, elle a fait un effort considérable en nous décrivant des scénarios possibles, les illustrant par des schémas et des exemples. Elle nous a donné une liste d'objectifs pédagogiques ainsi que des livres qu'elle a jugé utiles. En fait, c'est dans l'un des livres qu'elle nous a prêté [GAR88] que nous avons découvert le travail sur le modèle de de La Garanderie qui a servi de base dans la définition de notre modèle de l'élève.
- 3) Dans la troisième étape, nous avons repris les scénarios, les objectifs pédagogiques que notre experte nous avait fournis en les adaptant à notre contexte de travail. Nous lui avons expliqué les raisons pour lesquelles certaines de ses propositions n'ont pas été matérialisées sur le prototype. C'est ainsi que nous avons défini notre objectif pédagogique et un bon nombre de scénarios que nous développons dans le prototype.
- 4) La quatrième étape consistait en la réalisation du prototype. Le travail majeur de notre experte était de nous aider à faire le choix et la description des images fixes à utiliser, les séquences d'images adéquates pour les illustrations et la construction de la base de connaissances du domaine - c'est-à-dire les termes du domaine et les relations entre eux.

C'est ainsi que nous avons défini les différents réseaux sémantiques présentés en annexe. Là aussi le travail a été important et Mme. ROYNETTE a été d'une grande utilité car il y a quasiment autant de classification des oiseaux que de livres. De plus il fallait adopter un vocabulaire ornithologique compréhensible par des élèves de 6e et 5e de collège [DEJ83, CUI81].

Après avoir mené la construction du prototype à un niveau d'expérimentation, nous avons demandé à notre experte de l'utiliser et de nous faire part de ses remarques. C'est ainsi que nous avons pu :

- apporter des améliorations sur l'interface développée dans le prototype. Par exemple, rendre les informations du système plus compréhensibles ;
- utiliser le prototype pour découvrir des connaissances qui manquent dans le prototype ou pour vérifier la cohérence de la base de connaissances. Par exemple nous avons découvert qu'il y avait des termes utilisés pour décrire des images qui ne figuraient pas dans la base de connaissances, ou des erreurs d'associations (ou erreurs sémantiques) en interprétant bec-long comme bec-fort.

Le travail que nous faisons maintenant avec notre experte est de définir un plan d'expérimentation.

Ce bref historique introduit les paragraphes suivants où nous présentons chacun des modules du prototype, en commençant par le module de technique pédagogique.

I.4. Le Module de Technique Pédagogique

Dans ce paragraphe, nous présentons quatre des cinq modules qui constituent le module de technique pédagogique (ces modules sont introduits au paragraphe I.1.). Le cinquième module (les scénarios) est présenté au chapitre III de cette partie car il semble constituer un tout à part entière et son explicitation repose sur les idées développées ici. Ces quatre modules ont été définis pour réaliser ce que nous avons appelé un environnement d'apprentissage. **Chacun d'eux correspond à une phase cognitive (ou à un niveau d'habitude évocative).**

Rappelons que l'une de nos propositions est que, **quel que soit le domaine d'étude, un système d'EIIAO individualisé doit faciliter l'apprentissage de l'élève quel que soit son niveau d'habitude évocative** (cf chapitre III de la partie II de la thèse). Rappelons que ces niveaux d'habitude évocative sont :

- le niveau d'observation ,
- le niveau d'abstraction élémentaire ,

- le niveau de raisonnement ,
- le niveau de créativité.

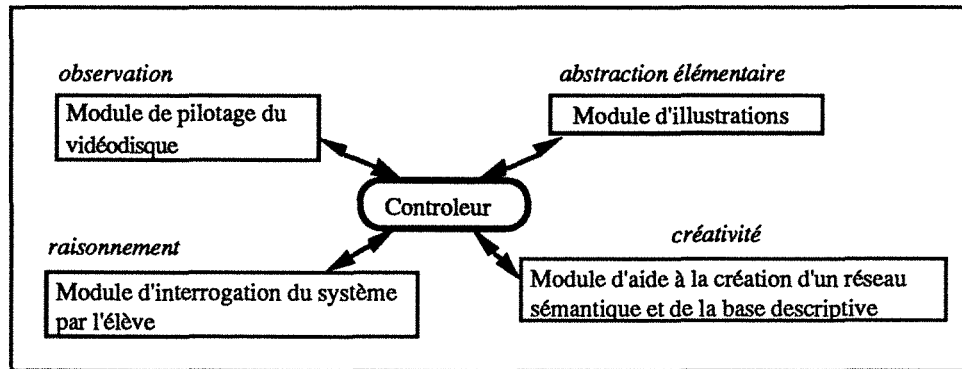


Figure III.2. : Les Quatre Modules Principaux du prototype

Nous avons créé, dans le système, un module par type d'habitude évocative. Ces quatre modules sont illustrés dans la figure III.2..

- Le module de pilotage du vidéodisque : il correspond à la phase d'observation ;
- Le module d'illustrations : il correspond à la phase d'abstraction élémentaire ;
- Le module d'interrogation du système par l'élève : ce module correspond à la phase de raisonnement ;
- Le module d'aide à la création d'un réseau sémantique et de la base descriptive : il correspond à la phase de créativité.

Avant de détailler les fonctionnalités de chacun de ces modules, voyons d'abord les rôles de ces modules en termes d'activité de l'élève pendant le processus d'apprentissage.

En terme d'activité, l'utilisation du module de pilotage du vidéodisque et du module d'illustrations (c'est-à-dire la phase d'observation et la phase d'abstraction élémentaire) correspond à l'activité de recherche de connaissances. En observant, l'élève recherche des connaissances nouvelles par la perception. Ainsi la recherche du vocabulaire du domaine passe par l'utilisation du module d'illustrations.

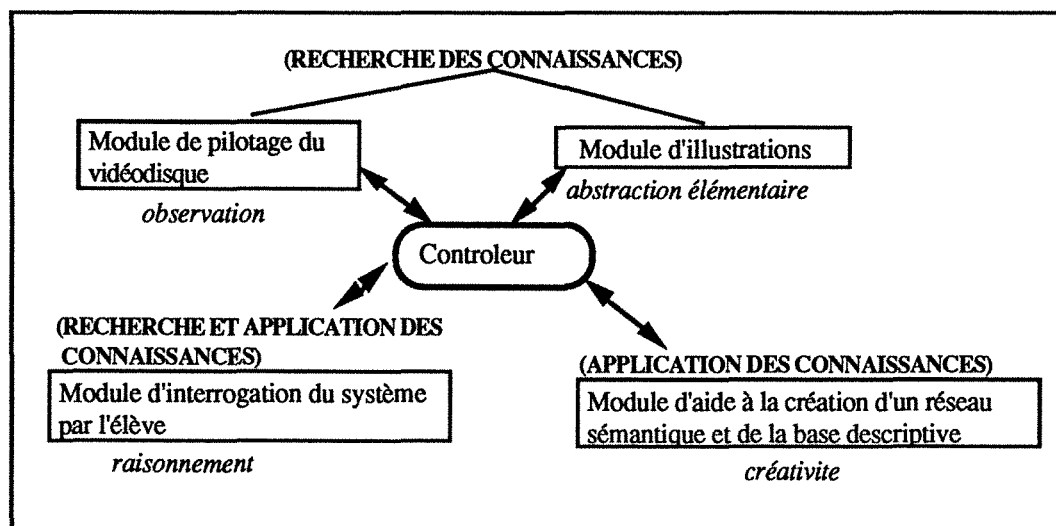


Figure III.3. : Les Quatre Modules et les Activités de l'Elève pendant le Processus d'Apprentissage

L'utilisation du module d'interrogation du système par l'élève et du module d'aide à la création d'un réseau sémantique et de la base descriptive correspondent à la validation des connaissances déjà acquises; c'est donc une activité d'application des connaissances. Ces activités sont rendues possibles par les fonctionnalités de chacun de ces modules. Voyons-les maintenant plus en détail.

I.4.1. Le Module de pilotage du vidéodisque

Toutes les images du système se trouvent sur un vidéodisque. Parce que le système d'EIIAO est basé sur l'image, toute forme de dialogue entre le système et l'élève se réfère aux images du vidéodisque. **La première activité de l'élève est donc de découvrir les images du vidéodisque.** Cette activité que nous considérons comme la première (et qui nous semble primordiale) dans le processus d'apprentissage, correspond aussi à la première phase cognitive selon la classification par niveaux d'habitude évocative. Notons que toute initiative vient de l'élève dans ce module. Le système ne fait que ce que l'élève lui a demandé de faire. Le prototype offre à l'élève différents moyens d'observation.

L'élève peut regarder les séquences d'images

Une bonne méthode pour observer les caractéristiques des oiseaux est de les observer dans la nature. Mais malheureusement il est difficile, voire impossible dans la plupart des cas, d'observer leurs caractéristiques dans la nature sans de gros moyens. Un des avantages du vidéodisque dont nous disposons est que les oiseaux ont été filmés dans leurs habitats naturels. De

plus, les séquences d'images peuvent être vues et revues autant de fois que l'élève le désire, ce qui est pratiquement impossible dans la réalité.

L'élève peut s'arrêter sur une image

En observant une séquence d'images, l'élève peut s'arrêter sur une image particulière pour mieux l'observer. Là encore est un avantage d'un support vidéo (qui est dans notre cas le vidéodisque) car il n'est pas possible d'avoir cette fonction dans la réalité.

L'élève peut ralentir une séquence d'images

Une action effectuée par un oiseau peut se dérouler trop vite au gré de l'élève. L'élève a alors la possibilité de ralentir la séquence pour mieux observer. Par exemple, la séquence de capture d'un poisson dans l'eau par un oiseau peut être ralentie pour distinguer toutes les étapes de la capture et de la consommation du poisson. Cette possibilité est également irréaliste dans la nature.

L'élève peut chercher facilement des images particulières

En observant une séquence d'images, l'élève peut noter des numéros d'images et ensuite se positionner sur ces images soit pour des comparaisons soit pour mieux les observer.

L'élève a accès à deux pistes de sons

Sur le vidéodisque "*British garden birds*", il y a deux pistes de son. Une piste est utilisée pour enregistrer les commentaires sur les séquences d'images. Ce commentaire est en anglais. La deuxième piste est utilisée pour enregistrer les chants des oiseaux du disque. L'élève a le choix de supprimer les deux pistes de son, d'en choisir une ou bien d'écouter les deux en même temps. Les commentaires facilitent la compréhension du déroulement de certaines actions effectuées par un oiseau (cf paragraphe II.2.3.2 de la première partie de la thèse sur les pourcentages d'information retenue en fonction du média utilisé pour acquérir des informations).

Ce que nous venons d'énumérer, ce sont des possibilités offertes par le vidéodisque que nous possédons et donc exploitées dans notre maquette. D'autres vidéodisques rendent possibles de nouvelles exploitations telles que :

Organiser des séquences en chapitres

Les séquences d'images peuvent être organisées en chapitres. L'élève peut ainsi sélectionner des séquences particulières par les numéros de chapitre.

Guider le déroulement d'observation par télétexte

Des textes (appelés aussi télétextes) peuvent être enregistrés sur le vidéodisque pour guider l'élève. Ces textes décrivent principalement les contenus des chapitres et comment y accéder.

Commentaire en deux langues

Les deux pistes de son peuvent être utilisées pour enregistrer des commentaires en deux langues différentes. Un vidéodisque peut donc être utilisé pour l'apprentissage d'une langue, ou dans un autre domaine, l'élève peut choisir la langue qu'il connaît le mieux.

Ces opérations sur le vidéodisque peuvent être bien sûr effectuées à partir de la télécommande du vidéolecteur. Cependant nous avons cherché à faciliter les opérations de commande du vidéolecteur. Le module de pilotage du vidéodisque permet donc à l'élève de commander (piloter) le vidéolecteur à partir du micro-ordinateur utilisé. Chaque opération (ou commande) est décrite par du texte. Et chaque opération est associée à une touche du clavier. Mais l'élève peut également utiliser la souris pour sélectionner les commandes désirées. Ces commandes fournissent à l'élève un bon moyen d'observation.

Par progression, l'élève évolue logiquement de la phase d'observation vers la phase d'abstraction élémentaire pendant le processus d'apprentissage. Pour la phase d'abstraction élémentaire, nous avons créé le module d'illustrations que nous présentons dans le paragraphe suivant.

I.4.2. Le Module d'illustrations

L'élève ayant vu des séquences d'images, s'étant arrêté sur certaines images, ayant défilé ou ralenti certaines séquences, se posera des questions par curiosité. Par exemple,

- quel est le nom d'oiseau de cette séquence d'images ?
- l'oiseau de cette séquence se nourrit de quoi ?
- etc

Selon l'objectif que nous avons défini, nous avons prévu un certain nombre de questions que l'élève peut se poser. Ces questions correspondent aux curiosités que l'observation des images peut susciter chez l'élève. Rappelons que l'objectif pédagogique est de cultiver chez l'élève la capacité d'associer les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux à leurs modes de nourriture. Nous ne prévoyons donc pas de questions sur la reproduction des oiseaux ou sur leurs mécanismes de défense. Nous avons développé aussi des modes d'affichage simultanés des

informations textuelles avec les images du vidéodisque. Pour cela, nous avons développé un système d'incrustation (présenté au paragraphe I.8.3.).

Qu'avons nous prévu comme questions correspondant à la curiosité que l'observation des images peut susciter chez l'élève ?

Connaître le nom d'oiseau d'une séquence d'images

Une des premières curiosités que l'observation d'une séquence d'un oiseau peut susciter est le désir de connaître le nom de l'oiseau de la séquence. On peut se demander pourquoi l'élève va demander le nom de l'oiseau avant de chercher à connaître la description de l'oiseau. Nous pensons que ce phénomène est dû au fait qu'en perception, la **globalisation des objets perçus passe avant la discrimination** (qui mène à une description) entre les objets perçus [BAS76].

Nous avons prévu la possibilité de connaître, à tout moment, le nom de l'oiseau dans toutes les séquences d'images.

Connaître la description d'oiseau d'une séquence d'images

Une autre curiosité que l'observation peut susciter chez l'élève est de vouloir connaître comment un oiseau peut être décrit. Nous donnons la possibilité à l'élève de s'arrêter dans une séquence d'images et d'obtenir la description morphologique visible de l'oiseau. Les descriptions que nous donnons dans le prototype sont uniquement celles qui peuvent aider l'élève à atteindre l'objectif pédagogique fixé. Les descriptions portent essentiellement sur le bec, l'aile, la patte, le cou, et sur l'œil. Mais nous donnons d'autres éléments de l'image comme les nourritures de l'oiseau et les éléments de l'habitat.

Notons qu'à partir de la phase d'abstraction élémentaire, la recherche de connaissances porte sur les mots (ou termes) associés aux images. Cela peut concerner, pour une image donnée, un terme (par exemple le nom de l'oiseau figurant sur l'image) ou un ensemble de termes (par exemple la description d'objets visibles sur l'image). Nous nous sommes donc efforcé de faciliter cette recherche en superposant les descriptions sur les différentes parties de l'image.

Rechercher la séquence d'images d'un oiseau particulier

Après avoir pris connaissance et assimilé des noms de quelques oiseaux, l'élève peut avoir envie de revoir certaines séquences sur ces oiseaux. Nous lui donnons la possibilité de revoir des

séquences d'oiseaux en fournissant leur nom. Ainsi l'élève donne le nom de l'oiseau désiré et le système recherche la séquence correspondante.

Connaître un terme et ses relations avec d'autres dans le domaine

Une autre possibilité de connaître les termes du domaine en dehors de l'observation des images est le parcours de la base de connaissances. Il est possible de demander les relations d'un terme avec tous les autres termes qui sont en relation directe avec celui-ci.

Cela donne à l'élève un moyen de découvrir des termes conceptuels (c'est-à-dire pour nous les termes qui ne sont pas visibles sur les images). Donc, par cette possibilité, l'élève peut évoluer vers la conceptualisation de ses connaissances.

Autres possibilités offertes dans le module

Puisque les modes de déplacement des oiseaux sont également en relation avec leurs modes de nourritures, nous avons prévu des illustrations sur les modes de déplacement. Par exemple les types de vol, les déplacements sur le sol et sous l'eau. Nous avons prévu également des illustrations sur les méthodes de consommation - par exemple "déchiqueter", "avaler", etc. Nous avons prévu ces illustrations parce que les organes extérieurs utilisés par les oiseaux dans leurs différentes activités (déplacement, nutrition) sont en relation directe avec leurs modes de nourriture.

I.4.3. Le Module d'interrogation du système par l'élève

Dans le module de pilotage du vidéodisque, l'élève n'utilise aucun terme du domaine. Il ne fait que commander le vidéolecteur pour lui permettre d'observer les oiseaux et leurs caractéristiques. Il ne peut acquérir du vocabulaire que s'il comprend le commentaire sur les séquences d'images. Mais supposons qu'il ne comprenne pas le commentaire (ce qui est notre cas - car nous supposons que les élèves ne comprennent pas l'anglais qui est la langue des commentaires du vidéodisque); toute forme d'apprentissage de vocabulaire commence alors par l'utilisation du module d'illustrations. Dans le module d'illustrations, l'élève n'utilise qu'un terme du domaine à la fois. Bien sûr il peut y avoir une forme de raisonnement sur plusieurs termes avant de demander des illustrations, mais nous ignorons ces formes de raisonnements dans le module d'illustrations.

Le module d'interrogation du système par l'élève permet, par contre, de prendre en compte les raisonnements de l'élève. Comme nous l'avons dit au paragraphe I.7. de la partie II de la thèse,

l'intelligence du système d'EIIAO porte sur sa capacité de connaître la pensée (ou le raisonnement) de l'élève. Dans le module d'interrogation du système, **l'élève peut appliquer ses connaissances par la recherche des images**. Rechercher des images dans une banque d'images correspond en fait à utiliser les connaissances acquises (comme les descriptions des images) pour les trouver. Les termes utilisés comme critères de recherche peuvent être analysés par le système pour comprendre ce que veut l'élève. Mais ce module est aussi **un moyen pour l'élève d'acquérir d'autres connaissances**. Les images trouvées en utilisant les termes donnés par l'élève peuvent s'étendre à d'autres termes qui n'auraient pas été donnés par l'élève. Par cela, l'élève pourra découvrir d'autres termes du domaine et leurs contextes.

Que peut faire l'élève dans ce module ?

Il peut rechercher des images en posant une requête. Cette requête doit être une liste de termes. Tous les termes du domaine sont autorisés.

Le système procède à la recherche des images correspondant à la requête par des traitements et des analyses de la requête. Ces analyses sont de niveaux différents.

- A - Le système commence par la normalisation des termes de la requête. Par exemple, changer tous les caractères de la requête en minuscule, insérer les séparateurs. Ce traitement est effectué pour faciliter l'analyse suivante ;
- B - Le système procède ensuite à une analyse lexicale des termes utilisés. Dans cette analyse, le système se fixe un seuil d'erreur lexicographique autorisé. Il peut ainsi, en cas d'erreur lexicographique, remplacer le terme erroné par un autre terme le plus proche lexicographiquement ;
- C - Après l'analyse lexicographique, le système procède à une analyse que nous pouvons considérer comme une analyse sémantique. **Le système considère que tous les termes d'une requête sont associés d'une manière ou une autre**. Puisqu'il n'y a pas de certitude sur la manière d'interpréter une liste de termes donnée par l'élève, nous utilisons un certain nombre d'heuristiques pour cette analyse. Voyons deux de ces heuristiques (toutes les heuristiques appliquées sont données en annexe) :
 - 1) Si tous les termes d'une requête sont associés à des descriptions d'images (c'est-à-dire les termes visibles), alors si ces termes correspondent à des particularités de plusieurs ordres d'oiseaux (dans la classification des oiseaux), la requête peut être considérée comme une recherche de comparaisons entre plusieurs images d'oiseaux. Par exemple si la requête est "*bec long, bec crochu*", puisque tous les termes correspondent à des descriptions d'images et qu'ils correspondent aux particularités des *piscivores* et des

carnivores, nous pouvons considérer la requête comme une recherche de comparaison entre les *piscivores* et les *carnivores*.

- 2) S'il y a des termes conceptuels dans une requête alors les termes visibles de la requête sont considérés comme des précisions des termes conceptuels. S'il existe des termes visibles qui ne constituent pas de précision des termes conceptuels, alors les termes visibles peuvent être considérés comme des erreurs d'associations. Par exemple si la requête est "*piscivore, bec long, bec crochu*", le système considère que *bec long* est une précision de *piscivore*. Puisque *bec crochu* n'est pas une précision de *piscivore*, son inclusion dans la requête est considérée comme une erreur d'association.

Les analyses du système donnent lieu à une nouvelle forme de requête que le système utilise pour la recherche des images. Ensuite, les images trouvées peuvent être visualisées.

Pendant la visualisation des images trouvées en réponse à la requête de l'élève, le système affiche également la requête que l'élève a formulée, la requête que le système a reformulée pour la recherche des images après les analyses précédentes ainsi qu'une forme d'explication qui résulte des analyses faites.

Afin de connaître d'avantage ce que veut l'élève, le système lui offre la possibilité de choisir parmi les images trouvées ou de rejeter celles qui ne correspondent pas à ce qu'il veut.

Une nouvelle analyse peut être à nouveau effectuée sur ces choix pour confirmer ou pour annuler les suppositions faites pendant les premières analyses. Ce que nous faisons dans le prototype est de signaler simplement à l'élève les termes des images qui sont rejetées, les termes des images qui sont choisies et les termes qui figurent dans la liste des images rejetées et dans la liste des images choisies. La liste des termes des images choisies (sauf ceux qui figurent dans la liste des images rejetées) constitue une nouvelle requête. Mais l'élève peut modifier cette requête, par exemple en supprimant des termes de la liste ou en rajoutant d'autres. Le diagramme ci-dessous montre les étapes dans le module d'interrogation du système.

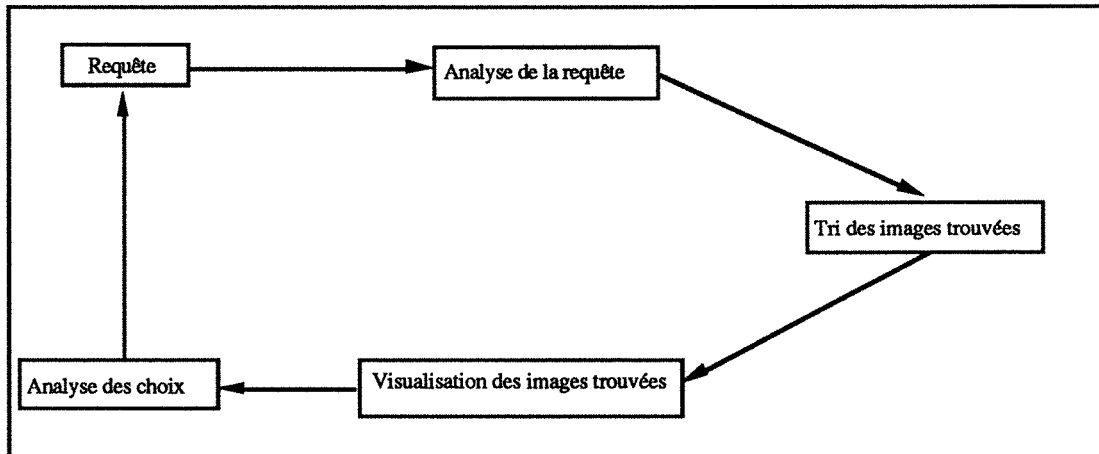


Figure III.4. : Les Etapes dans le Module d'interrogation du système

Le paragraphe suivant présente le module d'assistance pour un élève qui veut créer sa propre base de connaissances ainsi que la base descriptive associée.

I.4.4. Le Module d'aide à la création d'un réseau sémantique et de la base descriptive

Une phase particulièrement intéressante chez l'élève pendant le processus d'apprentissage est celle que l'on peut qualifier de créativité. Nous avons prévu un module dans le système pour assister un élève qui veut appliquer ses connaissances à d'autres objectifs que ceux prévus par le système.

Un élève qui a acquis suffisamment de connaissances peut avoir envie de les sauvegarder. La base de connaissances ainsi créée peut servir à d'autres objectifs. Par exemple, la base créée par un élève peut être utilisée par d'autres élèves. Plus important encore, la base de connaissances peut contenir d'autres connaissances qui n'existaient pas dans le système d'EIIAO. Par exemple, l'élève peut trouver d'autres caractéristiques des oiseaux ou des ordres d'oiseaux qui n'ont pas été précisées dans la base de connaissances.

Pour assister l'élève dans sa tâche d'élaboration de sa propre base de connaissances, nous avons prévu un module d'aide à la création d'un réseau sémantique, la méthode de représentation des connaissances retenue étant le réseau sémantique (cf paragraphe I.5. de cette partie de la thèse). Dans ce module, l'élève a la possibilité de représenter des termes acquis ainsi que des relations entre ces termes.

Puisque le système d'EIIAO est modulaire, l'élève peut changer la base de connaissances prédéfinie pour utiliser celle qu'il a créée lui-même. En utilisant sa propre base de connaissances, le module d'interrogation peut jouer un rôle autre que celui qu'il a joué pendant les autres phases cognitives. Le module d'interrogation peut être utilisé pour valider les connaissances représentées dans la base de connaissances. Cela peut s'effectuer par la recherche des images. Les résultats des analyses de la requête peuvent indiquer à l'élève des connaissances erronées. Par exemple en précisant dans la base de connaissances que *passereau* est équivalence de *hirondelles* alors que c'est l'équivalence de *passeriforme*.

Une autre fonctionnalité de ce module est de permettre à l'élève de rentrer les descriptions des images qu'il veut associer à sa base de connaissances. Les descriptions ainsi créées constituent une nouvelle base descriptive. Donc l'élève peut ainsi apprendre à indexer (ou décrire) des images.

Les quatre modules que nous avons présentés réalisent des tâches pédagogiques. Ils ont pour objectif de favoriser l'apprentissage par leurs fonctionnalités et favorise donc plus particulièrement le processus d'apprentissage des élèves qui ont des idées sur ce qu'il faut apprendre. Mais ce que nous avons présenté n'est qu'un aspect de la pédagogie. Par exemple, nous n'avons pas présenté les scénarios.

I.5. Le Module du Domaine

Un système d'EIIAO nécessite deux types de connaissances pour s'adresser à un domaine particulier :

- les connaissances sur les images utilisées ;
- les connaissances sur les termes du domaine et les relations entre eux.

Ces deux types de connaissance constituent deux bases de connaissances du domaine dans le système d'EIIAO.

Dans les deux paragraphes suivants, nous présentons les deux bases de connaissances de notre système d'EIIAO et nous développons également les utilisations que nous en faisons.

I.5.1. Les connaissances sur les Images utilisées - La Base Descriptive

Tous les dialogues ainsi que tous les raisonnements dans le système d'EIIAO se réfèrent aux images utilisées. Ces images sont stockées sur un vidéodisque. Elles sont analogiques contrairement aux images numériques. Nous ne cherchons pas à reconnaître les images par des moyens informatiques (reconnaissance des formes), cela correspond à un autre domaine de recherche d'application des mécanismes de l'IA.

Les images du vidéodisque nous servent de moyen d'observation, moyen d'illustrations et moyen de raisonnement. Nous avons donc besoin des connaissances sur la manière dont les images sont organisées sur le vidéodisque. Nous devons savoir par exemple:

- les espèces d'oiseaux stockées sur le vidéodisque,
- les séquences d'images pour chaque espèce,
- les séquences sur chaque illustration,
- les images types de chaque espèce pour la décrire,
- les descriptions de chaque espèce,
- les descriptions de chaque image servant d'illustration,
- etc.

Les termes utilisés dans cette base de connaissances servent de base pour le raisonnement dans le système et pour la recherche des images. Les termes utilisés constituent pour nous des éléments de connaissances dans le domaine ornithologique.

Nous distinguons deux types d'éléments de connaissances (ou termes) :

- les termes visibles sur les images ; et
- les termes non visibles.

Les termes visibles constituent ce que nous considérons comme des connaissances factuelles. Ils correspondent aux objets visibles sur les images. **Les termes non visibles sont considérés comme des connaissances conceptuelles.** La répartition de certains termes en connaissances factuelles ou en connaissances conceptuelles dépend du contexte d'utilisation du terme (cf le paragraphe sur le modèle de l'élève, partie II).

I.5.2. Les Termes du Domaine et les Liens entre eux

Notons que nous avons dit qu'il faut deux types de connaissances du domaine dans un système d'EIIAO :

- les connaissances sur les images, constituent la base descriptive que nous avons présentée au paragraphe précédent ;
- les connaissances sur les termes du domaine et les liens entre eux.

Les connaissances sur les images forment une partie des connaissances du domaine. Mais la base descriptive ne met pas en évidence, d'une manière explicite, les relations qui peuvent exister entre les termes. Et de plus, la base descriptive recouvre d'autres types de connaissances que les connaissances du domaine, comme l'organisation du vidéodisque.

Ce paragraphe porte sur les connaissances du domaine, les termes utilisés et les relations qui existent entre eux. Les connaissances de cette base nous servent principalement d'objets de raisonnement mais elles sont également utilisées pour des illustrations.

Catégories de connaissances du domaine

Nous avons besoin de trois catégories de connaissances dans le domaine ornithologique pour parvenir à notre objectif pédagogique. Ces catégories constituent ce que nous appelons le contexte du domaine. Les catégories de connaissances sont :

- les connaissances sur la morphologie des oiseaux ,
- les connaissances sur leurs nourritures ,
- les connaissances sur leurs modes de déplacement.

Il y a d'autres contextes du domaine comme

- la reproduction ,
- la défense ,
- la migration ,
- la nidification ,
- l'habitat ,
- etc...

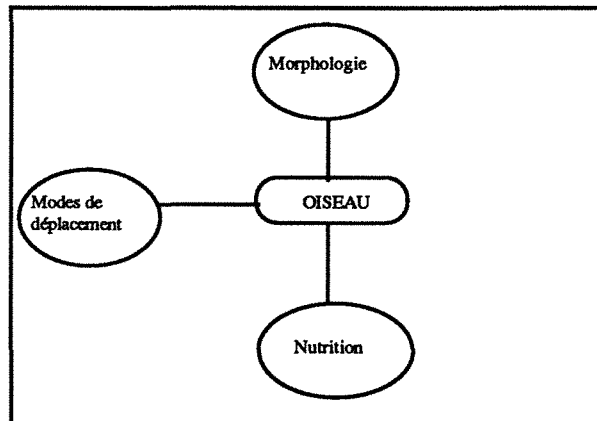


Figure III.5. : Les Catégories de Connaissances nécessaires à l'Objectif Pédagogique

Mais nous nous sommes limité aux trois catégories qui sont présentées dans le diagramme ci-dessus. Pour chaque oiseau du vidéodisque, nous nous sommes intéressé à sa morphologie, ses nourritures et ses modes de déplacement. L'objectif de la réalisation, afin de parvenir à l'objectif pédagogique, est de montrer les relations qui existent entre les catégories de connaissances, comme le montre le diagramme ci-dessous.

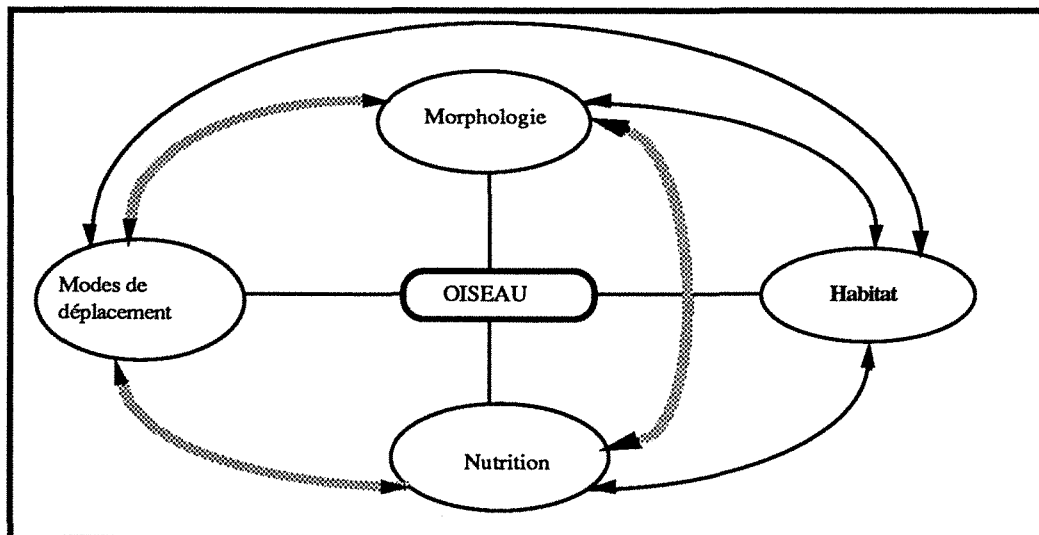


Figure III.6. : Les Catégories de Connaissances du Domaine et les Liens entre eux

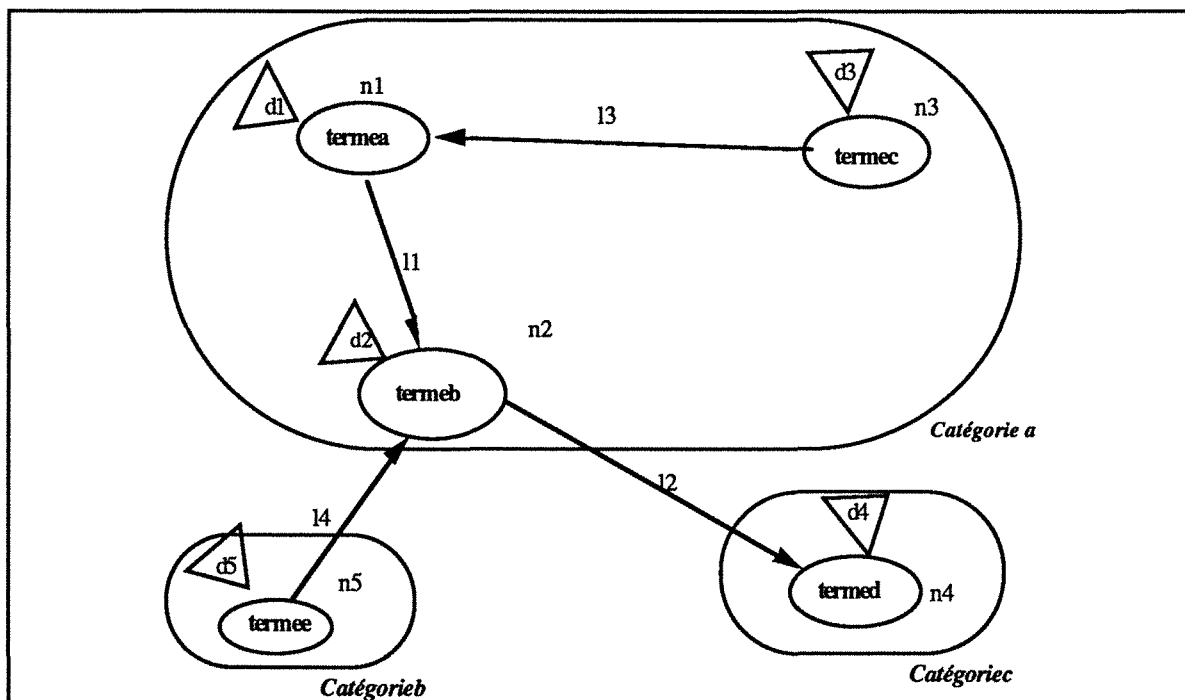
Mais en fait, la morphologie et les modes de déplacement des oiseaux sont déterminés par leurs habitats naturels. Et leurs nourritures sont à leur tour déterminées par leur morphologie et les milieux naturels où ils vivent. Par exemple, un oiseau qui vit naturellement dans des milieux marécageux a besoin de pattes longues, d'un bec long et d'un cou long. Les nourritures sont évidemment trouvées dans les milieux d'habitation. Les oiseaux de ces milieux ont besoin de pattes

longues pour pouvoir se déplacer. Ils ont besoin aussi d'un cou long pour éventuellement capturer des nourritures enfouies dans l'eau. Les becs longs servent aussi à la capture de nourriture.

Puisque toutes les catégories de connaissances dépendent de l'habitat, nous pensons que le fait que les images des oiseaux du vidéodisque aient été prises dans les milieux naturels de ces oiseaux est pour nous un avantage considérable. Car si l'élève parvient à associer les oiseaux à leurs milieux naturels, cela lui permettra de déduire sa morphologie extérieure. Pourtant nous n'avons pas représenté les connaissances sur les habitats (c'est-à-dire les relations entre les habitats et les autres catégories de connaissances) dans la base de connaissances du domaine. Nous pensons que les images du vidéodisque, le module d'observation et le module d'illustrations suffisent pour transmettre les connaissances sur les habitats et leurs liens avec les autres catégories de connaissances.

Nous avons concentré notre effort sur la représentation des connaissances sur la morphologie, la nutrition et le déplacement des oiseaux. Dans le reste de ce paragraphe, nous explicitons chacune de ces catégories de connaissances ainsi que leur représentation. Nous terminons le paragraphe par une vue d'ensemble des trois catégories de connaissances.

La structure de représentation que nous avons adoptée pour le réseau sémantique (employée pour représenter les connaissances du domaine) est la suivante.



Les nœuds représentent les termes (ou concepts) du domaine (ex: *termea*, *termeb*, ...). A chaque concept est associé un ensemble de descriptions (ex: *d1*, *d2*, ...) et un niveau d'abstraction (ex: *n1*, *n2*, ...). La description d'un concept peut être, par exemple, son contexte et son niveau d'abstraction.

Les arcs représentent les liens (ou relations) entre les concepts (ex: *l1*, *l2*, ..). Les arcs sont orientés.

Dans un même contexte (ou catégorie de connaissances), un concept à la fin d'un arc est d'un niveau d'abstraction inférieur à celui du début. Par exemple *termea* est d'un niveau d'abstraction inférieur à *termec*. Des relations peuvent exister entre des concepts de contextes différents et de niveau d'abstraction quelconque. Par exemple *termee* peut être du même niveau que *termeb*. Un concept peut être en relation avec un nombre quelconque d'autres concepts.

Chaque nœud correspond à une instanciation de la classe OPS5 appelée **concept**. Les liens sémantiques implantés sont les liens *exemples*, *équivalences* et *particularités*.

Voyons maintenant chacune des catégories de connaissances et comment nous les représentons.

I.5.2.1. La morphologie des oiseaux

Nous avons pris la classification habituelle des oiseaux selon leur morphologie [DEJ83, CUI81] comme critère de représentation de notre connaissance sur la morphologie des oiseaux.

Le concept principal de cette catégorie de connaissances est "oiseau" avec des exemples et ses particularités par rapport aux autres types d'animaux. Le concept oiseau regroupe plusieurs ordres d'oiseaux. Et à chaque ordre, à son tour, correspondent plusieurs espèces d'oiseaux. Le diagramme suivant présente les concepts par leurs niveaux d'abstraction.

Dans les diagrammes suivants, les niveaux d'abstraction des concepts sont donnés en chiffres. Par exemple dans le diagramme suivant, le niveau d'abstraction du concept oiseau est 1 (le

concept le plus abstrait), et le concept héron-cendré a un niveau d'abstraction 3 (le concept le moins abstrait dans le schéma).

Les espèces forment le niveau le plus bas et le concept oiseau forme le niveau le plus haut. Un concept d'un niveau inférieur à un autre partage les particularités de tous les concepts supérieurs à lui sauf pour les particularités re-spécifiées dans le concept de niveau inférieur. Par exemple, une espèce d'oiseau partage toutes les particularités de l'ordre auquel il appartient. Les ordres de la classe oiseau partagent eux-aussi les particularités de la classe oiseau sauf pour les particularités re-spécifiées. Mais il faut noter que nous n'avons pas abordé plus spécialement le problème d'héritage de propriété car nous n'avons pas besoin dans un premier temps de mettre en œuvre tous les concepts d'héritage de propriétés.

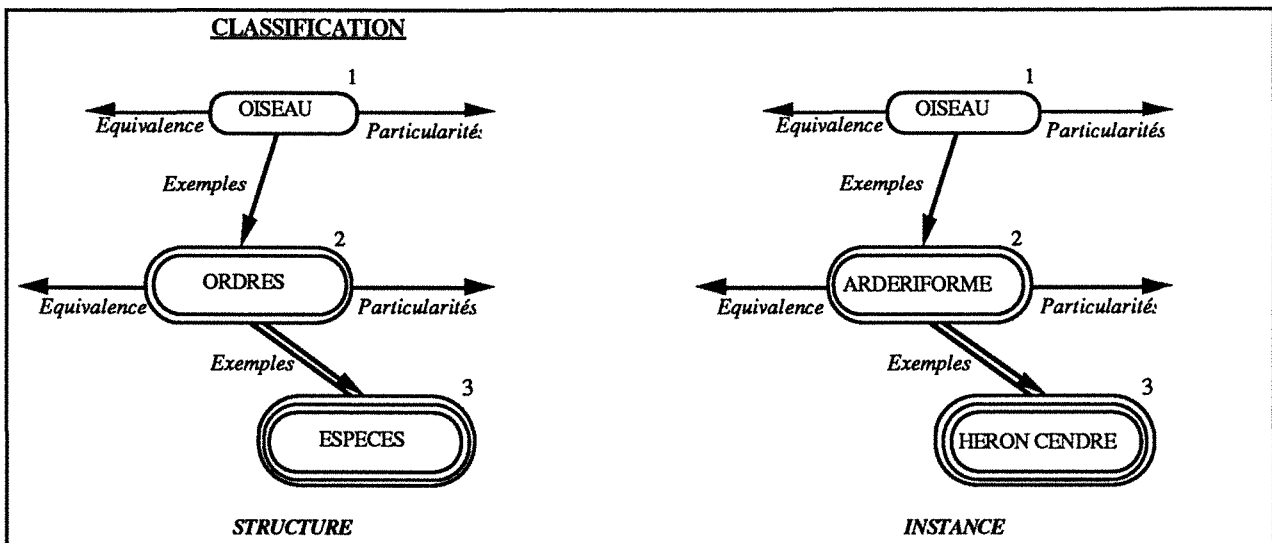


Figure III.7. : Classification des Oiseaux par la Morphologie

Nous avons représenté les équivalences de chaque élément de cette catégorie de connaissances car il se peut que les termes équivalents soient plus connus que les termes scientifiques du domaine.

I.5.2.2. La nutrition des oiseaux

Les aspects de la nutrition des oiseaux qui nous concernent sont :

- les nourritures des oiseaux ;
- les modes de capture ;

- les modes de consommation.

Nous nous sommes intéressé uniquement aux aspects de la catégorie visibles sur les images. Nous avons pris la classification des oiseaux selon leurs modes de nourriture comme critère de représentation. Comme le montre le diagramme suivant, il y a plusieurs modes de nourriture. Et chaque mode est formé de types de modes de nourritures (ou régime alimentaire). Les types de modes sont de niveau inférieur aux modes de nourriture.

Pour chaque concept de cette catégorie de connaissance, nous avons représenté son équivalence et ses particularités. Mais nous ne sommes pas obligé de préciser une équivalence si elle n'existe pas. Et nous ne sommes pas non plus obligé de donner les particularités des concepts si nous ne les jugeons pas indispensables.

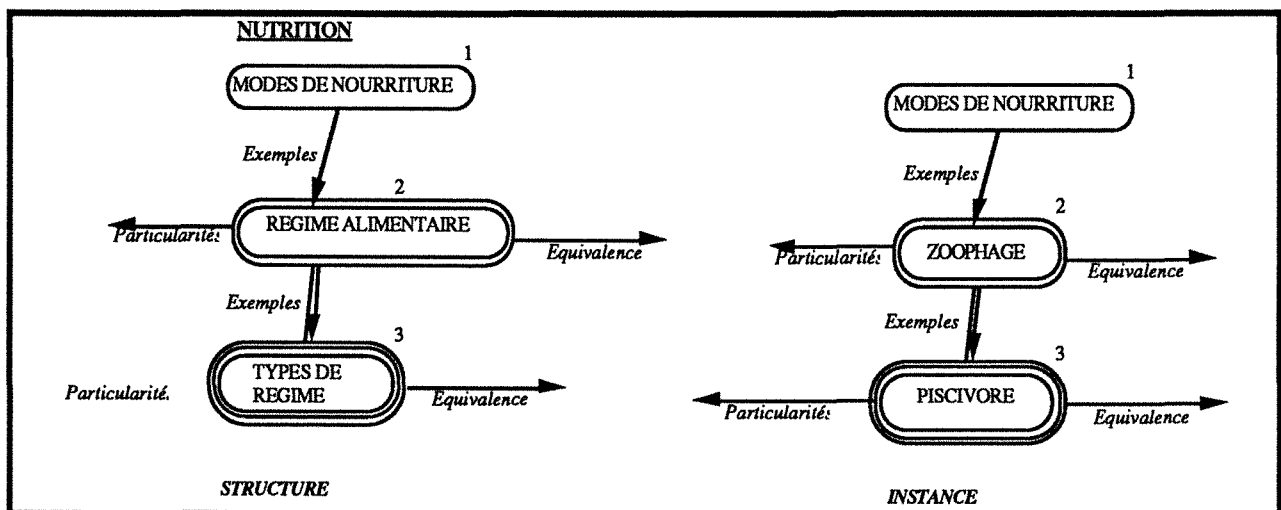


Figure III.8. : Les concepts dans les modes de nourritures

I.5.2.3. Les modes de déplacement

Une particularité des oiseaux qui les différencie des autres types d'animaux est le fait qu'ils volent (sauf quelques uns). Comme pour les autres types d'animaux, les oiseaux se déplacent pour se protéger et pour trouver leurs nourritures. Ils ont donc développé une morphologie bien adaptée à ces fonctions. Bien souvent, les modes de déplacement sont développés pour favoriser une méthode particulière de consommation de nourriture. Par exemple, certains oiseaux nagent sous l'eau, ou plongent pour attraper des poissons. Certains peuvent faire du vol sur place pour aspirer le nectar des fleurs.

Nous nous sommes donc intéressé aux modes de déplacement des oiseaux pour les utiliser dans le module d'illustrations. Nous avons représenté les connaissances de cette catégorie de connaissances sur trois niveaux de concepts (comme le montre le diagramme suivant). Les concepts inférieurs (les types de modes) correspondent aux termes utilisés pour les illustrations.

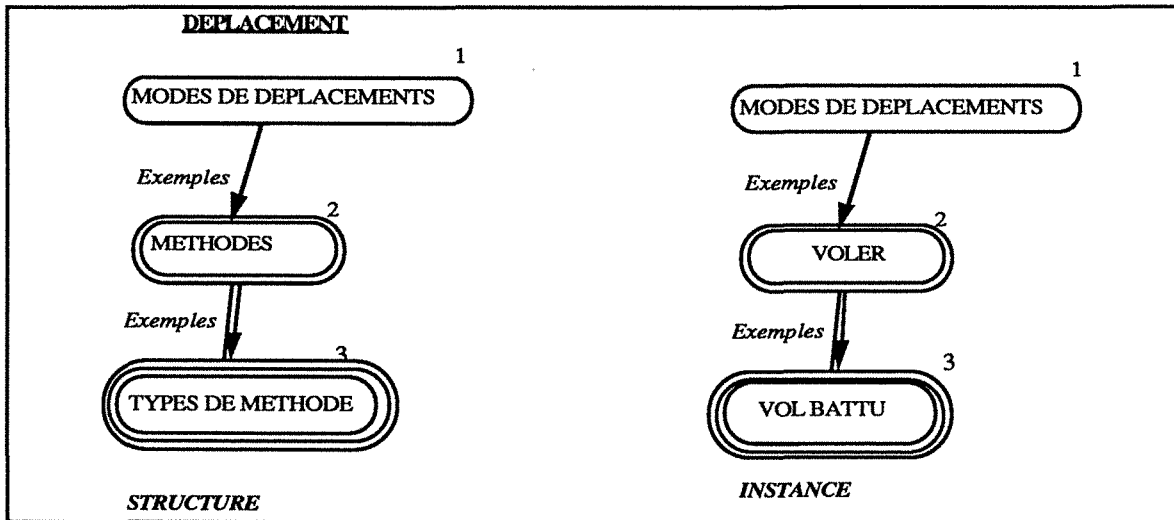


Figure III.9. : Les concepts dans la catégorie des modes de déplacement

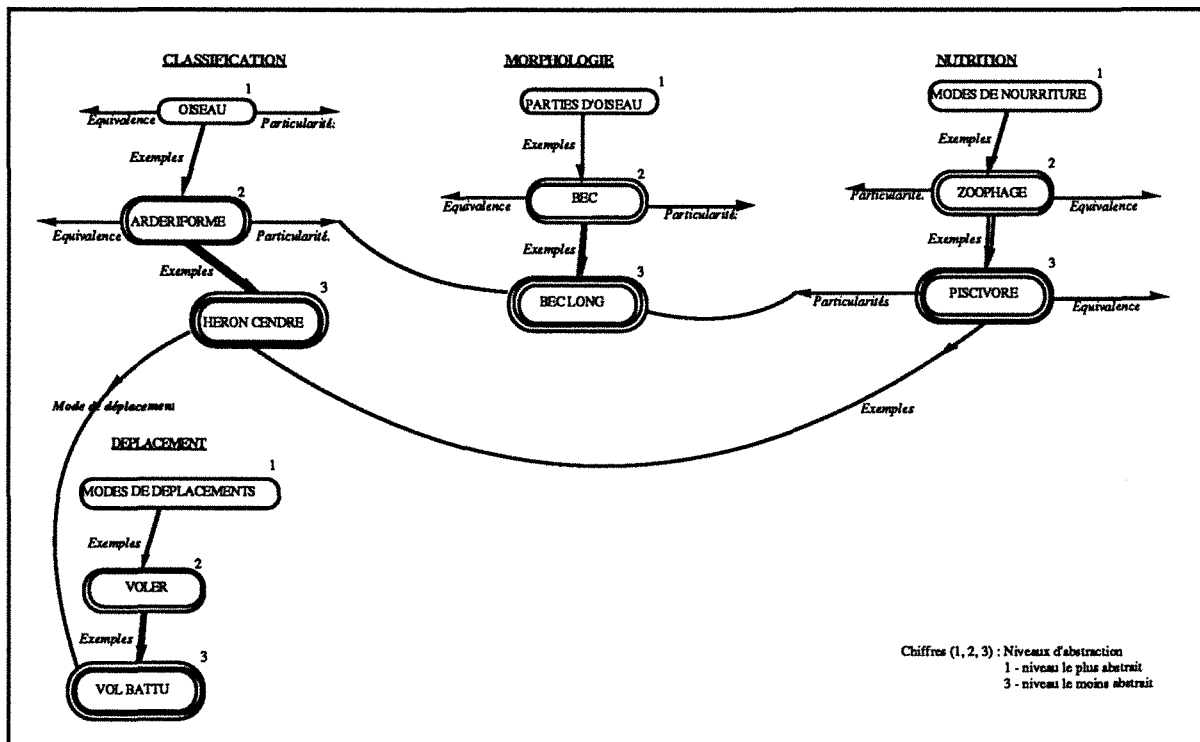


Figure III.10. : Le Réseau Sémantique

Si, au cours de l'utilisation du module d'illustrations, l'élève veut des illustrations sur le mode de déplacement "voler", le système lui montrera les types de vol qui existent dans le système et l'élève peut préciser le type de vol qu'il désire voir.

I.6. Le Module de l'Elève

Le module de l'élève a pour objectif de représenter le modèle de l'élève et de l'exploiter dans le but d'aider l'élève pendant le processus d'apprentissage, et de fournir un moyen de suivre l'évolution cognitive de l'élève. Le modèle que nous avons implanté dans le prototype a été longuement développé au chapitre III de la deuxième partie de cette thèse. Le modèle a pour constituants les éléments suivants :

(R, A, F, C, E, N)

où

R : représente les références personnelles,

A : représente les activités de l'élève et la date de la session,

F : représente les connaissances factuelles,

C : représente les connaissances conceptuelles,

E : représente les types d'erreurs,

N : représente les niveaux d'habitudes évocatives.

Ce modèle est représenté, dans le prototype, par une classe OPS5 et il est géré par un moniteur de l'élève. Le moniteur de l'élève est présenté dans le paragraphe suivant.

I.7. Le Moniteur de l'Elève

Le moniteur de l'élève évalue constamment l'état de l'élève (c'est-à-dire les valeurs des attributs de la classe du modèle de l'élève). Le moniteur a deux rôles à jouer :

- 1) il peut être utilisé pour définir l'adaptation voulue du système (cf paragraphe III.4.2. de la partie II de la thèse). Par exemple, si nous voulons que le système soit adapté aux performances de l'élève (c'est-à-dire privilégier les connaissances à acquérir au gré de

- l'évolution naturelle et libre de l'élève), nous pouvons imposer, par le moniteur de l'élève, que toutes les erreurs soient corrigées avant de continuer le déroulement du système;
- 2) il peut être utilisé pour la détermination des types de scénarios à proposer à l'élève.

Dans le prototype nous utilisons le moniteur principalement pour déterminer les types de scénarios à proposer à l'élève. Les critères pour la détermination du type de scénario à proposer sont

- les types de connaissances utilisées par l'élève ;
- les types d'erreurs commises ;
- les niveaux d'habitudes évocatives que l'élève emploie.

Pour faciliter la tâche du moniteur, les scénarios sont classés en trois catégories. Le moniteur évalue la catégorie de scénarios appropriée et ensuite en propose (scénario) à l'élève. Nous reviendrons sur ces catégories de scénarios et comment elles sont choisies dans le chapitre III de cette partie de la thèse.

Voici un exemple :

Si en cours d'utilisation du système, l'élève privilégie l'utilisation du module d'illustrations (ce que le moniteur peut savoir par les valeurs du paramètre N du modèle), et qu'il commet beaucoup d'erreurs lexicographiques, alors lui proposer des scénarios de la catégorie NV1 qui concernent le vocabulaire du domaine mais qui portent plus précisément sur les termes descriptifs (c'est-à-dire les termes visibles sur les images).

Au lieu de déterminer une adaptation particulière pour le système, nous avons construit le système pour une adaptation que nous pouvons appeler mixte. Quand l'élève est dans la phase d'abstraction élémentaire, nous l'obligeons à corriger toutes ses erreurs lexicographiques. Par contre, quand il est au niveau de symbolisation ou de raisonnement, nous signalons simplement les erreurs commises (les erreurs lexicographiques et les erreurs d'association).

Les interfaces que nous avons définies pour le prototype sont présentées dans le paragraphe suivant.

I.8. Les Interfaces

Dans ce paragraphes, nous présentons les modules qui assurent les interfaces entre l'élève et le système. Il s'agit en fait des moyens de communication pour l'élève avec le système et les moyens de présentation d'informations par le système. Nous allons présenter quatre modules d'interfaces. Ces interfaces sont

- le gestionnaire d'écran ,
- le gestionnaire de menu ,
- le système d'incrustation ,
- le système de pilotage du vidéoprojecteur.

I.8.1. Le gestionnaire d'écran

Le gestionnaire d'écran

- permet d'afficher les descriptions des opérations possibles à un instant donné pendant le déroulement du système ;
- permet d'afficher les touches de clavier correspondant aux opérations ;
- fournit les moyens de saisie des données sur l'écran ;
- fournit les moyens de visualiser des pages de textes ;
- etc.

Sur les machines qui n'ont pas de souris, le gestionnaire d'écran permet d'afficher les descriptions des opérations et les touches de clavier associées. En appuyant sur une touche correspondant à une opération, l'opération est exécutée. Nous avons développé une bibliothèque de fonctions qui permettent de définir des écrans - par exemple, où positionner l'écran, quelle couleur utiliser, encadrement des zones de l'écran, etc.

Nous avons développé également des fonctions qui facilitent la saisie des données sur l'écran. Des zones de saisies peuvent être définies. Les valeurs de types entier, de type réel et de type chaîne de caractères peuvent être ainsi précisées. Pour des chaînes de caractères qui sont relativement longues, nous avons défini un mini éditeur de texte qui permet de supprimer un caractère, d'insérer des caractères, couper une ligne, coller deux lignes, etc. Cet éditeur est nécessaire par exemple pour la présentation d'une requête et pour sa modification. Pendant la saisie des données, l'élève a la possibilité de tout annuler (c'est-à-dire annuler la commande de saisie).

I.8.2. Le gestionnaire de menu

L'utilisation du clavier est une tâche difficile pour les non informaticiens. Nous avons cherché à faciliter la tâche d'entrée des commandes par l'élève. Donc, sauf pour des raisons pédagogiques, nous évitons d'utiliser le clavier pendant le déroulement du système.

Pour parvenir à cette tâche, nous avons défini un gestionnaire de menu. A tout instant, l'élève peut passer ses commandes par l'utilisation de la souris. En appuyant sur un bouton de la souris, la liste des opérations s'affiche sur l'écran. L'élève peut glisser la souris sur l'opération désirée et l'opération sélectionnée est exécutée.

Le gestionnaire d'écran et le gestionnaire de menu concernent l'affichage d'information textuelle. Nous avons développé des modes d'affichage simultanés des informations textuelles avec les images du vidéodisque. Pour cela, nous avons développé un système d'incrustation, que nous présentons dans le paragraphe suivant.

I.8.3. Le système d'incrustation

Il y a deux configurations possibles pour un système d'EIIAO. La première consiste à ne pas utiliser un système d'incrustation.

Par cette configuration, les informations textuelles et graphiques sont présentées sur le moniteur de l'ordinateur et les images du vidéodisque sont présentées sur le téléviseur. Cette configuration n'est pas convenable dans notre contexte de travail. Par exemple, si nous voulons placer des termes descriptifs sur certains endroits de l'image, nous ne pouvons pas le faire. Nous avons donc développé un système d'incrustation qui permet d'utiliser uniquement le téléviseur pour afficher les images du vidéodisque en même temps que des informations textuelles ou graphiques.

I.8.4. Le système de pilotage du vidéodisque

Le gestionnaire d'écran, le gestionnaire de menu et le système d'incrustation concernent la présentation d'informations. Une autre interface que nous avons développée est le système de pilotage du vidéolecteur. Les fonctionnalités de ce système ont été longuement présentées au paragraphe I.4.1. de cette partie de la thèse. Le système permet

- de rechercher une image par son numéro sur le vidéodisque ;
- de rechercher un chapitre ;
- de dérouler les séquences du vidéodisque en avant ou en arrière ;
- de sélectionner zéro, un, ou deux pistes de son (appelé audio) ;
- d'afficher ou de supprimer les numéros d'images et de chapitres pendant le déroulement des séquences d'images ;
- etc.

Nous avons développé tous les modules d'interfaces par nous-mêmes car les produits disponibles dans le commerce sont tous fermés, c'est-à-dire que nous n'avons pas les programmes sources et que nous ne pouvons pas les intégrer à d'autres programmes écrits en d'autres langages. Par exemple, des gestionnaires d'écran que nous avons trouvés dans le commerce ne permettent pas d'intégrer d'autres fonctionnalités ou d'autre programmes.

I.9. Conclusion

Nous avons essayé par notre prototype BIRDS de réaliser les concepts définis par l'architecture que nous avons adoptée. Rappelons les concepts principaux de cette architecture:

- A - l'utilisation poussée de l'image : l'image est utilisée aussi bien pour les modules pédagogiques que pour la représentation de l'élève, c'est-à-dire le modèle de l'élève ;
- B - permettre une évolution naturelle de la progression par les niveaux d'habitudes évocatrices de l'élève - le niveau d'observation, le niveau d'abstraction élémentaire, le niveau de raisonnement et le niveau de créativité ;
- C - fournir un moyen de dialogue qui permet à l'élève de créer et de modifier ses modèles de connaissances - ce que le processus EXPRIM permet de réaliser.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons rencontré de nombreuses difficultés dont nous présentons quelques unes ici.

- (1) Les images utilisées n'ont pas été créées pour des fins pédagogiques. Le vidéodisque que nous avons utilisé a été fait par un journaliste qui s'intéresse plus aux contenus informatifs que pédagogiques. Il nous a fallu des heures, voire des jours pour repérer et pour décrire les

images du prototype, car les images fixes ne donnent pas la même qualité de résolution que lorsqu'elles sont observées en séquence.

Nous pensons donc qu'une étude peut être faite sur la manière d'organiser et de fabriquer les images sur le vidéodisque pour faciliter la réalisation des objectifs pédagogiques avec ces images.

- (2) Une autre difficulté que nous avons rencontrée a été la définition de la représentation des connaissances du prototype. Etant donné que le prototype est réalisé sur un micro-ordinateur, il fallait parvenir à un compromis entre la rapidité d'accès aux informations et la place mémoire occupée par ces informations.

Nous pensons qu'il faut approfondir les méthodes de représentation dans le contexte d'une réalisation pédagogique. Les natures des informations sont diverses ainsi que leurs utilisations.

- (3) Nous avons eu beaucoup de difficultés avec les matériels utilisés. Les matériels ne respectent pas les normes de communication. Par exemple, il a fallu reconfigurer le câble RS232 pour piloter le vidéodisque par le PC. Mais avant de s'apercevoir qu'il fallait changer la configuration, nous avons passé des jours à essayer de localiser les erreurs.
- (4) Il nous a manqué beaucoup d'outils de développement. Pour des raisons commerciales, les produits de développement que nous avons trouvés étaient fermés. Nous avons voulu récupérer uniquement les fonctions d'un gestionnaire d'écran (uniquement les fonctions qui sont indispensables pour nous), mais on nous a livré uniquement le programme exécutable. Nous avons eu le même type de problème avec les programmes de pilotage du vidéodisque. Nous avons donc été amené à développer la plupart des outils de développement par nous-même.

Certaines difficultés dépassent le cadre des laboratoires, par exemple le respect des normes et la fabrication des matériels plus adaptés au monde de l'EAO. Mais le problème de la fabrication des outils de développement peut être abordé par les laboratoires de recherche en EAO. En pensant aux outils de développement, nous ne parlons pas des systèmes auteurs, mais des outils pour les informaticiens.

Nous avons pu résoudre un certain nombre de difficultés par notre collaboration avec des professeurs qui sont directement impliqués dans le domaine de notre travail. Il nous paraît donc souhaitable de constituer une équipe de réalisation pluridisciplinaire composée notamment d'informaticiens et de pédagogues.

CHAPITRE II

LE PROTOTYPE - SA RÉALISATION

Dans ce chapitre, nous présentons le système à base de connaissances utilisé pour la réalisation de notre prototype BIRDS. Nous présentons également la représentation de chaque base de connaissances et leur exploitation. Les méthodes de saisie des données et l'utilisation des menus y sont également présentées. Nous commençons par la présentation d'OPS5+, le système à base de connaissances utilisé.

II.1. OPS5+ - le système à base de connaissances utilisé

Le choix d'OPS5+ comme le noyau ou générateur de système à base de connaissances a été fait pour l'une des premières versions du projet EXPRIM. Mais nous avons continué la réalisation de notre maquette avec ce langage car il nous a paru correspondre à ce que nous désirons faire.

OPS5+ est un langage pour la génération de systèmes à base de connaissances ou de systèmes experts. C'est la version d'OPS5 sur PC que nous avons utilisée pour le prototype.

Des applications de grande importance ont été développées avec le langage OPS5. Par exemple R1/XCON et XSEL relatives à la configuration et à la vente de matériel informatique, ou PTRANS pour la gestion d'un atelier [McDER82, HALE83]. Ces applications ont été développées sur des ordinateurs "main frames" comportant plusieurs milliers de règles chacune et elles sont commercialement exploitées [FAR86].

Le langage comporte

- un interpréteur de commandes ,
- un moteur d'inférence ,
- un environnement de développement.

Il permet de travailler en deux modes : en mode développement et en mode exécution. En mode développement, le réalisateur est mis dans un environnement de programmation. Il peut tester

des règles, exécuter des règles pas à pas etc. En mode exécution, le réalisateur appelle uniquement le moteur d'inférence du langage et l'interpréteur de commandes avec une base de règles comme paramètre. Dans les deux modes d'utilisation, l'interpréteur de commandes exécute les commandes données par le réalisateur en ligne.

Caractéristiques du langage

Le langage permet de définir une base de faits et une base de règles. Dans le reste du paragraphe, nous allons présenter :

- les structures des faits ;
- la structure des règles ;
- le fonctionnement du moteur d'inférence ;
- et terminer par des avantages et des difficultés du langage.

II.1.1. Les structures des faits

Il y a deux structures principales pour la représentation des faits en OPS5 : la *liste* et la *classe*.

Une liste en OPS5 est composée d'un certain nombre d'éléments (appelés atomes). Par exemple (*David Nigéria informatique 35*). Les atomes peuvent être numériques (comme 35) ou symboliques (comme *David, Nigéria*).

Une classe OPS5 est composée d'un nom et d'un ensemble d'attributs. Les classes doivent être déclarées. Un exemple de déclaration est le suivant :

```
(literalize   étudiant
              nom
              pays
              discipline
              âge
              enfants)
```

literalize est un mot clé pour la déclaration des classes. Le nom de la classe est *étudiant*. La classe est constituée de cinq attributs : *nom*, *pays*, *discipline*, *âge* et *enfants*. Les valeurs de ces

attributs peuvent être numériques, symboliques ou listes. Mais une classe ne peut avoir qu'un attribut à valeur type liste. Les éléments de la liste peuvent être, numériques ou symboliques.

Les faits sont manipulés par les règles du langage. La structure de ces règles est présentée au paragraphe suivant.

II.1.2. La structure des règles

Un règle OPS5 est formée de deux parties : une partie conditions et une partie actions. La structure est souvent représentée comme

(LHS
 -->
 RHS)

où

LHS représente des conditions et
RHS représente des actions,
les deux parties séparées par "-->".

LHS définit le nom de la règle et les conditions de cette règle. Par exemple dans

(P r1
 partie conditions
 -->
 RHS)

P définit le nom de la règle qui est dans cet exemple *r1*.

La partie conditions définit les conditions qui doivent être satisfaites avant d'exécuter les actions. Les conditions définissent des filtres sur les éléments de la base de faits. Les conditions comprennent éventuellement :

- un nom d'une classe (qui doit être en tête de la liste s'il est précisé) ,
- des attributs précédés du caractère ^ : par exemple ^nom ,

- des variables précédées de "<" et suivies de ">" : par exemple <x> ,
- des relations algébriques (=, <, >, <>, etc) entre les variables et des valeurs, ainsi que des conjonctions ou des disjonctions de ces relations.

Par exemple, une condition peut être spécifiée comme

(étudiant, ^nom <x> ^age {<n> > 36} ^pays << Nigéria France >>)

La condition filtre tout fait de la classe *étudiant*, avec un âge supérieur à 36, qui a comme pays le *Nigéria* ou la *France*. La variable <x> est instanciée par la valeur de l'attribut *nom* et la variable <n> est instanciée par la valeur de l'attribut *age*.

Plusieurs conditions peuvent être spécifiées. Des conditions négatives peuvent être spécifiées également (c'est-à-dire, des conditions qui ne doivent pas être satisfaites). Par exemple

-(étudiant david)

signifie que la règle ne sera exécutée que s'il n'existe pas un fait de la classe *étudiant* avec un nom *david*.

Voyons un exemple d'une règle partielle

(p r1

(étudiant, ^nom <x> ^age {<n> > 36} ^pays << Nigéria France >>)

-(étudiant david)

-->

RHS)

Cette règle ne sera exécutée que si les conditions sont satisfaites comme expliqué ci-dessus. Le filtrage des conditions d'une règle s'arrête dès qu'il y en a une qui n'est pas satisfaite. Si toutes les conditions sont satisfaites, les actions peuvent être effectuées.

La partie actions d'une règle est composée d'un ensemble d'actions. Une action est définie par un nom d'action à effectuer suivie d'un certain nombre de paramètres. Par exemple

(make étudiant david nigéria informatique)

est composée de l'action *make* (qui crée des faits) et les paramètres *étudiants*, *david*, *nigéria* et *informatique* (qui constituent les éléments de la liste d'un fait à créer). (cf [BRO86] pour plus de précision sur la définition des règles et les classes d'OPS5+).

Les faits de la base de connaissances sont stockés dans une mémoire de travail. Les éléments de cette mémoire reflètent l'état du système. Des faits peuvent être rajoutés ou supprimés. Donc le langage est non monotone. Seules les actions des règles ou des commandes peuvent modifier le contenu de la mémoire.

Mais il y a des actions qui ne modifient pas la mémoire de travail. Elles sont appelées "*fonctions*". Les actions qui modifient la mémoire s'appellent "*actions*". Les fonctions ou les actions peuvent être définies par le réalisateur.

Remarquons que dans les systèmes à base de connaissances, les connaissances peuvent être représentées par des faits ou par des règles. Les connaissances qui sont de type déclaratif peuvent être représentées par des listes ou par des classes en OPS5+. C'est ce principe que nous avons adopté dans notre maquette.

Les connaissances de type procédural peuvent être représentées par des règles de production. Le principe adopté dans notre maquette est de représenter toutes les connaissances de l'expert du domaine (par exemple comment interpréter des requêtes de l'élève) et celles du moniteur de l'élève (par exemple comment interpréter un état de l'élève) par des règles.

II.1.3. Le fonctionnement du moteur d'inférence

C'est le moteur d'inférence qui effectue les filtrages de la partie conditions et les actions d'une règle. En fait, le moteur d'inférence d'OPS5 exécute trois actions qui constituent un cycle d'exécution. Un cycle d'exécution du moteur d'inférence est composé :

- d'actions de filtrage des conditions ,
- de sélection d'une règle qui satisfait toutes ses conditions ,
- d'exécution des actions de la règle sélectionnée.

Il se peut qu'il y ait plusieurs règles exécutables. Dans ce cas, le moteur d'inférence choisit une règle selon une stratégie de sélection - ce qui s'appelle une stratégie de résolution de conflit.

Trois méthodes de résolutions de conflits sont disponibles en OPS5. Ses méthodes de résolutions sont

- LEX ,
- MEA ,
- L'attribution des priorités aux règles.

Les deux premières méthodes sont prédéfinies dans le langage. Le réalisateur peut choisir une des méthodes. La troisième méthode consiste à définir soi-même des priorités pour les règles.

Voyons les principaux critères de sélection des règles pour les deux premières méthodes.

Pour la stratégie LEX,

- le système sélectionne les règles qui contiennent les conditions les plus récemment créées ou modifiées ;
- ensuite, il sélectionne parmi les règles résultant de la première sélection, celles qui sont les plus pertinentes : c'est-à-dire les règles avec le plus de conditions satisfaites.

Il ne peut y avoir plus qu'une règle exécutable après la deuxième sélection sauf s'il y a des règles redondantes, par exemple, les règles qui sont dupliquées.

Pour la stratégie MEA,

- le système sélectionne les règles dont les premières conditions sont les plus récemment modifiées ou créées ;
- s'il y a plusieurs règles sélectionnées, alors, parmi celles-ci, le système sélectionne les règles dont la deuxième condition est le plus récemment modifiée ou créée. S'il y a encore plusieurs règles, le système continue la sélection avec la troisième condition, avec la quatrième, etc.

Exemple

Prenons les règles suivantes :

(p r1
 (d)
 (b)
 (c)
 -->
 (write r1))

(p r2
 (c)
 (d)
 -->
 (write r2))

(p r3
 (a)
 (b)
 (c)
 -->
 (write r3))

Prenons les faits suivants :

- 1: a
- 2: b
- 3: c
- 4: d

Avec la stratégie LEX, l'ordre d'exécution des règles est le suivant

- r1 : (4, 2, 3)
- r2 : (3, 4)
- r3 : (1, 2, 3)

Avec la stratégie MEA, l'ordre d'exécution des règles est le même

r1 : (4, 2, 3)

r2 : (3, 4)

r3 : (1, 2, 3)

Mais rajoutons le fait

5: (c)

L'ordre d'exécution des règles dans le cas de la stratégie LEX devient

r1 : (4, 2, 5)

r2 : (5, 4)

r3 : (1, 2, 5)

r1 : (4, 2, 3)

r2 : (3, 4)

r3 : (1, 2, 3)

Dans le cas de la stratégie MEA, l'ordre devient

r2 : (5, 4)

r1 : (4, 2, 5)

r1 : (4, 2, 3)

r2 : (3, 4)

r3 : (1, 2, 5)

r3 : (1, 2, 3)

Les chiffres entre les parenthèses représentent l'ordre de création ou de modification des faits ("time tags").

Quant à la troisième stratégie de résolution de conflit (l'attribution des priorités aux règles), le réalisateur peut contrôler la succession d'exécution de ses règles par ordre de priorité et non plus uniquement par les conditions des règles.

Supposons que

r2 ait la priorité 3 (la priorité maximum),
r3 ait la priorité 2 ,
r1 ait la priorité 1.

Dans ce cas, la règle r2 s'exécutera avant r1 et r3, et la règle r3 s'exécutera avant la règle r1 quel que soit l'ordre de création ou de modification des faits.

Voyons maintenant les particularités de ce langage, qui sont pour nous des avantages.

II.1.4. Des avantages du langage

Les particularités d'OPS5 viennent de la manière dont les classes et les règles sont définies. Elles viennent aussi des moyens de contrôles sur les règles, de la définition des actions et de la possibilité de créer des règles dynamiquement. Nous allons les donner plus en détail.

- (1) Tous les mécanismes du moteur d'inférence sont conçus pour rendre le plus efficace possible le contrôle de résolution de problèmes en chaînage en avant. Par cette stratégie de contrôle, des déductions sont faites à partir des faits disponibles. Dans notre contexte de travail, nous raisonnons beaucoup sur l'élève. Nous ne pouvons pas nous permettre de faire des suppositions car cela peut nuire à notre objectif. Nos raisonnements portent donc sur des faits que nous pouvons recueillir sur l'élève pour en déduire par exemple des conseils à lui donner ou des scénarios à lui proposer.
- (2) La possibilité de donner des priorités aux règles facilite la conception des programmes OPS5. Nous pouvons définir toutes les règles d'un système, et ensuite donner des priorités pour contrôler les séquences d'activation de ces règles. Cette possibilité fournit un moyen de définir des méta-règles et permet ainsi de réduire considérablement le nombre de règles. Nous raisonnons dans ce cas sur les règles. Il faut noter que le langage permet même de changer les priorités dynamiquement. Nous pouvons ainsi insérer des règles qui définissent des méta-règles pour influencer le comportement du système.

- (3) Les classes OPS5 permettent de définir des valeurs par défaut. Nous ne sommes pas obligé de donner les valeurs de tous les attributs. Des instanciations des classes peuvent être supprimées au cours de l'exécution ou on peut en rajouter d'autres. Nous pouvons également rattacher des opérations particulières à une instanciation d'une classe par un attribut de la classe et une règle associée. Mais une classe OPS5 est encore plus dynamique car nous pouvons changer la classe d'une instanciation en une autre classe. Rien qu'en changeant le nom de la classe, l'instanciation change de classe. Les attributs de même nom restent les mêmes dans la nouvelle classe.
- (4) Le mécanisme de filtrage est très efficace car les règles sélectionnées sont seulement celles dont les conditions sont modifiées. Et une règle ne s'exécute qu'une seule fois avec les mêmes faits.
- (5) Le langage permet de définir d'autres règles en cours d'exécution du système et même de leurs rattacher une priorité. Nous pouvons donc par ce moyen changer les méta-règles au cours du déroulement du système.
- (6) Le langage permet une interface avec le langage C. Puisque OPS5 est principalement dédié aux tâches de raisonnement, toutes les tâches d'entrée et de sortie sont effectuées par des actions ou par des fonctions écrites en langage C.
- (7) Le langage fournit des moyens de test des programmes. Ces moyens sont très importants pour le prototypage. Par exemple, nous pouvons faire un retour en arrière, modifier la base de faits pour voir le comportement du programme.

Mais l'utilisation de la version d'OPS5 sur PC pose un certain nombre de problèmes. Nous en donnons quelques uns ici.

II.1.5. Des difficultés du langage

Nous donnons trois difficultés que nous avons rencontrées dans l'utilisation du langage OPS5.

- (1) Le langage étant conçu pour rendre efficace le contrôle de résolution de problème en chaînage avant, a pour conséquence que, dans des domaines d'enseignement où des problèmes doivent être abordés par des contrôles de résolution en chaînage arrière, cela nécessite un effort de

conception. Mais nous pensons que de tels problèmes peuvent être formulés autrement pour faciliter le contrôle de résolution en chaînage en avant. Par exemple en mathématiques, des problèmes peuvent être formulés pour s'adapter à une résolution déductive ou inductive.

- (2) Les PC étant limités en mémoire par le système d'exploitation utilisé, cela rend difficile la conception des systèmes avec le langage. Il faut limiter le nombre de règles et le nombre de faits résidant en mémoire. Nous pensons néanmoins qu'avec les nouveaux systèmes d'exploitation, le problème de mémoire sera relativement résolu.
- (3) L'environnement de développement fourni avec le langage ne permet que des petits tests. Il a fallu développer les règles sous un éditeur de texte, puis les tester en mode exécution.

D'une manière globale, nous pensons que les concepts mis en œuvre dans le langage OPS5 sont très adaptés pour des systèmes comme le nôtre. Dans la suite du chapitre, nous présentons comment les connaissances sont implantées avec OPS5 et comment nous les exploitons.

II.2. Implantation des bases de connaissances

Dans les systèmes à base de connaissances, deux types d'utilisation d'une base de connaissances sont courants [SAB88]. Le premier type d'utilisation consiste à vouloir faire des déductions avec les contenus de la base. Dans ce cas, l'objectif visé est de représenter le moins de connaissances possible sachant que les autres peuvent être déduites de celles représentées. Un deuxième type d'utilisation consiste à vouloir accélérer et faciliter les moyens d'accès aux connaissances de la base. Dans ce cas, le moyen d'accès aux connaissances consiste en une recherche associative.

Ces types d'utilisation des contenus des bases de connaissances sont déterminants dans notre prototype. Dans les paragraphes II.2.1. au paragraphe II.2.3., nous présentons l'implantation de la base descriptive, de la base des connaissances du domaine (les termes et les relations entre eux), et de la base de connaissances sur l'élève (c'est-à-dire l'implantation du modèle de l'élève).

II.2.1. Implantation de la base descriptive

La base descriptive est utilisée principalement pour les illustrations et pour la recherche des images. Dans les deux contextes d'utilisations, la représentation doit permettre un accès rapide au contenu de la base. Mais comme dans toutes les réalisations informatiques il faut parvenir à un compromis entre la taille mémoire nécessaire pour un type de représentation et la rapidité d'accès, dans notre cas, nous avons adopté une méthode mixte. Pour certaines informations, nous privilégions l'accès rapide et pour d'autres, nous privilégions la quantité d'informations à stocker.

Les connaissances à accès rapide

Nous avons privilégié la rapidité d'accès pour les informations suivantes :

- les noms des espèces d'oiseaux de la base ,
- les séquences correspondant à chaque espèce d'oiseau ,
- les séquences des types de déplacement ,
- les séquences des méthodes de capture et de consommation des nourritures.

Ces connaissances sont représentées par une classe OPS5. Elles sont chargées en mémoire centrale au lancement, ce qui accélère l'accès aux éléments de la base. Les accès sont effectués par des règles de production OPS5+. Voyons la structure de cette classe.

Modèle de représentation

CLASSE : *oiseau*
ATTRIBUTS : *nom*
début-séquence
fin-séquence
mode-de-déplacement
début-séquence-de-déplacement
fin-séquence-de-déplacement
méthode-de-consommation
début-séquence-de-consommation
fin-séquence-de-consommation

Explication du modèle de représentation

CLASSE : oiseau

Le nom de cette classe est *oiseau*. Nous l'appelons ainsi car chaque séquence du vidéodisque correspond à une espèce d'oiseau. Toutes les séquences du disque peuvent être représentées par le modèle de représentation.

Les attributs *nom*
 début-séquence
 fin-séquence

nom correspond au nom de l'oiseau de la séquence considérée. *début-séquence* et *fin-séquence* correspondent aux numéros d'images sur le vidéodisque marquant respectivement le début et la fin de la séquence de l'oiseau.

Les attributs *mode-de-déplacement*
 début-séquence-de-déplacement
 fin-séquence-de-déplacement

Nous avons choisi un mode de déplacement pour chaque espèce d'oiseau du vidéodisque. Nous avons choisi un seul mode de déplacement bien que l'oiseau puisse se déplacer de différentes façons. Nous avons choisi le mode de déplacement qui caractérise le mieux l'oiseau. Mais le fait d'avoir limité le mode de déplacement à un sert en fait à minimiser le volume d'informations. Néanmoins, nous avons pris soin dans ce choix de ne pas nuire à l'objectif pédagogique fixé. *début-séquence-de-déplacement* et *fin-séquence-de-déplacement* correspondent aux numéros d'images sur le vidéodisque marquant respectivement le début et la fin de la séquence du mode de déplacement.

Les attributs *méthode-de-consommation*
 début-séquence-de-consommation
 fin-séquence-de-consommation

Ces attributs correspondent à la méthode de consommation type de l'oiseau; le début et la fin de la séquence qui montre la méthode de consommation.

Exemple concret

OISEAU
HERON-CENDRE
03395
05730
VOL-BATTU
03995
04323
AVALER
04886
05717

Cette instanciation de la classe *oiseau* correspond à l'oiseau appelé héron-cendré, la séquence d'images sur le vidéodisque pour cet oiseau débute au numéro 03395 et se termine au numéro 05730. Sa particularité de mode de déplacement est le *vol battu*. Une séquence de démonstration (par l'oiseau : héron-cendré) de ce mode de déplacement commence au numéro 03995 et se termine au numéro 04323. Sa méthode de consommation est d'avaler ses nourritures. Une séquence de démonstration de cette méthode commence au numéro 04886 et se termine au numéro 05717.

Par cette représentation, nous pouvons facilement donner la liste :

- des oiseaux de la base ,
- des modes de déplacement ,
- des modes de consommation.

Même s'il est possible de donner ces listes, il faut noter que nous ne donnons pas la possibilité à l'élève de sélectionner des éléments dans une liste quelconque pour préciser (par exemple cliquer sur le début de séquence de déplacement) les illustrations désirées. Il faut qu'il le tape au clavier. Ce choix est délibéré. Nous voulons que l'élève apprenne le vocabulaire en tapant les termes lui-même.

Connaissances de grosse taille

Pour chaque séquence d'oiseau du vidéodisque, nous avons sélectionné une ou deux et parfois trois images fixes. Ces images fixes nous servent d'images types de l'oiseau de la séquence. Les critères que nous avons utilisés pour choisir ces images sont :

- l'image doit être suffisamment claire et nette. Il ne faut pas qu'elle soit floue, ce qui peut nuire à l'interprétation de l'image. Ce critère est nécessaire car les séquences d'images du vidéodisque sont en fait des images d'un film. La qualité de chaque image, quand elles sont observées une par une, ne correspond pas du tout à la qualité des images quand elles sont observées en séquences ;
- l'image doit montrer suffisamment clairement l'idée que nous voulons passer. Par exemple, les images que nous avons sélectionnées montrent les oiseaux
 - * en train de capturer leur proie ou en train de la ramasser ;
 - * en train de consommer leur nourriture.

Chacune des images ainsi sélectionnée est décrite. Les éléments de description sont :

- 1 - le numéro d'image correspondant à l'image décrite ;
- 2 - le nom de l'oiseau ;
- 3 - La description de l'oiseau lui-même. Elle porte principalement sur les parties de l'oiseau qui ont des rapports avec le mode de nourriture de l'oiseau. Nous donnons les descriptions du bec, des pattes, du cou et des ailes. Les différentes parties décrites sont suivies d'un qualificatif. Par exemple bec-long, patte-longue, etc. Néanmoins, si une partie n'est pas visible sur l'image, nous ne la décrivons pas ;
- 4 - les éléments de l'habitat où se trouve l'oiseau. Par exemple, arbre, herbe, buisson, maison, etc. En fait tous les éléments de l'habitat qui sont visibles sur les images ;
- 5 - les nourritures de l'oiseau visibles sur les images.

Ces descriptions sont structurées ainsi :

numéro-de-l'image-décrite

nom-de-l'oiseau-décrit

liste-d'éléments-de-description

Par exemple

05069

Héron-cendré

cou-long, patte-longue, bec-long, bec-fort, eau, rocher, poisson

Dans cet exemple, le numéro d'image décrite est 1376, le nom de l'oiseau décrit est héron-cendré. Nous pouvons voir sur l'image des informations :

- ° sur les parties de l'oiseau : il a un cou long, des pattes longues, un bec long et fort ;
- ° sur l'habitat : l'image comporte de l'eau et un ou deux rochers ;
- ° sur sa nourriture : le héron cendré est en train d'avaler un poisson.

Accès à ces connaissances

Nous procédons par une recherche documentaire pour retrouver les informations ainsi stockées. Voyons deux exemples de recherche d'information dans cette base. Ces exemples sont utilisés pour justifier certains choix de réalisation.

(1) Pendant une illustration, l'élève s'arrête car il veut la description de l'oiseau de la séquence.

Solution :

- * Retrouver le nom de l'oiseau de la séquence qui est dans la base descriptive à accès rapide ;
- * Ce nom est transmis au système documentaire qui donne le numéro d'image de l'oiseau décrit ainsi que la description de l'image ;
- * Passer ces informations au système d'affichage qui
 - sauvegarde le numéro d'image de la séquence au moment de l'interruption,
 - cherche sur le vidéodisque le numéro d'image donné par le système documentaire,
 - affiche les descriptions ;
- * Et reprendre la séquence d'images au point d'interruption après que l'élève ait pris connaissance de la description.

(2) Pendant l'interrogation du système, les requêtes sont données sous forme de listes de termes. Une requête (qui résulte de l'analyse des requêtes) est passée au système documentaire. Le système documentaire met des connecteurs logiques OU entre les termes de la requête.

Par exemple si la requête soumise au système documentaire est "*bec-long, héron-cendré*", le système documentaire donnera les numéros d'images où on a bec-long ou héron-cendré comme description. Les images trouvées sont triées. Le critère de tri est le nombre de termes de la requête qui figurent dans la description d'une image. Les images possédant le maximum de termes de la requête dans leurs descriptions sont présentées en premier lors de la visualisation des images trouvées.

Nous avons privilégié le connecteur logique OU lors de la recherche documentaire, ce pour deux raisons :

- (a) Notre objectif n'est pas de trouver des images spécifiques, mais d'utiliser les requêtes pour présenter des éléments de connaissances ainsi que les relations qui peuvent exister entre les termes. Un connecteur logique **ET**, par exemple, entre les termes de la requête diminue le nombre d'éléments de connaissances possibles.
- (b) Le connecteur logique **OU** et un tri des images trouvées par ordre décroissant des fréquences d'apparition des termes de la requête dans les descriptions nous
- permettent d'atteindre toutes les images possibles par la requête ;
 - et de trouver les images que nous aurions trouvées par un connecteur logique **ET**.
- Si ce qui intéresse l'élève est de voir les images avec le connecteur logique **ET**, il peut les trouver plus facilement, car elles seront en tête de la liste si elles existent.

Ayant présenté la base descriptive qui constituent les connaissances sur les images utilisées, nous passons dans le paragraphe suivant, à la présentation des connaissances du domaine.

II.2.2. Implantation de la base de connaissances du domaine

La représentation de ces connaissances est en fait un réseau sémantique. Nous représentons des concepts et les liens entre eux. Le lien sémantique qui lie les concepts entre eux dans chaque catégorie est le lien d'*exemple*. Donc si l'on considère une seule catégorie de connaissances, nous pouvons dire que c'est une représentation arborescente. Mais les liens entre les concepts des catégories différentes ne sont pas limités au lien de type "exemple" car les liens entre les concepts de plusieurs catégories ne sont plus uniquement de type spécification ou de généralisation. Comme nous pouvons le constater dans le diagramme III.10, "bec-long" (un terme du concept "forme des parties" dans la catégorie morphologie) est à la fois une particularité des "ardériformes" (un terme du concept "ordre" dans la catégorie classification) et des "piscivores" (un terme du concept "sous classe des modes de nourritures").

Puisque nous ne pouvons pas représenter plus d'un attribut à valeur type liste dans une classe OPS5+, nous utilisons deux classes pour chaque concept. Les classes sont "*concept*", et "*particularité*".

La classe "concept"

CLASSE : *concept*

ATTRIBUTS :

nom-concept

niveau d'abstraction

contexte

équivalence

exemples

Pour chaque classe, nous avons représenté le nom du concept (ou terme), son niveau d'abstraction et son contexte (c'est-à-dire la catégorie de connaissances à laquelle il appartient). Nous avons décidé de ne garder qu'une seule équivalence d'un concept, pour limiter la taille des connaissances. Mais puisque la plupart des concepts n'ont même pas d'équivalence, la restriction ne gêne pas. "*exemples*" représente le lien entre le concept considéré et d'autres, soit d'un niveau inférieur dans la même catégorie, soit d'un niveau quelconque dans une autre catégorie.

Ainsi :

Exemple 1

Concept

ardériforme

1

c

-

héron-cendré, ...

Exemple 2

Concept

héron-cendré

0

c

-

-

Le premier exemple signifie que "*ardériforme*" est un concept d'un niveau d'abstraction 1. Il appartient à la catégorie C (classification des oiseaux) et nous ne connaissons pas son équivalence. *héron-cendré, ...* sont des exemples de "*ardériforme*". Donc si "*héron-cendré*" est dans la catégorie C, il doit être d'un niveau d'abstraction inférieur - ce que montre le deuxième exemple du concept

"héron-cendré". Dans le deuxième exemple, nous n'avons pas indiqué les exemples de "*héron-cendré*" car c'est le niveau d'abstraction le plus bas.

Voyons un autre exemple :

Concept

piscivore

1

n

-

héron-cendré, ...

Dans cet exemple, *piscivore* est un concept de la catégorie nutrition. Il a comme exemple *héron-cendré, ...* Mais puisque *héron-cendré* est dans une autre catégorie, il peut avoir un niveau d'abstraction quelconque.

La classe "particularité"

Les particularités d'un concept forment une deuxième liste en tant que valeurs des attributs des concepts. Puisque nous ne pouvons pas avoir deux listes comme valeurs des attributs, nous représentons les particularités par une autre classe OPS5+.

CLASSE : *Particularité*

ATTRIBUTS :

nom-concept

liste-particularités

Nous spécifions le nom du concept auquel appartiennent les particularités. Cette méthode est en fait adoptée pour rendre plus efficace la représentation parce que nous ne spécifions pas les particularités de beaucoup de concepts. Pour les concepts dont les particularités ne sont pas spécifiées, nous ne les représentons pas. Cela réduit la place occupée par les connaissances.

Pourquoi cette méthode de représentation pour les concepts du domaine ?

Nous avons choisi cette méthode de représentation pour

- faciliter les types de raisonnement que nous effectuons ;
- faciliter l'accès aux informations de la base ;
- faciliter son implantation avec le système à base de connaissances utilisé.

Au cours des analyses de la requête de l'élève, une forme de raisonnement que nous effectuons porte sur la spécificité d'un terme de la requête par rapport à d'autres. Pour cela, la représentation des niveaux d'abstraction des concepts facilite l'analyse. Pendant l'utilisation du module d'illustrations, l'accès aux informations et le parcours du réseau sémantique sont rendus faciles par cette méthode de représentation. La répartition des connaissances en plusieurs catégories rend l'accès aux informations très efficace.

II.2.3. L'implantation de la base de connaissances sur l'élève

Toutes les instanciations des paramètres du modèle de l'élève constituent ce que nous appelons la base de connaissances sur l'élève. La base est construite d'une manière progressive au cours du déroulement du système.

Le modèle de l'élève est représenté par une classe OPS5+.

CLASSE :	<i>élève</i>		
ATTRIBUTS :	<i>nom</i>	)	
	<i>prénom</i>	)	(R)
	<i>date de naissance</i>	)	
	<i>date de session</i>	)	(A)
	<i>activités de l'élève</i>	)	
	<i>connaissances factuelles</i>	)	(F)
	<i>connaissances conceptuelles</i>	)	(C)
	<i>erreurs type lexicographique</i>	)	(E)
	<i>erreurs type association</i>	)	
	<i>niveau d'observation</i>	)	
	<i>niveau d'abstraction élémentaire</i>	)	(N)

niveau de raisonnement)
niveau de créativité)

Voyons chacun des attributs de la classe *élève* et comment nous les construisons pendant le déroulement du système.

Le paramètre R : *nom*

prénom

date de naissance

Ces attributs correspondent à l'identité de l'élève que nous appelons **R** dans le modèle. A chaque lancement du système, le système demande à l'élève de donner son *nom* et son *prénom*. Si c'est la première fois que l'élève utilise le système, le système lui demande de donner également sa date naissance. La date de naissance sert à calculer l'âge de l'élève.

Si l'élève n'a jamais utilisé le système, le moniteur lui propose de commencer le processus d'apprentissage par le module d'observation.

Le fait de calculer l'âge de l'élève fournit aussi un paramètre pour mesurer les modes d'utilisation du système par tranche d'âge. Ainsi, nous pouvons élargir le public qui peut utiliser le système. Par exemple, le système peut indiquer que les adultes (ou les élèves plus âgés) utilisent le module d'observation et le module d'interrogation plus que le module d'illustrations et le module d'aide à la construction d'un réseau sémantique.

Un autre attribut que nous pouvons ajouter aux références personnelles de l'élève (mais que nous n'avons pas rajouté compte tenu de notre objectif pédagogique) est son sexe. Cet attribut peut nous servir d'instrument d'étude sur les différentes approches employées par catégories de sexe pendant le processus d'apprentissage.

Bien souvent, des systèmes d'EAO sont utilisés par groupe d'élèves. Bien que notre système d'EIIAO ait été conçu en vue d'être utilisé par un seul élève à la fois, il peut servir pour l'étude des performances par groupement d'élèves (par exemple, garçons, filles, mixte). Par exemple dans [UND89], une expérience a été faite sur ce sujet dans le domaine de l'apprentissage d'une langue pour observer les performances des groupes d'élèves selon la composition du groupe.

Passons maintenant au reste des attributs de la classe *élève*.

Le paramètre A : *date de session*
activités de l'élève

Nous ne pouvons constater l'évolution cognitive de l'élève que si le module de l'élève permet d'observer les "états" de l'élève dans le temps. L'état de l'élève dans ce contexte signifie les niveaux d'habitude évocative employés par l'élève et à quel degré. L'attribut *date de session* nous permet de garder l'état de l'élève par session d'utilisation du système. Nous pouvons ainsi observer son évolution dans le temps.

L'attribut *activités de l'élève* est très important dans la mesure où c'est l'attribut qui nous permet de mesurer la participation de l'élève pendant le déroulement du système. Les activités de l'élève sont mesurées en nombre de points attribués par le moniteur de l'élève à un certain nombre d'opérations que l'élève peut effectuer dans les différents modules (les modules de technique pédagogique). La somme des points dans un module reflète l'activité de l'élève dans ce module. Donc nous pouvons connaître les phases cognitives employées le plus par ses activités dans les différents modules. Voyons les quatre modules et les points attribués dans chacun d'eux.

Dans le module d'observation

Dans le module d'observation, les points sont attribués comme suit :

<u>Opérations</u>	<u>Nombre de points</u>
chercher une image	1
dérouler en arrière	1
changer l'audio	1
dérouler lentement en avant	1
dérouler lentement en arrière	1

Seules ces cinq opérations nous paraissent significatives comme participation de l'élève pendant l'observation. Si un élève cherche une image particulière cela signifie qu'il suit bien les séquences d'images. De la même manière, un élève qui déroule une séquence d'images en arrière montre qu'il est intéressé par ce qu'il voit et veut revoir la séquence. Un élève qui change d'audio (c'est-à-dire les pistes de son) montre qu'il écoute et qu'il s'intéresse à ce qu'il entend. Il peut manifester son mécontentement par la suppression d'une piste, ou un intérêt par l'activation d'une piste. Néanmoins, ces critères d'affectation de points ne sont qu'indicatifs. Les barèmes peuvent être modifiés pour les opérations effectuées.

Dans le module d'illustration

Dans le module d'illustration, les points sont attribués comme suit :

<u>Opérations</u>	<u>Nombre de points</u>
demande d'une séquence d'oiseau	1
demande d'une séquence de déplacement	1
demande de parcours de la base de connaissances	1

Le module d'illustrations correspond à la phase d'abstraction élémentaire. Donc seules les opérations qui font appel à l'utilisation d'un terme du domaine reçoivent des points. Les opérations qui permettent de préciser un terme correspondent à la demande de visualisation d'une séquence d'oiseau, à la demande de visualisation d'une séquence de déplacement ou à la demande de parcours de la base de connaissances. Les opérations qui demandent de l'information ne sont associées à aucun point. Par exemple, nous n'accordons pas de point à la demande du nom de l'oiseau d'une séquence d'images ni à la demande de la description de l'oiseau d'une séquence car elles n'obligent pas l'élève à utiliser un terme.

Les points que le moniteur attribue à ces opérations sont plus significatifs dans ce module que les points attribués dans le module d'observation. Cela s'explique du fait qu'un élève ne peut utiliser un terme que s'il l'a bien en mémoire, car nous ne donnons pas la possibilité à l'élève de sélectionner un terme dans une liste fournie par le système pour ses demandes.

Dans le module d'interrogation

Dans le module d'interrogation, les points sont attribués comme suit :

<u>Opérations</u>	<u>Nombre de points</u>
présenter une requête	1 point
choisir une image	1 point
rejeter une image	1 point

Les activités qui nous paraissent significatives dans le module d'interrogation sont la présentation de la requête, et pendant l'observation des images trouvées, les opérations "choisir" et "rejeter" des images. Si l'élève ne donne rien comme terme pour la requête, il n'y a pas de point

accordé. Par contre, si l'élève effectue des modifications sur les termes proposés comme une nouvelle requête après l'observation, un point est accordé.

Les opérations comme le parcours des images trouvées, le changement de liste d'images à observer n'ont pas de point car elles ne démontrent pas un processus de raisonnement.

Dans le module d'aide à la construction d'un réseau sémantique et de la base descriptive

A toutes les opérations d'ajout, de suppression, et de modification d'un terme est accordé un point au cours de la création d'un réseau sémantique et de la base descriptive. Par contre toutes les opérations de vérification, comme la demande de la liste des termes déjà utilisés et les opérations de recherche d'image sur le vidéodisque ne donnent aucun point.

Il faut noter que l'attribut *activités de l'élève* nous permet d'avoir une vue globale de la participation de l'élève au cours des sessions d'utilisations du système. Pour affecter ces points, nous avons inséré des "capteurs" dans les différents modules. A la sortie de chaque module, l'état de l'élève (ou plus précisément de son modèle) est mis à jour par le moniteur, en utilisant les points qui auraient été affectés.

Les Paramètres E, F et C :

<i>erreurs type lexicographique</i>	)
<i>erreurs type association</i>	) (E)
<i>connaissances factuelles</i>	F
<i>connaissances conceptuelles</i>	C

Module d'interrogation	Module d'illustrations
* corriger les erreurs	* signaler les erreurs
* garder les erreurs	* ne pas les corriger
° lexicographique	* garder les erreurs
° association	° lexicographique
* garder les types de termes utilisés	* garder les types de termes utilisés
° termes descriptifs	° termes descriptifs
° termes conceptuels	° termes conceptuels

Figure III.11. : Mise à jour de E, F & C

Outre un rôle d'évaluation, ces quatre attributs sont utilisés au cours du déroulement du système pour proposer à l'élève des scénarios adaptés à son état. Ils sont mis à jour dans le module

d'illustrations et le module d'interrogation en utilisant le nombre des types de connaissances employés par l'élève et le nombre des types d'erreurs commis.

Voyons maintenant comment sont comptabilisées les erreurs et les connaissances.

- Dans le module d'illustrations, nous nous attendons à ce que l'élève utilise plus de termes descriptifs (connaissances factuelles) que de termes conceptuels (connaissances conceptuelles). Mais nous notons aussi bien le nombre de termes descriptifs employés que le nombre de termes conceptuels.

Comme nous l'avons signalé au chapitre III de la deuxième partie de la thèse, nous ne gardons, d'une manière rémanente, que le nombre de termes utilisés dans chaque type de connaissances. C'est-à-dire que nous notons le nombre de termes descriptifs utilisés et le nombre de termes conceptuels utilisés. Néanmoins, nous gardons, pendant toute la durée d'une session d'utilisation du système, toutes les connaissances factuelles et les connaissances conceptuelles. Les valeurs de ces attributs nous servent pour la détermination des scénarios à proposer à l'élève.

Toujours dans le module d'illustrations, nous ne considérons que les erreurs de type lexicographique. Nous ne prenons pas en compte dans ce module les erreurs de type association car l'élève n'utilise qu'un terme à la fois.

- Dans le module d'interrogation, nous notons le nombre de termes descriptifs et de termes conceptuels utilisés dans les requêtes. Ces termes correspondent également aux connaissances factuelles et aux connaissances conceptuelles.

Dans ce module, nous gardons aussi bien les erreurs lexicographiques que les erreurs d'association. Comme pour les types de connaissances, nous gardons le nombre d'erreurs commises pour chaque type d'erreurs. Ils sont utilisés pour évaluer la progression de l'élève dans le temps quant aux types d'erreurs commis. Mais nous gardons les erreurs elles-mêmes au cours d'une session et les corrections qui peuvent être faites.

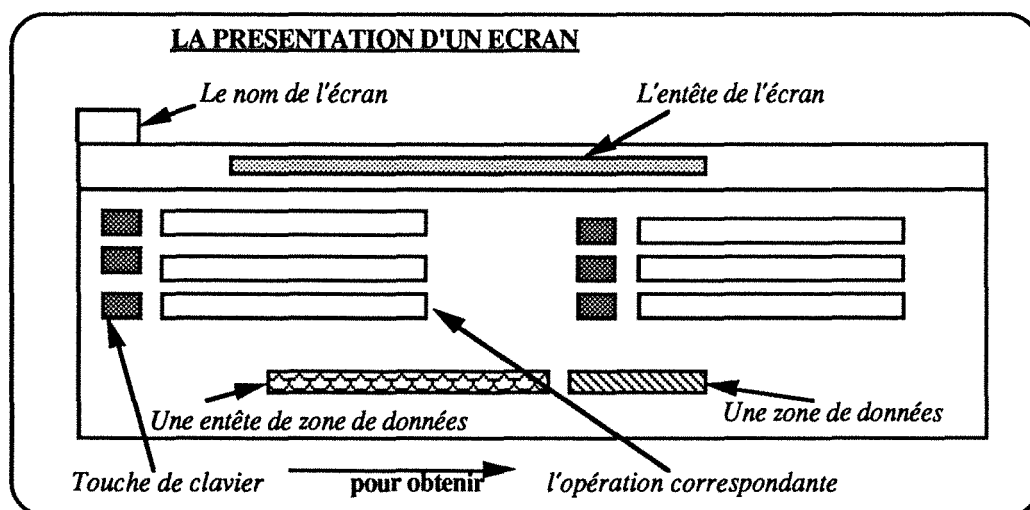
Le paramètre N : *niveau d'observation*
niveau d'abstraction élémentaire
niveau de raisonnement
niveau de créativité

Ces quatre attributs correspondent au paramètre N du modèle de l'élève. Les valeurs de ces attributs reflètent les degrés d'emploi des quatre phases cognitives.

Ces attributs constituent des paramètres d'évaluation. Nous pouvons faire la somme des points de chaque niveau sur plusieurs sessions d'utilisation du système. Le résultat nous montrera les phases qui sont moins employées que d'autres. Ils nous montrera également les correspondances entre les types de connaissances appliqués et les phases cognitives. Par exemple, si le nombre de termes descriptifs est important malgré une activité importante dans le module d'interrogation, nous pouvons en déduire que l'élève est toujours en activité de recherche de connaissances. Mais si le résultat révèle le contraire, nous pouvons déduire que l'élève utilise le module d'interrogation pour le raisonnement, pour valider, déduire ou induire des éléments de connaissances

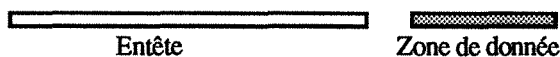
La réalisation des modules de technique pédagogique nécessite un effort particulier sur le développement des interfaces de communication. Cela est nécessaire pour que l'élève puisse se concentrer sur l'apprentissage du domaine et non pas sur l'apprentissage de la machine. Nous présentons dans le paragraphe suivant les interfaces que nous avons développées pour répondre à cette préoccupation.

II.3. La saisie des données

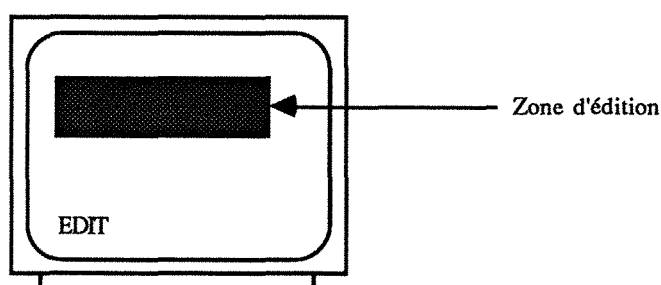


La saisie des données peut être faite de trois manières :

- définir des zones de données dans des écrans déjà définis ;
- définir une seule zone de valeur de saisie avec ou sans entête ;



- définir une zone de saisie d'une longue chaîne de caractères.



Outre ces fonctionnalités du gestionnaire d'écran, nous avons défini des opérations de visualisation de textes ou de valeurs numériques. Des textes peuvent être affichés dans une fenêtre de l'écran, ils peuvent défiler dans cette fenêtre. Par exemple, défilement par page en avant ou en arrière ; aller à la première page, à la dernière page du texte ; défilement ligne par ligne ; etc. Nous offrons également la possibilité de trier des valeurs avant de les afficher. Par exemple, les termes de la requête après visualisation sont triés avant d'être affichés.

Le gestionnaire d'écran utilise les mécanismes de fenêtrage. Pendant une opération, si un autre écran est affiché, celui-ci cache l'ancien écran. A la sortie de la dernière opération, l'état de l'écran est rétabli sous la forme qu'il avait avant l'entrée dans l'opération.

II.4. Le menu

Un autre type d'interface repose sur l'utilisation des menus. Les opérations sont associées aux touches de clavier correspondantes. L'élève a donc la possibilité soit d'utiliser la souris pour sélectionner une opération soit d'actionner la touche correspondant à l'opération.

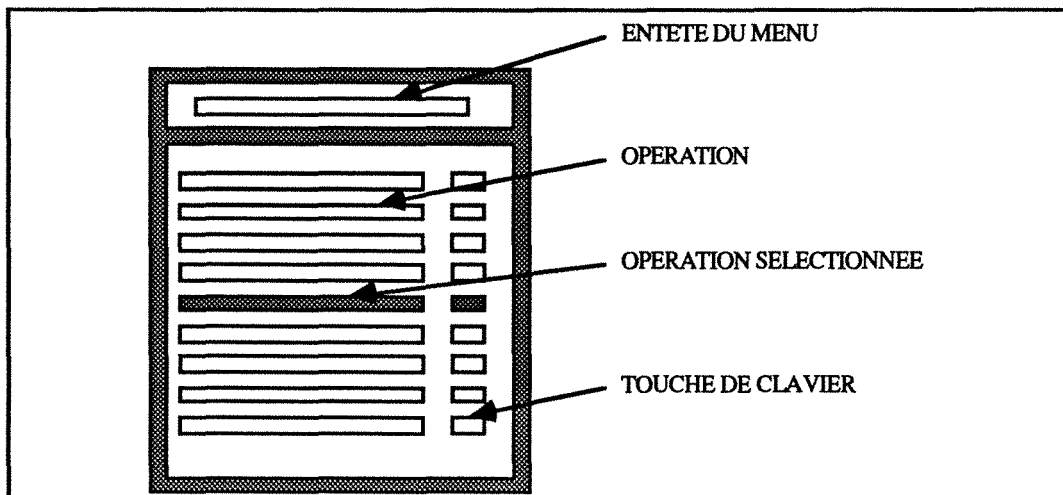


Figure III.12. : Présentation d'un menu

II.5. Le système d'incrustation

Pour améliorer la présentation et l'efficacité de la présentation des informations, nous avons implanté un système d'incrustation.

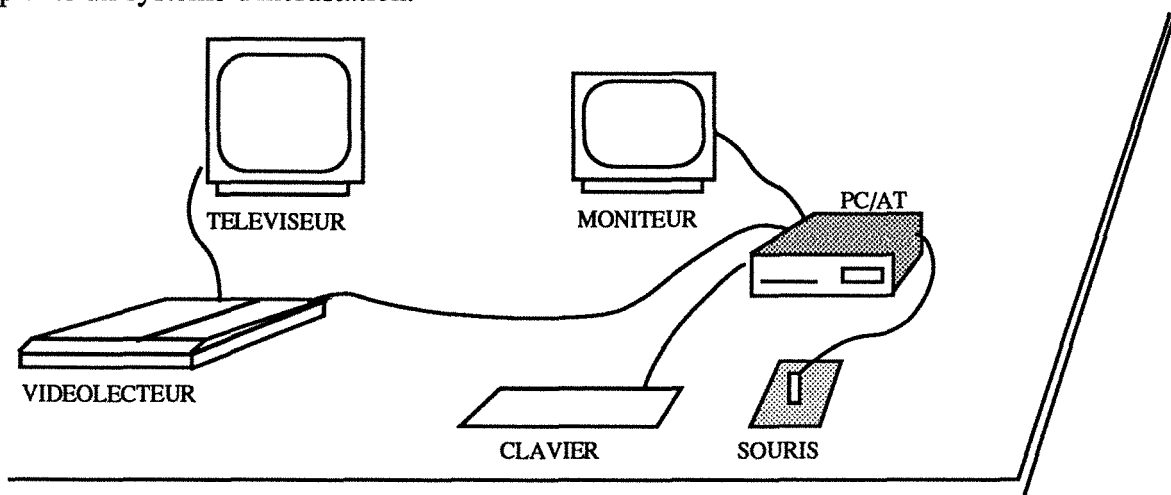


Figure III.13. : Environnement texte et image séparés (sans incrustation)

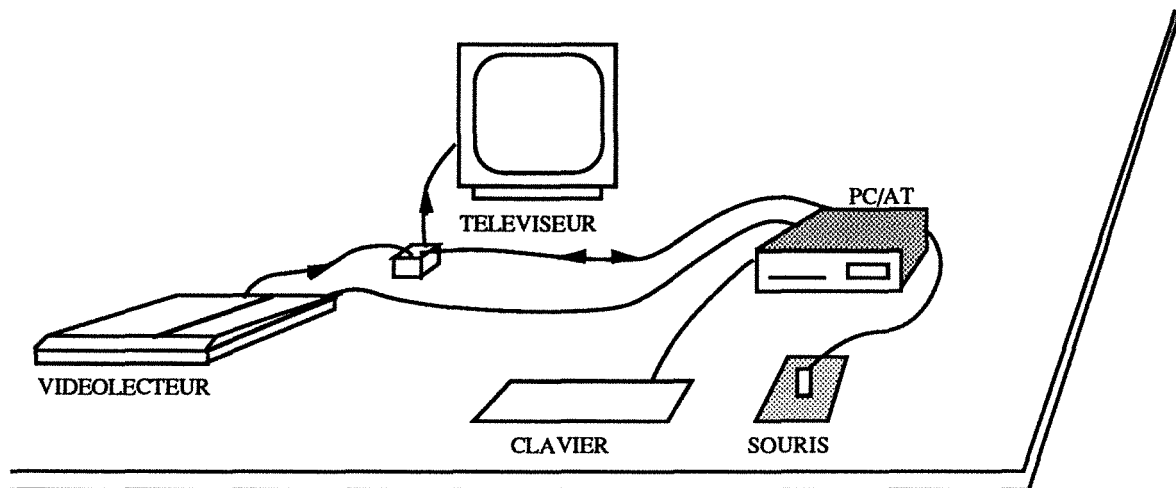


Figure III.14. : La configuration du prototype BIRDS avec incrustation

La configuration sans système d'incrustation est figurée par la figure III.13 et le système avec incrustation par la figure III.14. Nous avons adopté la configuration de la figure III.14 pour le prototype BIRDS.

Avec le système d'incrustation, nous avons quatre modes d'affichage sur l'écran :

- mode vidéo : dans ce mode, il n'y a que les images du vidéodisque qui s'affichent sur l'écran ;
- mode texte : dans ce mode, il n'y a que les informations textuelles et graphiques qui s'affichent sur l'écran ;
- mode vidéo + texte : dans ce mode, les informations textuelles et graphiques sont affichées sur les images du vidéodisque. Les informations textuelles et graphiques couvrent les images du vidéodisque ;
- mode masque : dans ce mode, les informations textuelles et graphiques sont affichées sur les images du vidéodisque, mais au lieu de couvrir les images du vidéodisque, seules les zones de l'écran où sont affichées ces informations permettent de voir les images. Les zones d'informations textuelles et graphiques sont dans ce cas transparentes, les autres zones sont opaques.

Dans la figure suivante, RB signifie le bouton de droite de la souris, MB le bouton du milieu et LB le bouton de gauche.

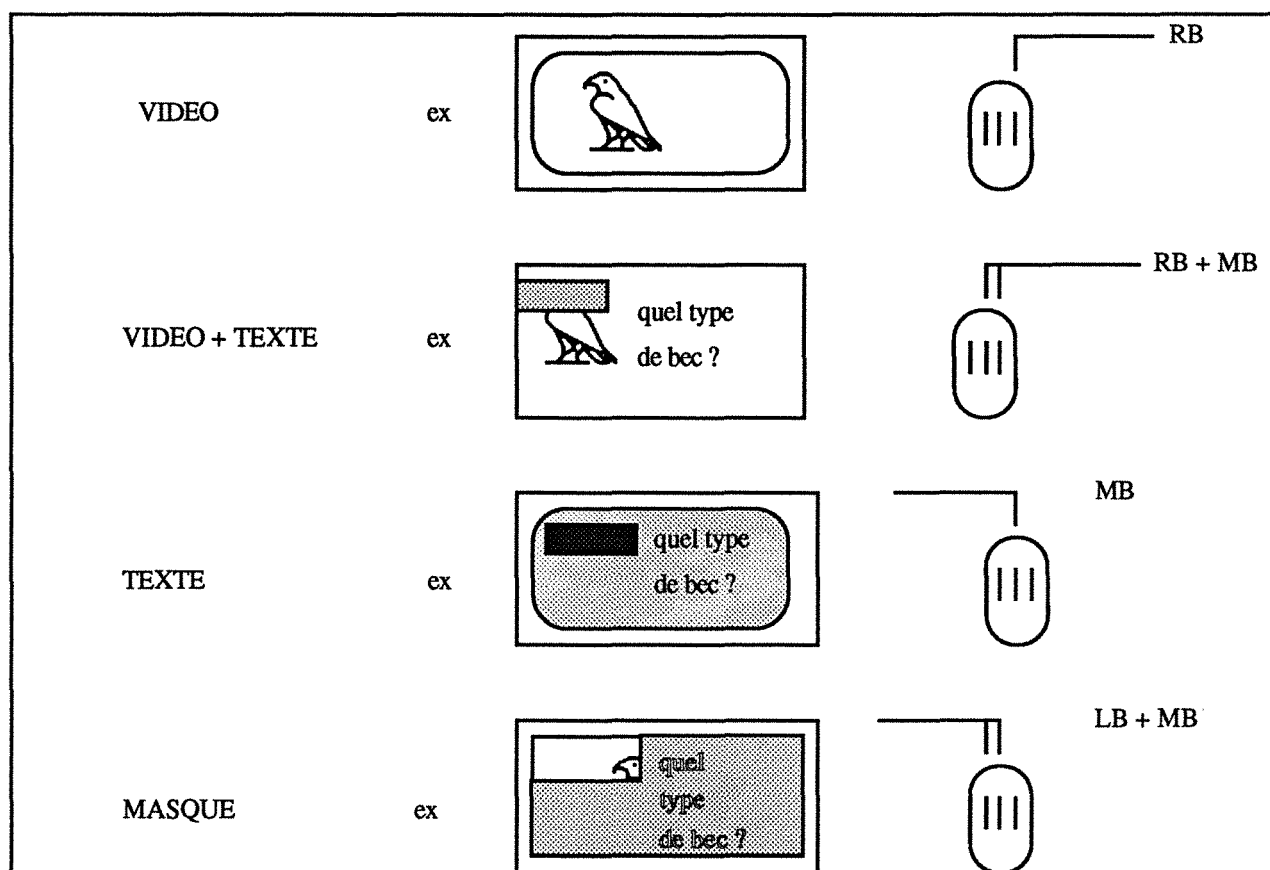


Figure III.15. : Les modes d'affichage

Ces modules d'interfaces ont été réalisés autour des matériels suivants :

- le vidéolecteur VP831 ;
- un PC/AT ;
- une souris ;
- une carte d'incrustation PHYLEC.

Dans le chapitre suivant, nous présentons les scénarios (qui font partie du module de techniques pédagogiques) que nous avons réalisés sur le prototype.

CHAPITRE III

LES SCÉNARIOS

III.1 Introduction

Le module de technique pédagogique a pour objectif de fournir toutes les fonctionnalités propices à l'apprentissage de l'élève. Nous avons présenté quatre modules parmi les cinq implantés dans le module de technique pédagogique au paragraphe I.4. de cette partie de la thèse. Les scénarios constituent le cinquième module complétant ce que nous avons appelé un environnement d'apprentissage.

Les modules d'observation, d'illustrations, d'interrogation et de construction de la base de connaissances et de la base descriptive s'appliquent bien à un élève qui a une idée sur ce qu'il faut apprendre et comment s'y prendre. Mais que ce passe-t-il pour un élève qui n'évolue pas bien dans ses habitudes évocatives (cf paragraphe III.4. de la partie II de la thèse) ou qui commet beaucoup d'erreurs pendant le processus d'apprentissage ? C'est pour répondre à cette préoccupation que nous avons défini des scénarios.

Les scénarios ont donc pour objectif d'entraîner l'élève dans un processus d'apprentissage et de l'aider à évoluer dans ses habitudes évocatives.

C'est le moniteur de l'élève (cf le paragraphe I.6. du chapitre I de cette partie de la thèse) qui est chargé de déterminer les scénarios appropriés pour un état de l'élève au cours du déroulement du système. Les scénarios sont définis dans le module de technique pédagogique, mais le moniteur de l'élève est défini dans le module de l'élève. Cela explique le lien très étroit entre le module de l'élève et le module de technique pédagogique.

Le reste de ce chapitre est divisé en trois paragraphes :

- un paragraphe sur les catégories de scénarios ;
- un paragraphe sur les critères de choix d'une catégorie de scénarios ;
- un paragraphe sur l'implantation des exemples de scénarios dans chaque catégorie.

III.2 Les catégories de scénarios

Les scénarios doivent répondre à des besoins pédagogiques précis. Nous avons donc classé les scénarios par catégories de besoins. Les scénarios que nous avons définis sont classés en trois catégories (ou niveaux) :

- NV1 : qui est le niveau 1 des catégories. Les scénarios de cette catégorie ont pour objectif de favoriser l'apprentissage du vocabulaire du domaine. Ils portent essentiellement sur la morphologie des oiseaux et leurs nourritures. Les termes à apprendre sont des termes visibles sur les images. Ils concernent l'apprentissage de ce que nous appelons les connaissances factuelles ;
- NV2 : qui est le niveau 2 des catégories. Les scénarios de cette catégorie ont pour objectif d'aider l'élève de passer à un niveau de conceptualisation des connaissances du domaine. Les scénarios portent sur la morphologie, les nourritures des oiseaux (c'est-à-dire les éléments de la nourriture visibles sur les images), la classification des oiseaux et les modes de leurs nourritures. Les termes à acquérir par ces scénarios sont parfois visibles sur les images (connaissances factuelles) mais parfois non visibles (connaissances conceptuelles). Par exemple, les termes concernant la morphologie des oiseaux et leur nourriture sont visibles. Mais les termes de la classification des oiseaux et de leurs modes de nourriture ne sont pas visibles ;
- NV3 : qui est le niveau 3 des catégories. Les scénarios de cette catégorie ont pour objectif d'aider l'élève à effectuer des discriminations sur les connaissances déjà acquises, c'est-à-dire de l'aider à faire une sorte de raisonnement sur ses connaissances. Les scénarios de cette catégorie portent sur la morphologie des oiseaux, leurs nourritures, leur classification, leurs modes de nourriture (c'est-à-dire ce que l'on conçoit des termes, qui ne sont pas visibles sur les images - ou termes abstraits), et leurs particularités.

* morphologie * nourriture	* morphologie * nourriture * modes de nourriture * classification	* morphologie * nourriture * modes de nourriture * classification * particularités
NV1	NV2	NV3

Figure III.17. : Les trois catégories de scénarios

Nous croyons que ces catégories de connaissances doivent aider l'élève dans les quatre niveaux d'habitudes évocatives.

Passons maintenant aux critères de choix d'une catégorie de scénarios au cours du déroulement du système.

III.3 Les critères de choix d'une catégorie de scénarios

A partir des points calculés (cf paragraphe I.6 de cette partie de la thèse) par le moniteur de l'élève lors du déroulement du système, le moniteur propose l'une ou l'autre des catégories de scénarios.

En fait deux paramètres du modèle de l'élève sont utilisés pour déterminer une catégorie de scénarios à proposer à l'élève au cours du déroulement du système.

Le premier paramètre est **E**, c'est-à-dire les types d'erreurs commises par l'élève pendant le déroulement du système. Un seuil de nombre d'erreurs est fixé, au delà duquel un scénario est proposé pour essayer de corriger ces erreurs. Le choix du seuil est facultatif.

Si les erreurs commises sont plutôt de type lexicographiques, les scénarios de la catégorie NV1 sont proposés. Si les erreurs sont plutôt de type association, les scénarios de la catégorie NV2 sont proposés.

L'élève a la possibilité de refuser les scénarios proposés ou de les quitter quand il veut. Mais le système lui-aussi peut quitter les scénarios quand il juge que les erreurs sont suffisamment corrigées. Le choix du moment de sortir des scénarios est aussi facultatif.

Le deuxième paramètre du modèle de l'élève utilisé pour déterminer le choix d'une catégorie de scénarios est **N**, c'est-à-dire les niveaux d'habitudes évocatives de l'élève. Les scénarios d'une catégorie ainsi déterminés visent à entraîner l'élève dans une phase cognitive autre que celle dans laquelle il se trouve. Par exemple, un élève qui reste toujours dans la phase d'observation a besoin d'évoluer vers la phase d'abstraction élémentaire. Dans cette situation, le moniteur de l'élève peut lui proposer des scénarios de la catégorie NV1. De la même manière, un élève qui reste dans la

phase d'abstraction élémentaire, même s'il emploie des termes conceptuels (par l'utilisation du module d'illustrations) a besoin d'évoluer vers la phase de raisonnement. Le moniteur de l'élève peut dans ce cas lui proposer des scénarios de la catégorie NV3 pour l'entraîner dans la phase de raisonnement.

Les scénarios sont définis pour combler ce qui manque à l'élève. Le choix d'un scénario est effectué par le moniteur de l'élève. Nous ne changeons donc pas de catégorie de scénarios une fois entré dans la catégorie. Nous ne modifions pas directement la base de connaissances sur l'élève dans les scénarios. En fait les informations sur l'état de l'élève sont récupérées à l'entrée des scénarios. Les informations sur l'élève à la sortie d'un scénario concernent sa performance.

Voyons maintenant comment les scénarios sont implantés dans la maquette. Nous les présentons par catégorie de scénarios.

III.4 Implantation des scénarios

Dans ce paragraphe, nous allons présenter pour chaque catégorie de scénarios :

- les styles de dialogues employés dans la catégorie ;
- des exemples de scénarios de la catégorie ;
- des aides disponibles au cours du déroulement du scénario.

Chacun des cinq scénarios explicité ici correspond à une stratégie pédagogique. Les stratégies pédagogiques retenues sont les suivantes :

- apprentissage par cœur ;
- apprentissage par l'instruction ;
- apprentissage par l'exemple ;
- apprentissage par analogie ;
- apprentissage par la découverte.

Ces stratégies pédagogiques sont développées dans le paragraphe II.2.3 de la partie II de ce rapport.

Les objectifs dans les scénarios sont en fait des sous-objectifs de l'objectif principal que nous nous sommes fixé (qui est, rappelons le, la capacité d'associer les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux à leurs modes de nourriture).

III.4.1 La catégorie NV1

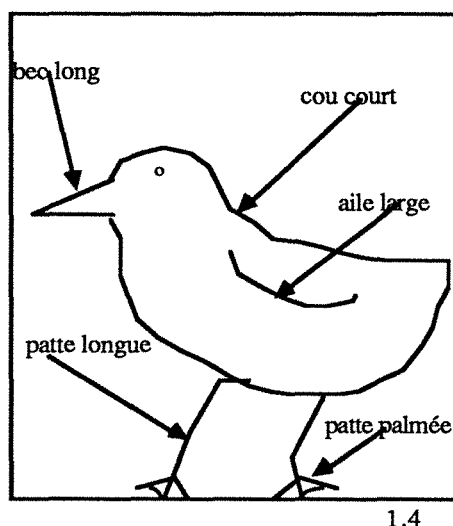
Les termes à apprendre dans cette catégorie de scénarios sont visibles sur les images. Nous avons défini un style de dialogue qui permet de renforcer l'acquisition de vocabulaire.

Dans le style de dialogue de cette catégorie, une réponse est associée à une zone de l'écran. Ces zones couvrent ou cachent certaines parties de l'oiseau exemple du scénario. Quand une zone est cachée, nous employons le processus cognitif qui consiste à faire rappeler des images par des mots (ou des termes du domaine). Dans le cas où les zones sont découvertes et qu'elles sont à cacher, nous employons le processus cognitif qui consiste à faire rappeler des termes par des images.

Exemple de scénario : Scénario A

Stratégie : Apprentissage par cœur

Objectif : Etre capable de reconnaître les différentes parties d'oiseau concernées par la nourriture : associer des images aux mots (bec, cou, patte)



Description du déroulement du scénario :

- Le système donne une image + flèches + descriptions,
- puis il enlève les descriptions,
- puis il donne les descriptions une par une,
- et l'élève doit les placer correctement.

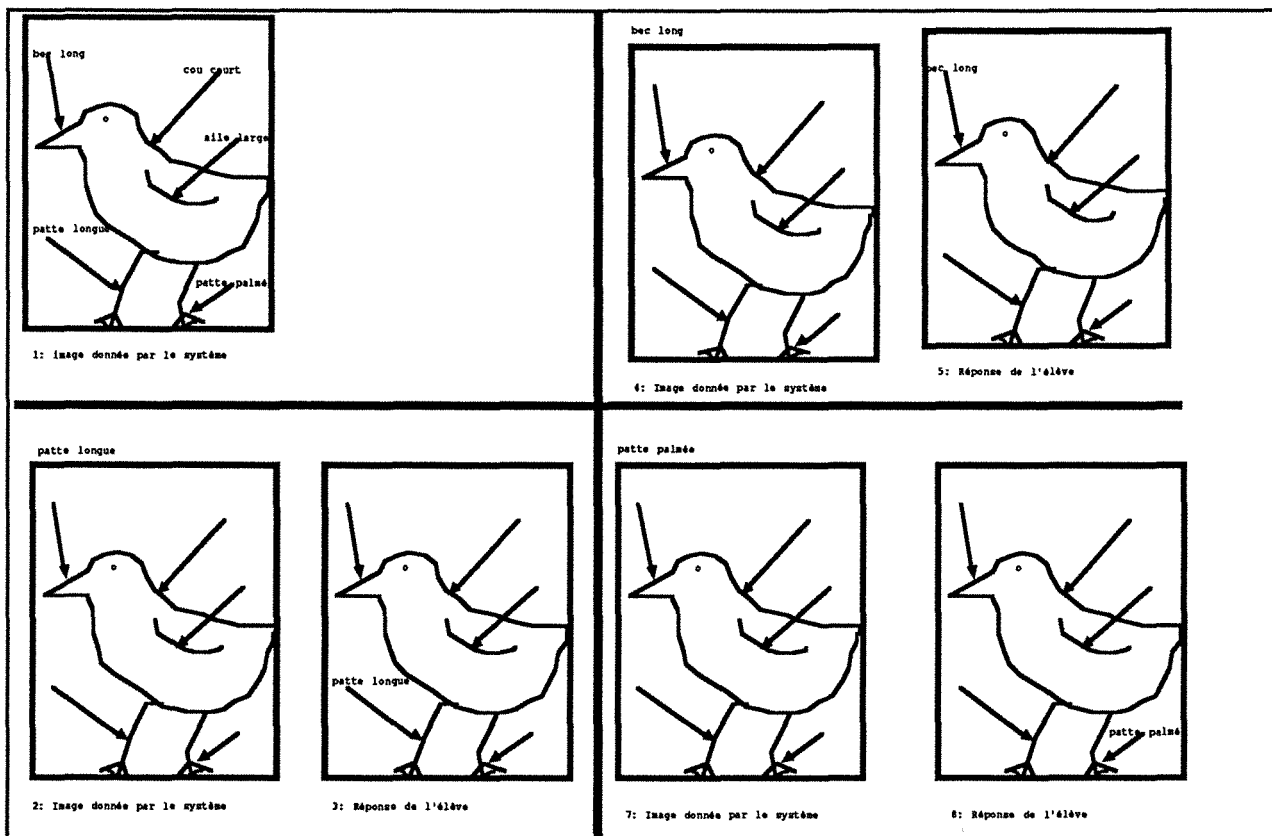
Exemple d'un déroulement :

Etape 1: le système donne une image, les flèches et les descriptions;

Etape 2 : le système donne la même image, les flèches et une description "patte longue";

Etape 3 : l'élève glisse la description sur la partie correspondante;

Le système à l'étape 4, 5 et 6, 7 reprend la démarche des étapes 2 et 3.



Scénario B

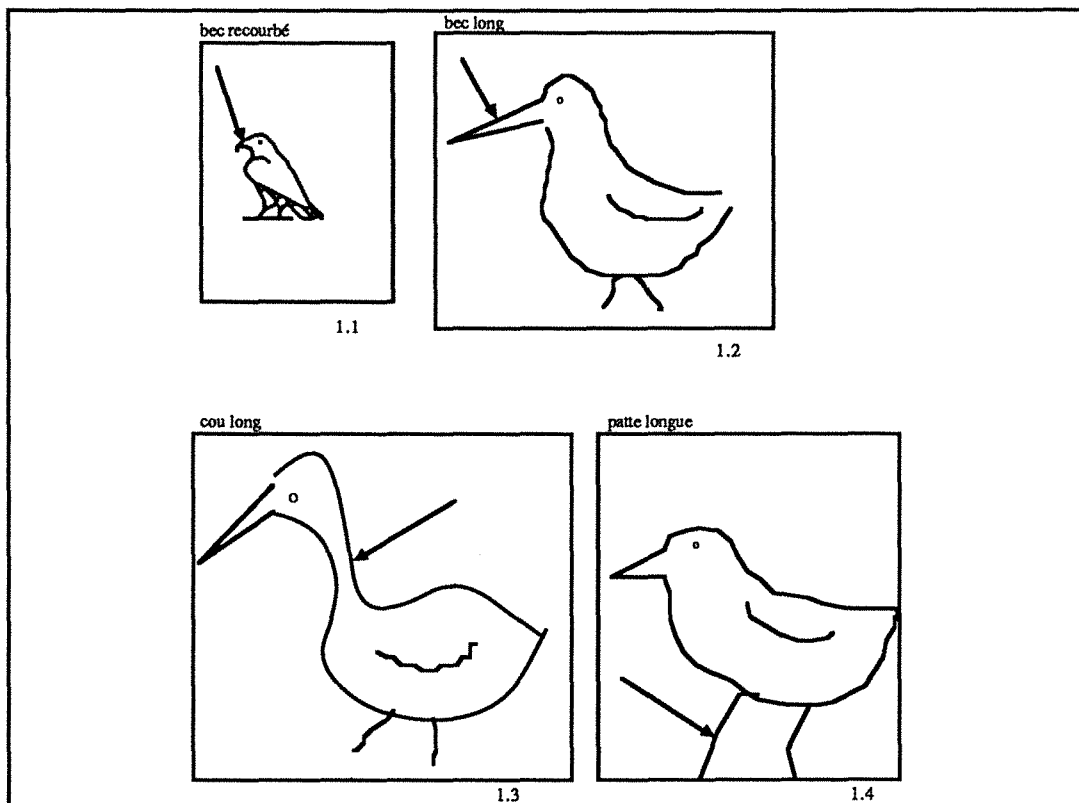
Cas 1:

Stratégie : Apprentissage par l'instruction.

Objectif : Etre capable de reconnaître les différentes parties d'oiseau concernées par la nourriture :
rappel des mots par des images (ex: différentes formes de bec, de cou, de patte)

Description du déroulement du scénario :

- Le système donne l'image + une flèche,
- L'élève doit donner le nom de la partie fléchée,
- Après 2 essais, l'élève peut demander de l'aide (le système lui présente une séquence du vidéodisque sur l'oiseau à décrire),
- Après 4 essais, le système donne le terme correct.



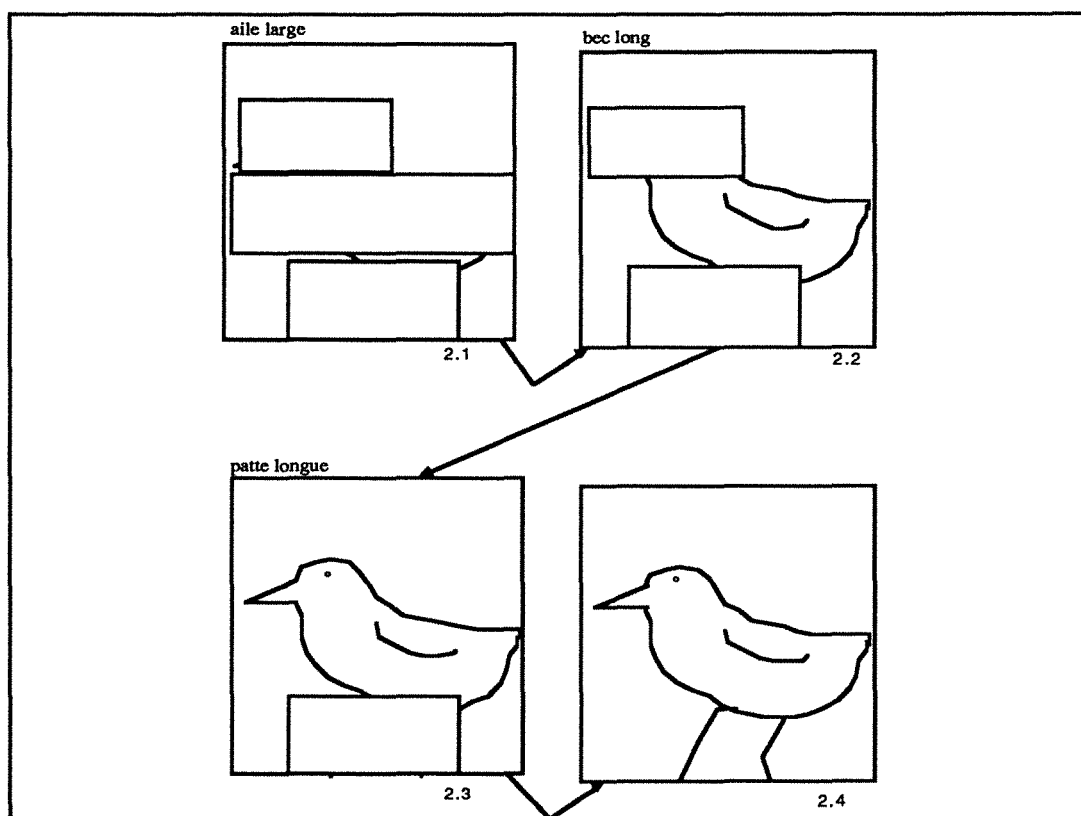
Cas 2 :

Stratégie : Apprentissage par l'instruction

Objectif : Etre capable de reconnaître les différentes parties d'oiseau concernées par la nourriture :
rappel des images par des mots (ex: différentes formes de bec, de cou, de patte)

Description du déroulement du scénario :

- Le système donne une image cachée qui contient une description (la première description) donnée par l'élève,
- Ensuite une zone de l'image est découverte si une description donnée par l'élève y correspond,
- Après 3 essais pour donner une description correspondant à une zone de l'image donnée, si aucune description ne correspond à l'une des zones, le système découvre une zone ainsi que la description,
- Il faut que l'élève découvre toutes les zones de l'image.



Exemple de déroulement

Dans le diagramme précédent,

- en 2.1 le système donne l'image cachée et l'élève donne une description "aile large";
- en 2.2 le système découvre la zone de l'image correspondante à la description donnée par l'élève en 2.1. Ensuite l'élève donne une nouvelle description "bec long";
- en 2.3 le système donne l'image avec la zone correspondante à la description découverte et l'élève donne une nouvelle description "patte longue";
- puisque toutes les zones sont découvertes, l'image est donnée en 2.4.

III.4.2 La catégorie NV2

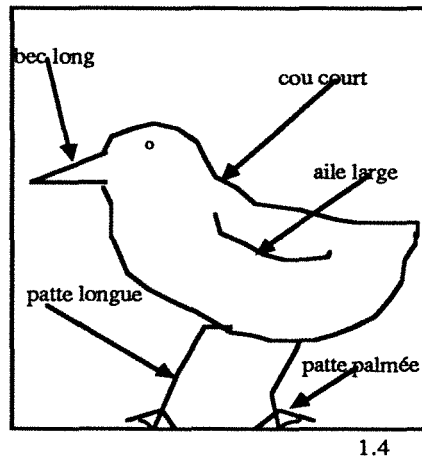
Les scénarios de cette catégorie sont destinés à favoriser la conceptualisation des connaissances. Nous avons donc défini un style de dialogue qui nous semble approprié pour ce type d'objectif.

Dans le style de dialogue de cette catégorie, nous avons *n images* et *n masques* (ou messages) qui sont à présenter les uns après les autres. Les images et les messages sont affichés simultanément. A la suite de ces affichages, une seule image est donnée sans aucun message. L'image doit être décrite par l'élève.

Exemple de scénario : scénario C

Stratégie : Apprentissage par l'exemple

Objectif: Capable de reconnaître les différentes parties d'oiseau concernées par la nourriture :
Associer des images aux mots (bec, cou, patte)



Description du déroulement du scénario :

- Le système donne plusieurs images (de même grande famille morphologique ou de mode de nourriture) + flèches + descriptions,
- puis il donne un autre oiseau de même famille + flèche mais sans description,
- L'élève doit donner les descriptions.

Exemple de déroulement

Exemple 1

- a) Le système donne les images d'oiseaux de même classe morphologique ainsi que les flèches et les descriptions correspondantes par exemple: *chouette-effraie*; *chouette-chevêche*
- b) Puis il présente *chouette-hulotte* et les flèches
- c) Et l'élève doit donner les descriptions

Exemple 2

- a) Le système donne les images d'oiseaux ayant le même mode de nourriture: *pic-épeiche*; *coucou-gris*; *pic-vert*
- b) Puis il présente *hirondelle-de-chemine* et les flèches
- c) Et l'élève doit donner les descriptions

Scénario D

Stratégie : Apprentissage par analogie

Objectif : Capable d'associer des caractéristiques morphologiques d'un oiseau à son mode de nourriture

Description du déroulement du scénario :

D.0

- * Le système donne un exemple de mode de nourriture + ses caractéristiques morphologiques + un exemple d'oiseau ayant ce mode de nourriture.

D.1

- * Puis il donne un mode de nourriture + un oiseau (associé à ce mode de nourriture) ,
Et l'élève doit trouver les caractéristiques morphologiques de cet oiseau ayant ce mode de nourriture.

D.2

- * Ou encore il donne un oiseau + ses caractéristiques morphologiques,
Et l'élève doit trouver son mode de nourriture.

D.3

- * Enfin le système peut donner un oiseau et
 - L'élève doit donner ses caractéristiques;
 - donner son mode de nourriture;
 - sa liste alimentaire.

Par progression en principe, l'élève passe de D.1 à D.3. Cependant on peut laisser à l'élève le choix entre D.1, D.2 et D.3. Ou encore le système peut faire une proposition.

Si l'élève demande des exemples

- > pour les modes de nourritures (donner un/ou plusieurs oiseaux)
- > pour les caractéristiques (donner des images)
- > pour un oiseau (donner une/ou plusieurs images)
- > pour la liste alimentaires (donner des séquences d'images)

Exemple de déroulement

D.0.

- Le système donne *carnivore* comme mode de nourriture ;
- il donne *bec-fort*, *bec-recourbé*, *griffe-forte*, *œil-perçant* comme caractéristiques et *faucon-pèlerin* comme oiseau.

D.1.

- Le système donne le même mode de nourriture, les mêmes caractéristiques, mais *épervier d'europe* comme oiseau et
- l'élève doit trouver les caractéristiques.

D.2.

- Le système donne *faucon crecerelle* et les caractéristiques de D.0 parce que l'oiseau est carnivore et
- l'élève doit trouver son mode de nourriture.

D.3.

- Le système donne *faucon hobereau* et
- l'élève doit
 - * donner ses caractéristiques;
 - * trouver son mode de nourriture;
 - * donner sa liste alimentaire.

III.4.3 La catégorie NV3

Par les scénarios de cette catégorie, l'élève doit non seulement conceptualiser ses connaissances, mais aussi apprendre à effectuer des discriminations sur ses connaissances. Nous prévoyons deux styles de dialogue dans cette catégorie de scénarios.

Par le premier style de dialogue, nous donnons une seule image plus sa description. Ensuite une image sans description est présentée. L'élève doit décrire cette image.

Le deuxième style de dialogue consiste à utiliser le processus EXPRIM ou le module d'interrogation au cours du déroulement des scénarios.

Exemple de scénario : scénarios E

Stratégie : Apprentissage par la découverte

Objectif : Capable d'associer les caractéristiques morphologiques d'un oiseau à son mode de nourriture

Description du déroulement du scénario

Type.1

- Le système donne un oiseau
- et une liste alimentaire
- puis l'élève
 - * doit choisir les aliments de l'oiseau dans la liste alimentaire;
 - * et donne la ou les caractéristique(s) qui les prouvent.

L'élève peut utiliser le processus EXPRIM c'est-à-dire résoudre le problème par des requêtes.
Si l'élève arrive par le processus EXPRIM à trouver le même oiseau, alors, c'est une réussite.

Type.2

- L'élève doit trouver un mode de nourriture que le système a choisi mais qu'il n'a pas révélé à l'élève

Pour résoudre ce problème l'élève peut soit

- Utiliser le processus EXPRIM

soit

- Répéter les trois étapes suivantes :
 - a) L'élève donne un mode de nourriture ;
 - b) Si correct alors c'est une réussite et terminer ;
 - c) Sinon le système donne une nouvelle caractéristique du mode de nourriture et reprendre le déroulement à a).

L'implantation de tous ces scénarios nécessite un certain nombre d'opérations de base. C'est ce que nous présentons dans le paragraphe suivant.

III.5 Les opérations "élémentaires" du système pour les dialogues

Pour bien présenter les images et les informations correspondantes, le système doit effectuer un certain nombre d'opérations. Par exemple, quand les scénarios utilisent des zones de l'écran, il faut que le système couvre ou délimite ces zones. Au cours du déroulement d'un scénario, parfois des zones qui ont été couvertes doivent être découvertes par le système. Le système doit s'assurer à ce que les superpositions soient faites quand il s'agit de placer des descriptions sur des positions précises sur l'écran.

Les différentes opérations sont enchaînées de manière à coordonner le dialogue entre l'élève et le système. Par exemple pour chaque scénario il faut :

- préparer la liste d'images à utiliser ;
- préparer la liste des coordonnées de l'écran ;
- préparer la liste de textes à afficher sur les coordonnées ;
- préparer la liste de réponses possibles ;
- entamer ensuite les dialogues.

L'enchaînement des dialogues se fait par deux méthodes de progression. Une méthode consiste à afficher toutes les images et toutes les informations correspondantes. Ensuite l'élève donne ses réponses sans être interrompu par le système. Une autre méthode consiste à associer à chaque réponse, un affichage d'information correspondante.

Mais notons qu'au cours du déroulement des dialogues, l'élève peut demander de l'aide. Les aides se présentent sous trois formes d'opérations élémentaires :

- * une aide peut être une séquence d'images. Par exemple, si l'élève doit donner le nom d'un oiseau, s'il demande de l'aide, le système peut lui présenter la séquence de cet oiseau ;
- * une aide peut être une zone d'image plus sa description. Cette aide consiste donc à délimiter la zone et ensuite placer la description sur la zone délimitée ;

- * une aide peut être une image entière plus sa description. Dans ce cas, le système affiche une image et superpose toutes ses descriptions sur les différentes zones de l'image.

Les scénarios définis avec les principes énumérés ci-dessus sont représentés dans la maquette par deux classes d'OPS5+. Voyons comment elles se présentent.

III.6 La représentation des scénarios dans la maquette

Les classes utilisées pour représenter les scénarios dans la maquette sont la classe *scénario* et la classe *dialogue*.

CLASSE : *scénario*

ATTRIBUTS : *numéro-de-scénario*
catégorie-de-scénario
méthode-de-progression

CLASSE : *dialogue*

ATTRIBUTS : *numéro-de-scénario*
liste-images
liste-coordonnées
liste-textes
liste-réponses

Explication des attributs des deux classes

L'attribut *numéro-de-scénario*

A chaque scénario correspond un numéro d'identification. Ce numéro est utilisé pour identifier aussi les dialogues pour un scénario donné.

L'attribut *catégorie*

C'est l'attribut qui marque à quelle catégorie appartient le scénario appartient (cf le paragraphe II.2. de ce chapitre).

L'attribut *méthode-de-progression*

Il marque le type de progression pendant le dialogue.

L'attribut *liste-images*

Il donne la liste d'images à utiliser pour le dialogue. Le nombre d'image peut être un ou plus.

L'attribut *liste-coordonnées*

Cette liste donne les coordonnées des textes à afficher pour le dialogue.

Les attributs *liste-textes* et *liste-réponses*

Ils correspondent à la liste de textes à afficher par le système pendant le dialogue et les réponses attendues de la part de l'élève. En effet les réponses de l'élève sont comparées aux éléments de cette liste.

Ces scénarios complètent le module de technique pédagogique. Le prototype est en cours d'expérimentation au lycée Poincaré. Le chapitre suivant est consacré à la présentation de cette expérimentation.

CHAPITRE IV

Expérimentation

L'expérimentation d'un système est aussi importante que sa production. Elle constitue un moyen pour valider les concepts définis dans le système. En somme, c'est un **moyen d'évaluation** du système. Cette évaluation peut entraîner une amélioration du système et permettre de mieux définir les concepts pour d'autres systèmes du même type.

Le but de notre expérimentation est donc de nous permettre d'évaluer notre système d'EIIAO et de nous permettre d'apporter des améliorations ainsi qu'une redéfinition des concepts du système qui peuvent se révéler inadaptés.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons des critères d'évaluation qui ont été proposés. Le cadre de l'expérimentation que nous avons défini pour le prototype BIRDS est présenté au paragraphe IV.2. Les expérimentations qui ont été faites sont présentées au paragraphe IV.3. et le paragraphe IV.4. est consacré aux expérimentations en cours de réalisation au Lycée Poincaré à Nancy. On trouvera en annexe le compte rendu des premières expérimentations.

IV.1. Des critères d'évaluation

Les critères d'évaluation sont en fait des points durant les différentes phases d'élaboration d'un didacticiel qui méritent une attention particulière [BET87]. Selon un consensus général, l'élaboration d'un didacticiel se déroule en 5 phases pour lesquelles on peut définir les critères d'évaluation suivants.

Phase de définition du projet

Lors de cette phase doivent être précisés le niveau et la place du système dans le cursus scolaire : un système d'EAO doit cadrer dans le cursus scolaire et avec un niveau d'application bien défini.

Phase d'analyse des problèmes pédagogiques

Doivent être précisés ici :

- la définition des objectifs pédagogiques : un système d'EAO ne peut pas cadrer avec un cursus scolaire sans qu'il y ait un ou des objectifs pédagogiques bien définis. On peut donc évaluer un système en prenant en compte les objectifs pédagogiques définis et leur adéquation au niveau scolaire défini pour le projet ;
- l'analyse détaillée de la matière à enseigner : la mise en œuvre des techniques pédagogiques nécessite une définition détaillée de la matière à enseigner ;
- l'initiative laissée à l'élève : l'initiative laissée à l'élève influence le processus d'apprentissage par l'élève.

Phase de réalisation

Différents choix sont à expliciter :

- choix des stratégies pédagogiques : après avoir défini les objectifs pédagogiques, un point important dans la phase de réalisation est la détermination des stratégies pédagogiques à implanter. Ces stratégies doivent permettre d'atteindre les objectifs pédagogiques ;
- choix des cheminements : les stratégies pédagogiques sont implantées avec des méthodes de cheminements divers;
- choix des média : les média employés jouent un rôle primordial puisque c'est par eux que les connaissances à transmettre sont véhiculées. L'efficacité d'un système peut donc être mesurée par les média employés.

Phase de programmation

Lors de cette phase, il faut particulièrement soigner :

- l'interface apprenant-élève : les systèmes d'interface doivent permettre à l'élève de se concentrer sur l'objectif pédagogique à atteindre sans être gêné par l'utilisation de la machine ;
- les choix des formes et la qualité de présentation de la matière : les systèmes d'interface permettent de définir des formes et de réaliser une qualité de présentation des connaissances de la matière et permettent de rendre plus attractive l'utilisation de la machine.

Documentation

Le système doit être bien documenté, surtout la description de son fonctionnement pour faciliter l'utilisation du système par les élèves et les professeurs non informaticiens.

L'efficacité d'un système d'EAO dépend donc des appréciations sur chacun de ces critères. Nous pouvons par conséquent évaluer des systèmes *a-priori* avant leurs expérimentations et confirmer cette évaluation *a-posteriori* après les expérimentations.

IV.2. L'évaluation "a priori" du prototype BIRDS

Nous constatons que la plupart des critères d'évaluation énumérés dans le paragraphe précédent sont bien représentés et implantés dans le prototype BIRDS. Voyons comment les critères sont pris en compte dans le prototype.

Phase de définition du projet

- le niveau et la place du système dans le cursus scolaire : le prototype BIRDS cadre bien avec un cursus scolaire puisque son objectif pédagogique correspond à une préoccupation précise en classes de 6^e et de 5^e.

Phase d'analyse des problèmes pédagogiques

- la définition des objectifs pédagogiques : l'objectif du prototype (qui est "la capacité d'associer les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux à leurs modes de nourriture) est donc bien précis et le domaine également (l'ornithologie) ;
- l'analyse détaillée de la matière à enseigner : l'objectif et son domaine ont été explicités en collaboration avec un professeur de sciences naturelles. La matière à enseigner, soit "les rapports morphologiques - nourritures et déplacements" a été longuement détaillée et donc parfaitement définie ;
- l'initiative laissée à l'élève : la préoccupation majeure du prototype est de laisser l'élève évoluer librement dans ses phases cognitives (cf paragraphe II.2. de la partie II). Nous avons donné la priorité à l'initiative de l'élève tout en prévoyant de lui faire en cas de besoin, des propositions de progression par les scénarios.

Phase de réalisation

- choix des stratégies pédagogiques : nous avons défini des modules qui correspondent à chaque phase cognitive, et nous avons implanté des stratégies pédagogiques différentes dans les scénarios ;
- choix des cheminements : nous utilisons principalement deux méthodes de cheminement dans le prototype. Ces méthodes sont la méthode de progression en dent de scie (cf

paragraphe II.2.3. de la partie I) et le modèle heuristique par le processus EXPRIM (cf paragraphe I.6. de la partie II) ;

- choix des média : nous employons l'image, le graphisme, le son et le texte.

Phase de programmation et de documentation

- interface apprenant-élève : le gestionnaire de menus et d'écran ont été définis pour faciliter l'interface apprenant-machine. Nous avons développé un système qui permet une grande souplesse pour la saisie des données. Par exemple la correction d'orthographe, les caractères peuvent être minuscules ou majuscules, l'annulation et la correction des réponses, etc ;
- choix des formes et la qualité de présentation de la matière : nous avons développé un système d'incrustation. Toutes les présentations se font sur le téléviseur avec une judicieuse utilisation de couleurs. Etant donné que le système est basé sur l'image et que nous utilisons le vidéodisque comme support, ces images sont de bonne qualité.

Outre le cadre *a priori* retenu, nous avons déjà fait quelques expérimentations et nous en poursuivons actuellement. Dans les deux paragraphes suivants, nous allons présenter les expérimentations qui ont été faites et qui sont en cours.

IV.3. Les expérimentations qui ont été faites

Les expérimentations que nous avons faites avaient pour but de nous permettre d'apprécier notre système en fonction des critères d'évaluation énumérés au paragraphe III.1. et de nous montrer d'avantage les difficultés que les utilisateurs d'un tel système peuvent rencontrer au cours de son déroulement. En fait, nous avons été principalement attentif aux difficultés de communication de l'utilisateur avec le système. Pour déterminer cela, nous n'avons pas donné de notice d'explication détaillée autre que les dépliants qui expliquent, d'une manière générale, le déroulement du système. Par hypothèse, nous pensions qu'un système convivial n'avait pas besoin d'un guide de l'utilisation très détaillé.

Ces expérimentations ont été faites sous forme de démonstrations durant plusieurs manifestations dont :

- la journée porte ouverte sur le thème de l'audio-visuel en enseignement, qui a eu lieu au lycée Poincaré de Nancy (octobre 1987) ;
- semaine à la bibliothèque municipale de Ludres avec comme thème : "*les oiseaux de Ludres*" (mai 1988) ;
- le congrès à Caen sur "l'application de l'I.A. et les nouvelles technologies en agriculture" (septembre 1988) ;
- le congrès INFORSID (mai 1989).

Au cours de ces démonstrations, nous avons remarqué les trois faits suivants :

- (1) Les utilisateurs informaticiens ont cherché souvent à tester la fiabilité du système en essayant de le bloquer au cours du déroulement. Les tests que nous avons notés portent sur :
 - l'annulation des opérations en cours ;
 - la demande d'opérations inexistantes ;
 - l'essai de requêtes pour lesquelles ils pensent que le système n'a pas de réponse. Par exemple en commettant délibérément des erreurs lexicographiques ou en donnant des termes complètement faux (ex: bac au lieu de bec, pierre comme nom d'oiseau) ;
 - etc.
- (2) Les utilisateurs informaticiens spécialistes de langage naturel ou des systèmes documentaires ont cherché à donner des requêtes en langage naturel ou avec des connecteurs logiques. Par exemple en posant les requêtes suivantes :
 - "*un oiseau qui se nourrit dans l'eau*" ,
 - "*plume rouge et cou long sauf piscivores*".
- (3) Les non informaticiens et les élèves ont posé les requêtes que nous attendions. Mais nous avons constaté qu'ils s'intéressaient plutôt aux fonctions du système qu'à l'objectif pédagogique. Il faut savoir que souvent, particulièrement pour les jeunes élèves, l'ordinateur et surtout le vidéodisque sont des outils nouveaux.

Au cours des expérimentations plus systématiques que nous faisons actuellement nous avons pris en compte les remarques que nous avons faites et avons défini un plan d'expérimentation.

IV.4.1. Le plan d'expérimentation en cours

L'expérimentation du système est divisée en deux étapes :

- la première étape consiste en la présentation générale du système et laisse les élèves se familiariser avec le système. Nous comptons donner une notice très détaillée sur l'utilisation du système. Nous prévoyons également des sessions de familiarisation avec les systèmes - une sorte de documentation en ligne, en fait par un programme qui montre l'utilisation du système. C'est ce que nous avons fait le 18 novembre 1989;
- la deuxième étape consiste en l'expérimentation proprement dite.

IV.4.2. Le cadre de l'expérimentation

Nous comptons faire intervenir dix élèves au total durant la période d'expérimentation: cinq élèves de classe de 6^e et cinq élèves de classe de 5^e. Nous avons décidé de faire reposer notre expérimentation sur deux classes pour la raison suivante : un élève de classe de 5^e a probablement plus de connaissances en ornithologie qu'un élève de classe de 6^e. Dans ce cas, nous pouvons observer les comportements des élèves des deux classes pour noter des différences de comportement en fonction des connaissances déjà acquises.

Ces expérimentations se font dès à présent avec Mme. Colette Roynette (qui a été notre expert en ornithologie) et Mme. Michelle Patte (qui est professeur de sciences naturelles en classes de 6^e), au lycée Poincaré de Nancy. Elles vont durer du 20 novembre 1989 au 15 décembre 1989.

IV.4.3. Durée d'expérimentation

Nous avons prévu neuf séances de vingt minutes chacune pour l'expérimentation. Cette durée est généralement admise par les pédagogues comme optimale pour l'attention des élèves. Ce qui fait un total de trois heures. Nous avons limité la durée totale à trois heures parce que nous pensons que cela suffit pour les observations à faire sur les élèves et sur le système.

IV.4.4. Les observations que nous faisons durant l'expérimentation

Les objectifs de l'expérimentation sont définis sous forme d'observations que nous effectuons durant l'expérimentation.

(1) Observer l'activité de l'élève dans chaque sous module du module de technique pédagogique.

Cela signifie en fait que nous voulons observer l'évolution du paramètre N du modèle de l'élève. Nous pouvons ainsi juger si le système a réellement entraîné une évolution dans les habitudes évocatives de l'élève.

(2) Observer les termes utilisés par l'élève.

Cette observation vise à confirmer l'évolution constatés par la première observation. Nous observons le nombre de termes descriptifs et de termes conceptuels utilisés, et cela sur plusieurs sessions. Nous voulons donc confirmer l'évolution du paramètre N du modèle de l'élève par les paramètres F et C du modèle.

(3) Observer les types d'erreurs commises.

Cette observation vise à mesurer l'évolution du paramètre E du modèle de l'élève. Nous observons les types d'erreurs (erreurs lexicographiques et erreurs d'association) et cela par rapport à l'habitude évocative employée par l'élève.

(4) Observer l'utilisation des scénarios.

Nous observons le comportement de l'élève quand les scénarios sont proposés. Par exemple il serait intéressant de voir si les scénarios proposés sont ignorés par l'élève ou s'il les quitte avant que le système ne lui propose de le faire.

(5) Observer la facilité d'utilisation du système.

Cette observation vise à mesurer les difficultés de communication en vue d'améliorer le système. Par exemple, nous observons les difficultés des élèves à effectuer des opérations, à utiliser la souris, à commander le vidéodisque ou à éditer un texte.

(6) Noter les remarques des élèves.

Nous notons les remarques des élèves sur trois points : la facilité d'utiliser le système, s'ils sont intéressés par le contenu pédagogique, s'ils ont été motivés et s'ils ont acquis de nouvelles connaissances.

(7) Noter les remarques des professeurs.

Nous notons les remarques des professeurs sur trois points : l'adéquation de l'objectif pédagogique, la facilité d'utilisation et les conseils sur les améliorations possibles. Les deux dernières observations nous paraissent très importantes puisqu'elles concernent les utilisateurs directs du système.

Autre méthode d'expérimentation

Ces observations énumérées ci-dessus se font "en situation réelle". Une autre méthode d'expérimentation est d'imaginer des tests (de style jeux d'essais même aberrants) qui permettraient de bien mettre en valeur la fiabilité et la correction du système, cela en modifiant le modèle de l'élève par le concepteur. Par exemple, modifier délibérément les paramètres N et E du modèle de l'élève et en observer les conséquences.

IV.5. Conclusion

A partir des expérimentations déjà faites, nous sommes satisfait du système sur un certain nombre de points. Par exemple, nous avons constaté que le système s'est révélé être très motivant, ce que nous avons pris comme hypothèse de recherche. L'intérêt et l'enthousiasme de notre expert (Mme. Colette Roynette) ainsi que d'un certain nombre d'institutions de recherche et de sociétés de service nous rassurent et nous montrent l'importance et l'adéquation de notre système à des domaines différents et à des préoccupations diverses. Par exemple, nous avons été invité par l'I.F.A.R.T.A. en Italie, une organisation de recherche et de formation en agriculture pour présenter notre prototype à un congrès sur le thème "*Open learning*" en Juin 1989, et nous avons été invité aussi aux journées "*A la rencontre des Sciences et des Techniques, quelle culture pour demain ?*" de Pont à Mousson en Octobre 1989) .

Nous pensons que le résultats des expérimentations en cours vont nous permettre d'évaluer plus objectivement le système et de l'améliorer et peut être d'aller jusqu'à sa commercialisation. Nous sommes néanmoins conscient du fait que nos observations peuvent nous amener à redéfinir ou à modifier des concepts que nous mettons en œuvre dans le prototype afin de le rendre plus efficace.

CONCLUSION

Comme nous l'avons présenté dans l'introduction, notre travail est basé d'une part

- sur la thèse que l'utilisation poussée de l'image et l'application de l'intelligence artificielle sont deux moyens pour un enseignement individualisé éveillant la curiosité de l'élève ; et d'autre part
- sur l'hypothèse que l'utilisation de l'image avec le processus EXPRIM peut jouer un rôle important dans un processus d'enseignement.

Nous sommes parvenu à la **définition d'un modèle de l'élève** (qui est présenté au chapitre III de la partie II de la thèse) qui soit basé sur la **psycho-pédagogie de l'apprentissage**. Nous avons essayé tout au long de la thèse de montrer l'importance de ce type de modèle - c'est à dire l'importance de prendre en compte les traits particuliers de l'élève pendant le processus d'apprentissage.

Le modèle que nous avons défini est basé sur **l'utilisation d'image** dans le processus d'apprentissage. Aussi l'environnement d'apprentissage que nous avons construit autour de ce modèle est basé sur l'utilisation d'image. Cet environnement et l'architecture sur laquelle il est construit sont présentés au chapitre II de la partie II de la thèse. Nous avons essayé de démontrer l'importance et les rôles de l'image dans un processus d'apprentissage.

Parmi les **phases cognitives** d'un processus d'apprentissage, le raisonnement et l'application des connaissances déjà acquises permettant de déduire ou d'induire d'autres connaissances. Nous avons démontré (au chapitre I de la partie III de la thèse) **l'adéquation du processus EXPRIM** dans cette phase cognitive et comment nous l'avons exploité dans le système construit (appelé un système d'EIIAO : un Enseignement basé sur l'Image, Intelligemment Assisté par Ordinateur) pour réaliser ces concepts dans le prototype BIRDS.

Nous nous sommes intéressé également aux difficultés que rencontrent les élèves pour entrer dans un processus d'apprentissage. Pour cela, nous avons défini des modules pour chaque phase cognitive et des scénarios (cf chapitre II de la partie II et chapitre II de la partie III de la thèse) qui ne se limitent pas à des besoins pédagogiques précis mais prennent en compte aussi les besoins cognitifs.

Ainsi que nous l'avons explicité en paragraphe II.3 de la partie II, un système d'EIIAO nécessite une interface conviviale et intelligente. Nous avons présenté les systèmes d'interfaces développés pour le prototype BIRDS. Ces interfaces sont nécessaires afin de ne pas nuire à l'objectif pédagogique car l'élève peut être amené à apprendre à utiliser l'ordinateur au lieu de se concentrer sur l'objectif pédagogique.

Nous pensons que ce travail n'est pas une fin en soi. Voyons quelques prolongements possibles de cette thèse.

(A)

Le travail peut être poursuivi par l'étude de l'application des concepts présentés à des domaines autres que l'ornithologie (support du prototype BIRDS).

(B)

L'expérimentation de la maquette peut être poursuivie afin de l'améliorer, voire de l'amener à un stade de commercialisation.

(C)

La réalisation d'un système d'EIIAO nécessite de nombreux outils de programmation - une étude d'environnement de fabrication de ce type de système peut être menée. Notons que ce type d'environnement doit être différent des autres types d'environnements de travail (comme un environnement de programmation). Cela dû au fait que les types de média à utiliser et les types d'informations à manipuler sont divers et variés.

(D)

Le modèle de l'élève peut servir de référence à la définition d'un modèle d'utilisateur à implanter dans la maquette EXPRIM (RIVAGE). Par ce modèle, on ne cherchera plus les images uniquement par les requêtes de l'utilisateur, mais aussi à "apprendre" comment l'utilisateur raisonne. Ce travail fait l'objet, actuellement, d'un stage de DEA.

(E)

Les concepts énumérés dans cette thèse (par exemple le modèle de l'élève et les modules de technique pédagogique) peuvent servir d'expérimentation pour d'autres contextes d'apprentissage. Nous pouvons nous intéresser à l'adaptation du système à d'autres niveaux scolaires, par exemple le niveau universitaire. De la même manière, nous pouvons nous intéresser à son adaptation à la rigueur des connaissances à acquérir. Par exemple, comment adapter le système pour la formation

dans des sites nucléaires ou pour une campagne d'information dans le grand public ? Ce genre de système paraît fort bien s'adapter à la formation continue.

En conclusion, ce travail a été très passionnant et nous comptons le poursuivre pour le voir un jour utilisé dans des institutions scolaires en espérant qu'il constitue un jour une référence pour la conception des systèmes d'EAO (mais ne soyons pas trop audacieux).

REFERENCES

- [AGD87] Congrès Francophone sur l'Enseignement Assisté par Ordinateur, Cap d'Agde 23-25 Mars 1987.
- [ADI81] Rapport EAO : Spécification du projet DIANE; Document de l'Agence de l'Informatique, Paris, Décembre 1981.
- [ARD81] ARDOUREL Y., "L'EAO est au Cœur des Problèmes Pédagogiques pour Aujourd'hui et Demain", TSI Vol 7, N° 1, 1988.
- [BAR87] BARRIERE M., NAYMARK J., PAQUIER G., "Expérimentation du Vidéodisque: Parlez-moi Budget", [AGDE87].
- [BAR87] BARRIL P., "Explication et Comptes Rendus d'Erreurs en Programmation Logique", [AGD87].
- [BAS76] BASSAN V.J., Eds(1976), "Comment Intéresser l'enfant à l'école". Paris, Presses Universitaires de France.
- [BES82] BESTOUGEFF H., FARGETTE J.P., Eds(1982), "Enseignement et ordinateur". Paris, Cedic/Nathan.
- [BET87] BETREMIEUX G. et Al., "Un Expérience d'Evaluation de Logiciels", [AGD87].
- [BOR88] Image et I.A. dans l'Information Scientifique et Technique, Cours INRIA dirigé par Christian BORNES, INRIA 1989.
- [BRO86] BROWNSTON L., FAMEL R., KANT E., MARTIN N., Eds(1986), "Programming expert systems in OPS5". Massachusetts, Addison Wesley.
- [BOU87] BOULET A. CHEVRIER J. "Typologie des Objectifs et des Contenus des Programmes de Formation des Maîtres en APO au Quebec", [AGD87].
- [CAR70] CARBONELL J., "AI in CAI : An Artificial Intelligence Appraoch to Computer Assisted Instruction", IEE Transactions on Man-Machine Systems MMS-11:4, 190-202.
- [CAR77] CARR and GOLDSTEIN, "Overlays : A theory of modeling for computer aided instruction". MIT AI LAB, MEMO 406, Cambridge MA.
- [CER87] CERI, "Technologies de l'Information et Apprentissages de Base", Lecture, écriture, sciences et Mathématiques, OCDE.
- [CHA87] CHAOUACHI A., LEFEVRE F., MACCHION J. P., "CYCLOPE: Un Système d'Ecriture et de Conception de Logiciels pour l'Enseignement de Comportements" [AGD87].

- [CHAU87] CHAUVET S., "Typologie des Didacticiels", Revue Formation et Prospective, Mai 1987.
- [CHE87] CHEVROLET D., "Instruire, Enseigner, Eduquer, Former", Revue Formation et Prospective, Avril 1987.
- [GER89] GERARD C., "Intelligence Artificielle et formation : applications pédagogiques", Journée Nationale EIAO, Lyon, Avril 1989.
- [COO83] COOMBS M.J., Eds(1983), "Developments in experts systems". Glasgow, Scotland, Academic Press.
- [CRE86] CREHANGE M., DAVID J.M., FOUCAUT O., HALIN G., THIÉRY O., "Les Structures de Données dans le Projet EXPRIM", Congrès Inforsid, Fontevraud, Mai 1986.
- [CUI81] CUISIN M., DUNN E., "Le Monde Fascinant des Oiseaux", Eds. Gründ, Paris, 1981.
- [DAL87] DALLOZ X., "Le Vidéodisque est déjà Partout", Journal de la Formation Continue et de l'EAO N° 219 Novembre 1987.
- [DAV86] DAVID A. A., "Application d'EXPRIM en EAO", Rapport de DEA, 1986.
- [DAV88] DAVID A. A., "Des Scénarios d'EIAO", Rapport CRIN, 1988.
- [DAVa89] DAVID A. A., THIÉRY O., CREHANGE M., "Intelligent Hypermedia in Education", ICCAL, Dallas-USA, Mai 1989.
- [DAVb89] DAVID A. A., THIÉRY O., CREHANGE M., "Intelligent Image Based Computer Aided Education (IICAE), SPIE & IEEE, International conference on "Applications of Artificial Intelligence", Orlando-USA, Mars 1989.
- [DAVc89] DAVID A. A. (papier invité) "Un Environnement d'Apprentissage basé sur l'Image : Notre Prototype BIRDS", Congrès "Open learning en Agriculture", I.R.F.A.T.A., Bologne, Italie, Juin 1989.
- [DAVd89] DAVID A. A., THIÉRY O., (papier invité) "Image et Pédagogie", Colloque "A la rencontre des Sciences et des Techniques, quelle culture pour demain ?", Pont-à-Mousson, Octobre 1989.
- [DAVe89] DAVID A. A., THIÉRY O., "Le Prototype BIRDS : Une expérimentation d'un Modèle de l'Elève dans un Environnement d'Apprentissage basé sur l'Image", Journées de travail "EIAO"-PRC IA, Paris, Décembre 1989.
- [DAV90] DAVID A. A., THIÉRY O. "Taking into consideration the Student's Cognitive Evolution in CAI", International Conference on "Technology of Education", Bruxelles, Belgique, Mars 1990.

- [DED86] DEDE C., "A review and synthesis of recent research in intelligent computer-assisted instruction". Int. J. Man-Machine Studies, 1986, 24, pp. 329-353.
- [DEJ83] DEJONGHE J.F., "Les Oiseaux des Villes et des Villages", Eds. Point Vétérinaire, Maisons-Alfort, France, 1983.
- [DEJ84] DEJONGHE J.F., "Les Oiseaux de Montagne", Eds. Point Vétérinaire, Maisons-Alfort, France, 1984.
- [DUB87] DUBE L., "L'Apprentissage <<l'histoire de la science est aussi une science>>", Journal de la Formation Continue et de l'EAO, N°217.
- [DUBU87] DUBUC L., "EAO en Amérique du Nord", Revue Formation et Prospective, Septembre 1987.
- [DUC87] DUCHASTEL P., "GEO" Revue Formation et Prospective, Décembre 1987.
- [DUR79] DURAND J. Cl., MOITRIEUX G., Eds(1979), "Lire Les Images", CRDP Nancy.
- [FAR86] FARGETTE J. P., LATGE G., "EAO et Formation professionnelle". Les Editions d'Organisation.
- [FON87] FONTAINE J. C., FENEUILLE D., Eds(1987), "Synthèse Vocale et Lecture" [AGD87].
- [GAR88] DE LA GARANDERIE A., "Les Profils Pédagogiques: Discerner les Aptitudes Scolaires", Le Centurion Collection Paidoguides.
- [GRA88] GRANBASTIEN M., "Une Approche à Base de Connaissances pour l'Enseignement de la Programmation, Conception et Réalisation de SAIDA : Système d'Aide à l'Implantation de Données Abstraites", Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences, CRIN, NANCY 1988.
- [HAL88] HALIN G., MOUADDIB N., FOUCAUT O., CRÉHANGE M., "Semantics of User Interface for Image Retrieval : Possibility Theory and Learning Technics applied on two prototypes", Congrès RIAO, Boston, Mars 1988.
- [HAL89] HALIN G., "Apprentissage pour la recherche interactive et progressive d'image : processus EXPRIM et prototype RIVAGE", Thèse de doctorat en Informatique, Centre de Recherche en Informatique de Nancy, Octobre 1989.

- [HALE83] HALEY P., KOWALSKI J., McDERMOTT J., McWHORTER R., "PTRANS : A rule-based management assistant, Carnegie-Mellon University, 1983.
- [HAY85] CYROT J., "Les Oiseaux", Fernand Nathan, Paris 1985
- [HER85] HERMANT C., Eds(1985), "Enseigner apprendre avec l'ordinateur". Paris, Cedic/Nathan.
- [HEN86] HENNART M., BERTHON J.F., BINSE M., Eds(1986), "Ecrire des logiciels pédagogiques". Paris, Cedic/Nathan.
- [ICC89] 2nd International Conference, ICCAL '89, Dallas, TX, USA, May 1989.
- [ITS88] Intelligent Tutoring System, eds. D. Sleeman and J.S. Brown, Academic Press, New York, 1988.
- [LEF84] LEFEVRE J.M., Eds(1984), "Guide pratique de l'enseignement assisté par ordinateur". Paris, Cedic/Nathan.
- [LEL87] LELOUCHE R., "Apports de l'EIAO à l'EAO", [AGD87].
- [LIE87] LIEURY A., "Spécialisation Hermisphérique et Traitement de l'Image", Revue Formation et Prospective, Décembre 1987.
- [MAI87] MAITRE F., "Les Apports de l'Intelligence Artificielle à l'EAO", Journal de la Formation Continue et de l'EAO N° 219 Novembre 1987.
- [McDER82] McDERMOTT J., "XSEL : A computer Salesperson's assistance", Artificial Intelligence 10, Eds. Hormood, 1982.
- [MEN88] MENDELSON P., "Les Activités de Programmation Chez l'Enfant: Le Point de vue de la Psychologie Cognitive", TSI88.
- [MOR86] MORINET-LAMBERT J., "Integration de l'Image en E.A.O. : l'Illustrateur", Thèse du 3^e Cycle, CRIN, Nancy, 1986.
- [MOU79] MOUNERAT C., LEFRANC R., PERIAULT J. Eds(1979), "L'Enfant et l'Image", CNDP Mémoires et Documents Scolaires.
- [NIC87] NICAUD J. F. "APLUSIX: Un Système Expert en Factorisation pour un Logiciel d'EIAO", [AGD87].
- [NIC88] NICAUD J. F., VIVET M., "Les Tuteurs Intelligents: Realisations et Tendances de Recherche", [TSI88].
- [PIA69] PIAGET J., (Eds 1969), "Psychologie et Pédagogie", PUF.
- [PIA74] PIAGET J., (Eds 1974), "Adaptation vitale et Psychologie de l'Intelligence", HERMANN.

- [PIA75] PIAGET J., (Eds1975), "L'Equilibration des Structures Cognitives : Problème Central du Développement", PUF.
- [PIC87] PICARD M., BRAUN G. , Eds(1987), "Les Logiciels Educatifs". PUF, Collection que sais-je ?
- [QUA87] QUAGLIA F., "L'Audiovidéographie Interactive en Grande Section de Maternelle (MARION et NICOLAS)", [AGD87].
- [QUE80] QUERE M. "Contribution à l'Amélioration des Processus d'Enseignement, d'Apprentissage et d'Organisation de l'Education, l'Ordinateur Outil et Objet de Formation, Application au Projet SATIRE", Thèse d'Etat, Université Nancy I, 1980.
- [RAC87] RACINE-LAZURE N., CHEVRIER J., "Une Expérience Réussie d'Implantation de l'Ordinateur à l'Ecole Primaire dans un contexte d'outil d'Apprentissage" [AGD87].
- [REG88] REGOURD J. P., "GAMETE: Un Système Auteur pour l'EIAO", [TSI88].
- [SAB88] SABAH G. "L'Intelligence Artificielle et le Langage - Représentation de Connaissances", Volume 1, Eds HERMES 1988.
- [SEL87] SELF J., "Student models: What are they ?", IFIP/TC3, FRASCATI, May 1987, North Holland (R. Lewis, P. Ercoli eds).
- [STU87] STUBBS M., PIDDOCK P., "L'Intelligence Artificielle dans l'Apprentissage et l'Enseignement", Revue Formation et Prospective, Décembre 1987.
- [THI88] THIERY O., DAVID A. A., CREHANGE M., "Un Enseignement par l'Image Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIIAO) : un exemple concret en ornithologie", Premières Journées Internationales Application de l'Intelligence Artificielle à l'Agriculture, à l'Agrochimie et aux Industries Agro-Alimentaires, Caen, France, 29-30 Septembre 1988.
- [THIa89] THIERY O., DAVID A. A., CREHANGE M., "Images and Artificial Intelligence in Computer Aided Education : Our Prototype BIRDS", International Conference on "Technology of Education", Orlando-USA, Mars 1989.
- [THIb89] THIERY O., DAVID A. A., CREHANGE M., "A knowledge and Image based system as an Intelligent Educational Tool : Our Prototype BIRDS", Third International Conference on Children in the Information Age - Human

- Developpment and Emerging Technologies, Sofia, Bulgaria, 20 - 23 May 1989.
- [THO87] THOMAS P., "L'Informatique est-elle un Média ?", Revue Formation et Prospective, N° 2, Mai 87.
- [TSI87] Technique et Science Informatique, Volume 6, N° 1, 1987.
- [TSI88] Technique et Science Informatiques Vol 7 N° 1, Eds(1988), Numéro Spécial Consacré aux "Applications de l'Informatique", Dunod AFCET.
- [UND89] G. UNDERWORD, J. UNDERWORD, "The effectiveness of different gender groups for a co-operative computer-Based Language activity", The sixth International Conference on Technology and Education, Orlando, U.S.A., March 1989.
- [WIN84] WINSTON P.H., Eds(1984), "Artificial intelligence". Massachusetts, Addison Wesley.
- [YAN87] YANG J. S., "Individualisation de L'Enseignement: Perspectives ouvertes Par l'Intelligence Artificielle", Revue Formation et Prospective, Novembre 1987.

- 196 -

ANNEXES

Annexe 1

Guide d'utilisation de BIRDS



A : Introduction

Objectif pédagogique

L'objectif pédagogique choisi avec la collaboration d'un professeur de sciences naturelles du Lycée Poincaré à Nancy (Mme. Collette Roynette) est "la capacité de reconnaître les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux et de les associer à leurs modes de nourriture".

Technique pédagogique

La technique pédagogique est basée sur la motivation, la participation de l'élève et la connaissance du niveau d'habitude évocative employée par l'élève. Elle met en œuvre ce que nous appelons "l'apprentissage mixte" par des scénarios et l'intégration des modules de programmes adaptés à chaque niveau d'habitude évocative (observation, abstraction élémentaire, symbolisation et raisonnement, créativité).

Les modules implantés pour les différents niveaux d'habitudes évocatives sont :

- pilotape du vidéodisque (pour l'observation),
- illustrations (pour les abstractions élémentaires ou le vocabulaire),
- recherche des images (pour favoriser l'abstraction par des requêtes plus compliquées que par l'illustrations),
- indexation (descriptions des images), création et modification de la base de connaissances pour permettre la créativité.

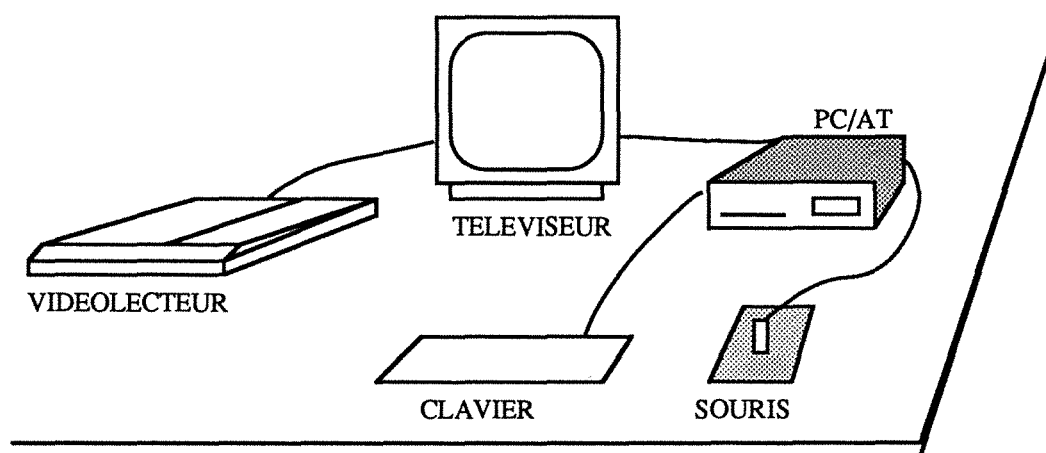
Les stratégies pédagogiques mises en œuvre dans les scénarios sont :

- * la mémorisation,
- * l'instruction,
- * l'apprentissage par l'exemple,
- * l'apprentissage par analogie,
- * l'apprentissage par la découverte.

B: Environnement de travail

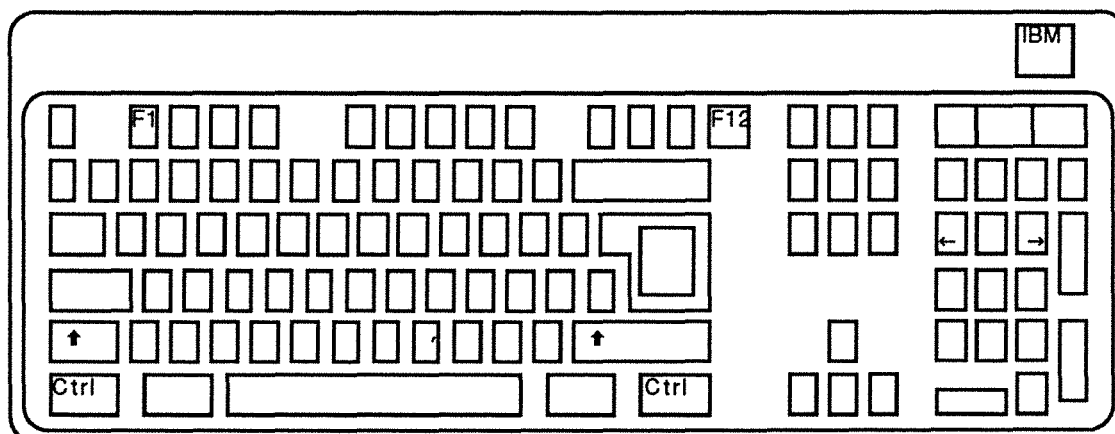
L'environnement de travail est composé de :

- un téléviseur,
- un vidéolecteur,
- un PC/AT et
- une souris.



Le clavier:

Deux possibilités sont offertes pour communiquer avec l'ordinateur - par la souris et par le clavier. Le clavier est indispensable pour donner des réponses ou poser des demandes textuelles au système.



Par exemple, pour demander une opération telle que le changement d'un module à un autre, vous pouvez soit utiliser la souris en sélectionnant (cliquant) sur l'opération dans la liste proposée sous forme de menus, soit appuyer sur les touches de fonction du clavier correspondant à l'opération désirée. Pour demander une séquence vidéodisque d'un oiseau donné, il faut taper le nom d'oiseau au clavier - ceci afin de s'assurer de l'acquisition du vocabulaire du domaine.

Les touches de fonctions sont précédées de F, donc sur les claviers des ordinateurs PC, vous pouvez avoir **F1** à **F12**.

Pour avoir les caractères en minuscules, il suffit d'appuyer simplement sur la touche. Pour avoir les caractères en majuscules, il faut appuyer sur la touche **↑** et tout en restant sur la touche appuyer sur le caractère voulu en majuscule. Pour avoir un **F** majuscule il faut appuyer sur **↑** et la touche F simultanément.

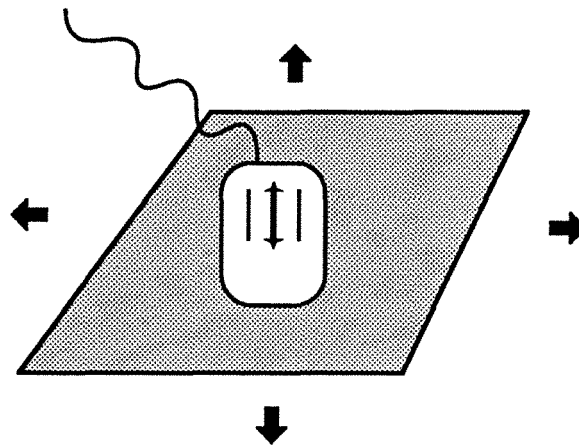
Le caractère **^** signifie la touche de contrôle (marquée par **CTRL** sur le diagramme). Il est souvent employé avec d'autres caractères - par exemple **^F1** signifie appuyer sur la touche de contrôle et la touche de fonction F1 simultanément.

Vous pouvez taper les textes en majuscules ou en minuscules - par exemple "Bec LOng" et "bec long" représentent la même chose pour le système.

La souris:

La souris est utilisée en la glissant sur un support plat et horizontal.

- Si on la fait glisser vers le haut du support le curseur se déplace plus haut sur l'écran de l'ordinateur.
- Si on la fait glisser vers le bas le curseur se déplace plus bas sur l'écran de l'ordinateur.
- Si on la fait glisser à gauche, le curseur se déplace à gauche sur l'écran de l'ordinateur.
- Si enfin on la fait glisser à droite, le curseur se déplace à droite sur l'écran de l'ordinateur.



Le système ne peut utiliser que la souris MSMOUSE qui a trois boutons.

LB signifie le bouton de gauche

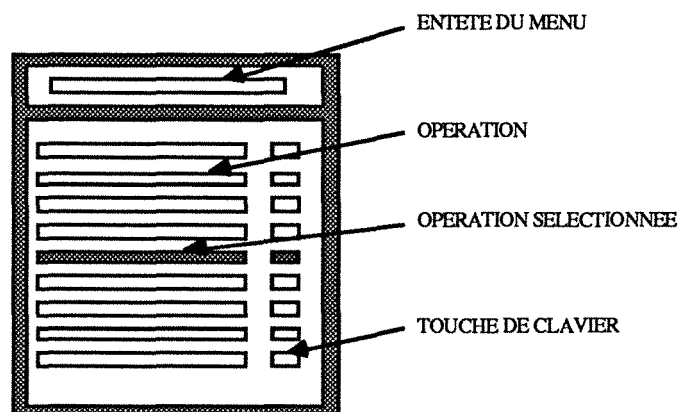
MB signifie le bouton du milieu

RB signifie le bouton de droite.

LB est utilisé pour appeler la liste d'opérations disponibles à n'importe quel moment dans le système. Il est également utilisé pour sélectionner une opération dans une liste d'opérations - en glissant la souris vers le haut ou vers le bas pour sélectionner une opération, cela se réalise en appuyant une fois sur le bouton (ou en cliquant).

Menus des opérations:

A chaque module du système correspond une liste d'opérations présentées sous forme de menu.



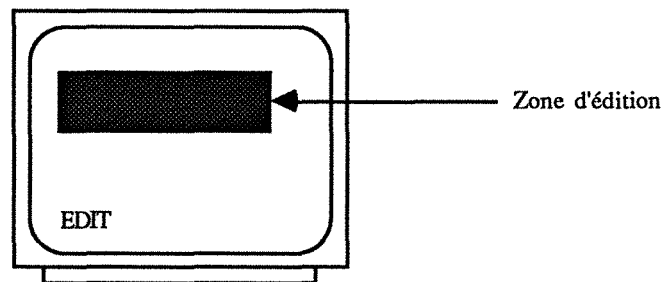
Pour avoir la liste des opérations à un moment donné, appuyer sur LB (le bouton de gauche de la souris). Si rien n'apparaît sur l'écran, cela peut signifier que le

système est en mode VIDEO (cf Incrustation). Dans ce cas, il faut appuyer simultanément sur MB et RB (les boutons du milieu et de droite de la souris).

Pour sélectionner une opération dans une liste, glisser la zone rouge qui se trouve sur la liste sur l'opération à choisir en glissant la souris vers le haut ou vers le bas. Appuyer (ou cliquer) sur LB (le bouton de gauche de la souris) pour sélectionner l'opération. Après la sélection de l'opération, la liste d'opérations disparaît. Pour avoir la liste à nouveau, il faut cliquer sur LB.

Une autre méthode pour sélectionner une opération est d'appuyer sur les touches du clavier correspondant à l'opération désirée sans toucher à la souris. Les touches sont indiquées devant chaque opération dans le menu. La liste d'opérations disparaît également quand une opération est ainsi sélectionnée.

Ecran d'Edition :



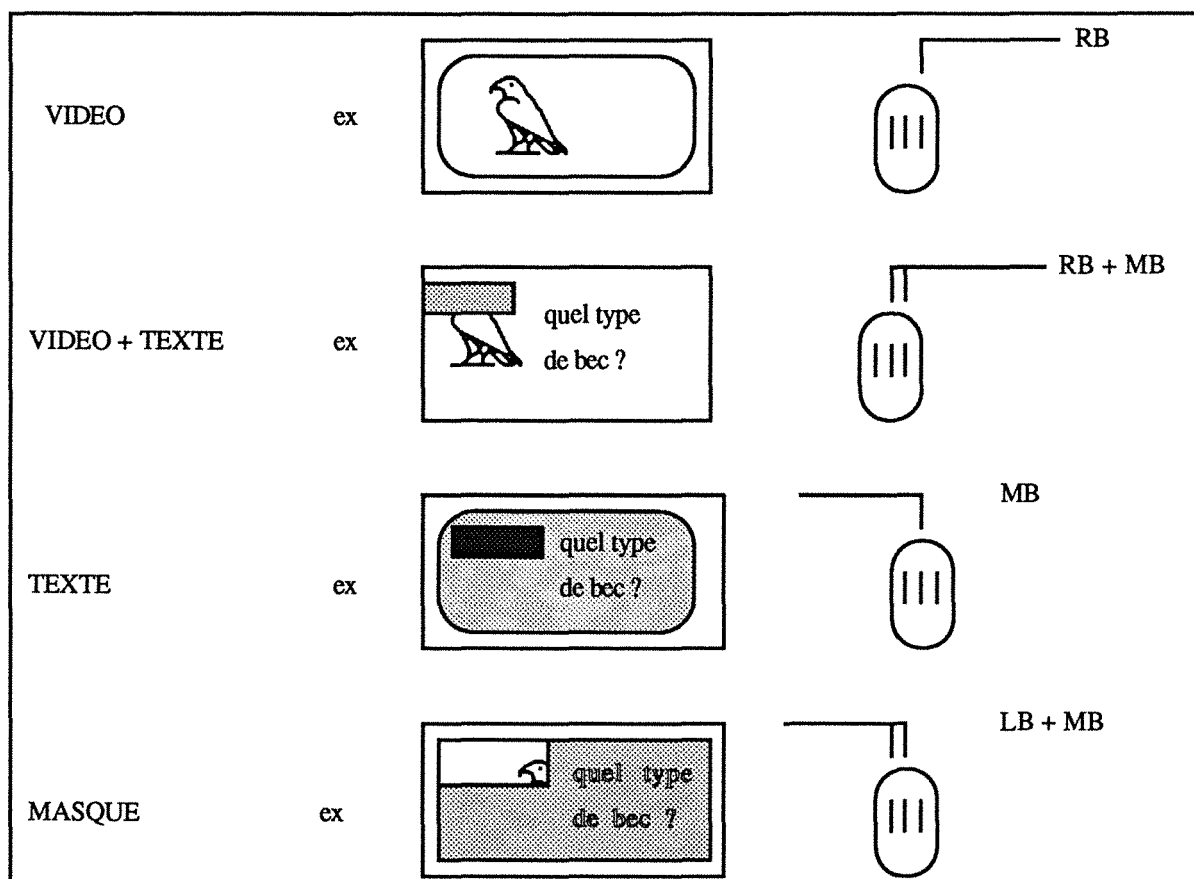
Une zone bleue apparaît sur l'écran avec "EDIT" en bas de l'écran pour indiquer que le système est en mode d'édition. C'est à dire que vous pouvez taper ou modifier du texte et utiliser un mini éditeur de texte pour effectuer les opérations d'édition. Par exemple les touches suivantes du clavier correspondent aux opérations indiquées :

- : avancer le curseur
- ← : reculer le curseur
- ENTREE : couper la ligne au curseur
- DEL : effacer le caractère sur le curseur
- F1 : terminer l'édition.

Vous pouvez avoir la liste complète des opérations et les touches correspondantes en appuyant sur LB de la souris. Et vous pouvez utiliser la souris pour sélectionner une opération.

Incrustation (modes d'affichage des informations)

Dans tous les modules du système, quatre modes d'affichage d'informations sont possibles :



Le diagramme ci-dessus présente les différentes modes et les boutons de la souris pour les obtenir.

Mode VIDEO :

Seules les images provenant du vidéoprojecteur sont affichées sur l'écran. Les textes sont cachés.

Mode VIDEO + TEXTE :

Les textes sont superposés sur les images provenant du vidéoprojecteur. Les textes cachent les images.

Mode TEXTE :

Seuls les textes sont affichés sur l'écran. Les images du vidéoprojecteur sont cachées et le fond de l'écran noirci.

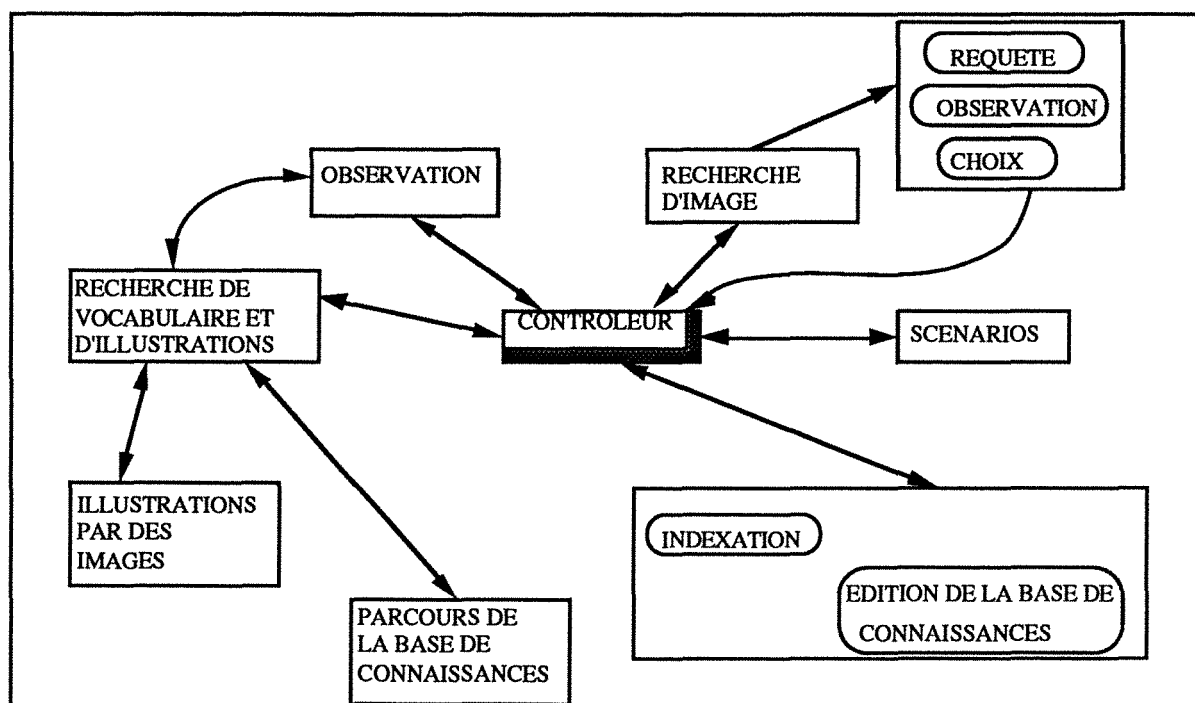
Mode MASQUE :

C'est le mode inverse du mode VIDEO + TEXTE. Les textes et graphiques ne cachent pas les images, au contraire, seules les zones de textes et de graphiques permettent de voir les images du vidéoprojecteur.

"TEXTE" dans ce contexte signifie les textes au sens habituel et les graphiques générés par l'ordinateur.

C. Schéma global du système

Le contrôleur prend en charge le lancement de chaque module en initialisant l'environnement de travail comme il faut. Le système retourne au contrôleur à la sortie de chaque module.



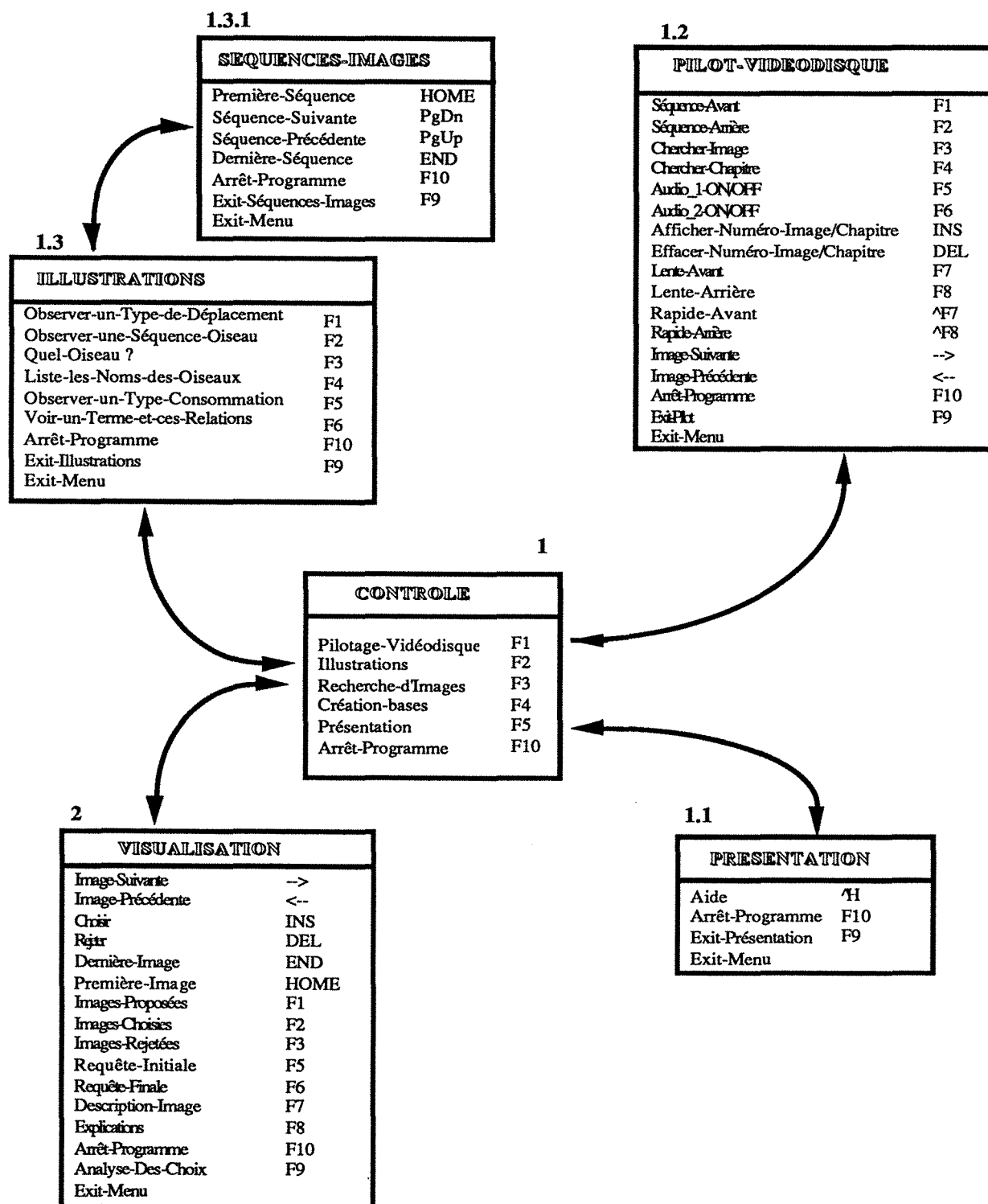
D. Lancement du système

Tapez **BIRDS**
suivi de la touche
ENTREE

Sortir du Système :

Appuyez sur la touche
F10
à n'importe quel moment dans le système.

E. Enchaînement des menus



4

EDIT	
Début-Zone	HOME
Fin-Zone	END
Haut-Zone	^HOME
Bas-Zone	^END
Début-Ligne	^←
Fin-Ligne	^→
Coller-Ligne-Suivante	^BACKSP
Nouvelle-Ligne	RETURN
Mode-Insertion/Superpose	ESC
Caractère-Suivant	-->
Caractère-Précédent	<--
Effacer-caractère	DEL
Effacer-Ligne	^RETURN
Changer-Couleur	AF10
Annulation-Edit	F10
Fin-Edit	F9
Exit-Menu	

5

DEPLACEMENT-CURSEUR	
Début-Ecran	HOME
Fin-Ecran	END
Haut-Ecran	^HOME
Bas-Ecran	^END
Début-Ligne	^←
Fin-Ligne	^→
Exit-Déplacement	F9
Exit-Menu	

3

DEFILEMENT-TEXTE	
Première-Page	HOME
Dernière-Page	END
Ligne-Suivante	-->
Ligne-Précédente	<--
Page-Suivante	PgDn
Page-Précédente	PgUp
Arrêt-Programme	F10
Exit-Défilement	F9
Exit-Menu	

Remarque:

L'élève peut obtenir (en ligne : c'est à dire en cours d'utilisation du système) plus de précision sur chacune des opérations.

F. Notice technique du prototype

Faits initiaux	200
Nombre de règles	75
Nombre de classes	20
Le dictionnaire	150 (mots)
Nombre d'oiseaux décrits	37
Nombre d'espèces	27
Taille du programme	100 K
Taille d'OPS5+	125 K

Possibilités

- de changer la base de connaissances du domaine,
- de changer la base descriptive,
- de changer les scénarios,
- réduire considérablement le nombre de règles par la définition des priorités.

Le prototype peut fonctionner sur un PC/AT muni

- d'une souris,
- d'un port série,
- d'une carte CGA,
- de 640K RAM minimum.

- 209 -

Annexe 2

A. Les heuristiques du prototype

- 1) Supprimer les termes plus généraux que d'autres dans une requête, considérant les termes plus spécifiques en sens comme des précisions des termes plus généraux.
- 2) un terme général en sens qui persiste dans la requête après l'application de l'heuristique 1 regroupe des images que l'élève veut observer.
- 3) Les termes équivalents à ceux de la requête ne sont pas rajoutés dans la requête, mais leur existence est signalée à l'élève. Mais si les termes équivalents existent eux-aussi dans la requête, ils sont supprimés et la suppression est signalée comme explication de l'analyse de la requête.
- 4) Si tous les termes d'une requête sont associés à des descriptions d'images (c'est à dire les termes visibles), alors si ces termes correspondent à des particularités de plusieurs ordres d'oiseaux (dans la classification des oiseaux), la requête peut être considérée comme une recherche de comparaisons entre plusieurs images d'oiseaux.
- 5) S'il existe des termes visibles qui ne constituent pas de précision des termes conceptuels, alors les termes visibles peuvent être considérés comme des erreurs d'associations.
- 6) Eclater les termes composés (ex: bec-palmé) qui ne font pas partie de la base de connaissances du système. Présenter les termes décomposés et leurs relations avec d'autres.
- 7) Un terme commun (dans les descriptions des images choisies et les images rejetées) qui apparaît plus de deux fois doit être supprimé, car il est considéré comme perturbant dans la conduite de raisonnement de l'élève. Mais il faut le signaler.
- 8) S'il y a plus de deux termes de type particularité d'un concept dans une requête, alors signaler ce concept. Cela est interprété comme une conduite de preuve.

B. Des classes du prototype

(literalize configuration
port-videodisque
videodisque-connecte
face-utilisee)

(literalize elese
nom
prenom
date-de-naissance
date-de-session
activites
c-factuelles
c-conceptuelles
erreurs-lexicographiques
erreurs-association
n-observation
n-abstraction
n-raisonnement
n-creativite)

(literalize erreurs
terme ;terme entré par l'élève
terme-prochea ;terme le plus proche après analyse
terme-procheb ;deuxième terme proche du <terme> surtout en cas d'erreur

(literalize connaissances
concept
niveau)

(literalize terme-deja-rejete
nom-terme
frequence)

(literalize concept
nom
contexte ;(C, M, N, D)
niveau ;(0, 1, 2, 3)
equivalence
exemples)

literalize oiseau
nom
debut-sequence
fin-sequence
type-deplacement
debut-deplacement
fin-deplacement
type-consommation
debut-consommation
fin-consommation)

(literalize particularites-concept
nom

particularites)

(literalize parties-de-concept
nom
parties)

(literalize liste-termes-choisis
liste)

(literalize liste-termes-rejetes
liste)

(literalize liste-termes-communs
liste)

(vector-attribute
sequence
liste
exemples
particularites
parties)

C. Des règles du prototype

Les règles de contrôle

Parmi les règles de cette catégorie sont les règles qui chargent les bases de connaissances, qui effectuent le changement de module de technique pédagogique, et l'initialisation de l'environnement du système.

```
(p start
 {<ca> (start)}
 {<cb> (configuration
 <port-videodisque> <videodisque-connecte> <face-utilisee> )
 -->
 (remove <ca>)
 (call opclear)
 (call initialiser
 <port-videodisque> <videodisque-connecte> <face-utilisee>)
 (make call-opcontrol))
```

```
(p call-opcontrol
 {<ca> (call-opcontrol)}
 -->
 (remove <ca>)
 (call opclear)
 (make call-opcontrol)
 (call opcontrol))
```

```
(p call-illustre
 {<ca> (call-illustre)}
 -->
 (remove <ca>)
 (call opillustre) )
```

Les règles de fonctionnement

Ces règles concernent la recherche d'information, l'analyse des choix après visualisation, de la formulation des "explications" et de la détermination des catégories de scénarios.

;Donner le nom d'oiseau de la séquence en cours

```
(p nom-oiseau-de-sequence
 {<ca> (nom-oiseau-de-sequence <numero-image>) }
 (oiseau <nom-oiseau> ^debut-sequence {<x> <= <numero-image> }
 ^fin-sequence {<y> >= <numero-image> })
 (couleur cjaune <cj>)
 -->
 (call opdbbox 1 25 1 80)
 (call opposxy 18 25 3 "de")
 (call opposxy1 21 25 6 <x>)
 (call opdbbox 26 25 1 5)
 (call opposxy 27 25 2 <nom-oiseau>)
 (call opposxy 56 25 3 "à")
 (call opposxy1 58 25 6 <y>)
 (bind <x> (opgetxys 1 24 <cj> 1 "UNE TOUCHE POUR CONTINUER"))
```

```
(remove <ca>)  
(call opclear )  
(call opillustre )
```

;Utiliser l'équivalence d'un mode de déplacement

```
(p t-deplacement-equivalence  
 {<ca> (boucle-sequence-deplacement <x>)}  
 {<cb> (concept <y> d <n> ^equivalence <x>)}  
 (couleur cjaune <cj>)  
 (couleur verte <v>)  
 -->  
 (remove <ca>)  
 (call opdbbox 1 24 2 80)  
 (make boucle-sequence-deplacement <y>)  
 (call opposxy 1 20 <v> <x> " << est remplacé par >> " <y>)  
 (bind <x> (opgetxys 1 25 <cj> 1 "Appuyer sur une touche pour continuer"))  
 (call opdbbox 1 25 1 80))
```

;Afficher les exemples du mode de déplacement si le niveau d'abstraction > 0

```
(p t-deplacement-n-i  
 {<ca> (boucle-sequence-deplacement <x>)}  
 {<cb> (concept <x> d {<n> > 0})}  
 (couleur jaune <j>)  
 -->  
 (remove <ca>)  
 (call opdbbox 1 14 1 80)  
 (call opposxy 1 14 <j> "Il faut préciser ce terme << <x> >>. Voici des exemples")  
 (call opscroll 1 1 10 35 (substr <cb> exemples inf))  
 (call opillustre )
```

```
(p m-n-observation  
 {<ca> (n-observation)}  
 {<cb> (eleve ^n-observation <x> ^activites <y>)}  
 -->  
 (modify <cb> ^n-observation (compute <x> + 1) ^activites (compute <y> + 1))  
 (remove <ca> )
```

```
(p m-n-abstraction  
 {<ca> (n-abstraction)}  
 {<cb> (eleve ^n-abstraction <x> ^activites <y>)}  
 -->  
 (modify <cb> ^n-abstraction (compute <x> + 1) ^activites (compute <y> + 1))  
 (remove <ca> )
```

```
(p m-n-raisonnement  
 {<ca> (n-raisonnement)}  
 {<cb> (eleve ^n-raisonnement <x> ^activites <y>)}  
 -->  
 (modify <cb> ^n-raisonnement (compute <x> + 1) ^activites (compute <y> + 1))  
 (remove <ca> )
```

Les règles d'interprétation

Ces règles sont utilisées pour exprimer les heuristiques du prototype

;éliminer les termes considérés comme précisions

(p precision

(r-precision)

{<ca> (req <x>)}

{<cb> (concept <x> <contexte> <nvx>)}

{<cc> (req {<y> <> <x>})}

{<cd> (concept <y> <contexte> <nvy>)}

-(precision <x> <relation> <y>)

-(concept <w> <contexte> {<z> < <nvy> > <nvx>})

-->

(call opappartenir <x> <y> <contexte> (substr <cd> exemples inf)))

;éliminer les termes trop conceptuels

(p supprimer-concept-trop ;ex: oiseau, heron cendre

(r-precision)

{<ca> (req <x>)}

{<cb> (concept <x> <y> {<z> > 1})}

{<cd> (req {<w> <> <x>})}

{<cc> (concept <w> <y> 0)}

-->

(remove <ca>)

(make explication <x> " << TROP GENERAL. IL EST REMPLACE PAR >> " <w>))

(p supprimer-concept-trop-b ;ex: oiseau

(r-precision)

{<ca> (req <x>)}

{<cb> (concept <x> <y> {<z> > 1})}

{<cc> (concept {<w> <> <x>} <y> 0)}

-->

(remove <ca>)

(make explication <x> ">> TROP GENERAL. IL EST REMPLACE PAR <<" <w>))

;si un terme est employé pour un terme de la requête faire une extension

(p generer-synonyme

(r-synonyme)

{<ca> (req <x>)}

{<cb> (concept <y> ^equivalence <x>)}

-(req <y>)

-->

(make req <y>)

(remove <ca>)

(make explication <x> " << EST SYNONYME DE >> " <y>))

(p effacer-synonyme-req

(r-synonyme)

{<ca> (req <x>)}

{<cb> (concept <x> ^equivalence {<y> <> nil})}

{<cc> (req <y>)}

-->

(remove <cc>)

(make explication <y> " << EST SYNONYME DE >> " <x>))

```
(p generer-req-or
 {<ca> (req <x>)}
 -(r-precision)
 -(r-synonyme)
 {<cb> (concept <x> ^niveau 1)}
 -->
 (remove <ca>)
 (make explication <x> " << SUBSTITUE PAR SES EXEMPLES >> " " ")
 (call opgenerer_req (substr <cb> exemples inf)))
```

Les meta-règles

Ces règles concernent l'agencement des règles. La meta-connaissances est exprimée dans le prototype par l'affectation de priorités aux règles.

```
(priority relev7 7)
(priority relev5 5)
(priority relev6 6)
(priority relev4 4)
(priority relev3 3)
```

(rule-priority precision	relev6)
(rule-priority supprimer-precision	relev5)
(rule-priority supprimer-concept-trop	relev4)
(rule-priority supprimer-concept-trop-b	relev3)
(rule-priority generer-synonyme	relev7)

D. Des fonctions C

/* VERIFIER L'AQUITTEMENT DU VIDEOLECTEUR */

aquite(fp)
int fp;

/* DESSINER UNE BOITE */

box(x,y,color,length,breadth,thickness)
int x,y,color,length,breadth,thickness;

/* CHANGER LA COULEUR D'UNE ZONE DE L'ÉCRAN */

ccolor(x,y,length,breadth,color)
int x,y,length,breadth,color;

/* EFFACER UNE FENETRE */

dbox(x,y,length,breadth)
int x,y,length,breadth;

/* DECALER UN BLOC DE TEXTE [insérer une ligne dans une fenêtre] VERS LE BAS */

decalbd(x,y,length,breadth)
int x,y,length,breadth;

/* DECALER UN BLOC DE TEXTE [détruire une ligne d'une fenêtre] VERS LE HAUT */

decalbu(x,y,length,breadth)
int x,y,length,breadth;

/* DECALAGE A DROITE D'UNE LIGNE DE L'ECRAN */

decald(scr,length)
int length;
char *scr;

/* DECALAGE A GAUCHE D'UNE LIGNE DE L'ECRAN */

decalg(scr,length)
int length;
char *scr;

/* DETUIRE UNE LIGNE AVEC LES COORDONNEES DONNEES */

dline(x,y,length,direction)
int x,y,length,direction;

/* REMPLIR UNE FENETRE AVEC UN CARACTERE ET UNE COULEUR */

fillbox(x,y,color,length,breadth,c)
int x,y,color,length,breadth,c;

/* RETOURNER LA COULEUR DE LA POSITION X,Y */

char gcolor(x,y)
int x,y;

/* RECUPERER LA POSITION DU CURSEUR */

getcurs(x,y)
int *x,*y;

/* RECUPERER UNE TOUCHE FONCTION APPUYEE */

getop()

/* SAISIE UN NOMBRE ENTIER A LA POSITION <X,Y> */

```
getxyi(x,y,color,length,libele)
int x,y,color,length;
char libele[];
```

```
/* INVERSER LA COULEUR D'AFFICHAGE */
inverseved(color)
int color;
```

```
/* DESSINER UNE LIGNE */
line(x,y,color,length,thickness,direction,edge)
int x,y,color,length,thickness,direction,edge;
```

```
/* METTRE UNE CHINE DE CARACTERES EN MINUSCULE */
minuscule(chaine)
char *chaine;
```

```
/* POSITIONNEMENT DU CURSOR POUR DES LECTURES */
pos(x,y)
```

```
/* POSITIONNEMENT DU CURSOR ET ECRITURE DE TEXTE */
posxy(x,y,color,texte)
int x,y,color;
char *texte;
```

```
/* RESTORER UNE FENETRE A PARTIR D'UNE CHAINE DE CARACTERE */
swrest(x,y,length,breadth,chaine)
int x,y,length,breadth;
char *chaine;
```

```
/* RESTORER INTEGRALEMENT UNE FENETRE A PARTIR D'UNE CHAINE DE CARACTERE */
swresti(x,y,length,breadth,chaine)
int x,y,length,breadth;
char *chaine;
```

```
/* RECOPIER LES CARACTERES D'UNE FENETRE DANS UNE CHAINE DE CARACTERE*/
swsafe(x,y,length,breadth,chaine)
int x,y,length,breadth;
char *chaine;
```

```
/* RECOPIER INTEGRALEMENT UNE FENETRE DANS UNE CHAINE DE CARACTERE*/
swsafei(x,y,length,breadth,chaine)
int x,y,length,breadth;
char *chaine;
```

```
/* REMPLIR UNE CHAINE DE CARACTERES AVEC UN CARACTERE <c> */
zerofill(chaine,c,length)
char *chaine;
int c,length;
```

```
/* EDITER UNE FENETRE */
editing(x,y,length,breadth,color)
int x,y,length,breadth,color;
```

```
/* COUPER EN LIGNES UNE CHAINE DE CARACTERES */
lining(tab,length,chaine)
int tab[];
```

```
char *chaine;
```

```
/* AFFICHER UNE CHAINE DE CARACTERES POUR TENIR SUR UNE PAGE FENETRE */
```

```
page(x,y,length,breadth,chaine)
```

```
int x,y,length,breadth;
```

```
char *chaine;
```

```
/* IMPRIMER UNE PAGE DE TEXTE A L'ÉCRAN DEPUIS LA CHAINE DE CARACTERES */
```

```
printpage(x,y,length,chaine)
```

```
int x,y,length;
```

```
char *chaine;
```

```
/* AFFICHER UNE CHAINE DE CARACTERES EN MODE SCROLL DANS UNE FENETRE */
```

```
scroll(x,y,length,breadth,chaine)
```

```
int x,y,length,breadth;
```

```
char *chaine;
```

Annexe 3

Résultat des premières expérimentations

Dans cet annexe, nous présentons le questionnaire rempli par les élèves qui ont expérimenté le prototype BIRDS, et leurs modèles construits par le système. Nous présentons également les remarques de leur professeur.

Pour ces premières expérimentations, cinq élèves ont été choisis (par tirage au sort). Chaque séance a été d'une durée de vingt minutes. Le résultat que nous présentons concerne quatre élèves.

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LE QUESTIONNAIRE

Facilité d'utilisation du système

Les élèves ont trouvé le système facile à utiliser. Ils deviennent autonomes après une heure d'utilisation du système (cf. la partie "facilité d'utilisation" du questionnaire).

Motivation des élèves

Il y a eu un renversement d'intérêt chez les élèves car le contenu pédagogique du système les a intéressé autant (ou plus) que leur intérêt initial (cf. la partie "motivation" du questionnaire).

Progrès dans le processus d'apprentissage

Parmi les processus d'apprentissage, chaque élève souhaite améliorer l'usage de celui (ou ceux) qu'il pense avoir le moins utilisés. Par exemple *l'élève 1* du questionnaire veut améliorer l'activité de recherche des images (activité de symbolisation et de raisonnement), pensant avoir suffisamment observé (activité d'observation).

LE MODELE DE L'ÉLEVE CONSTRUIT PAR LE SYSTEME

Nous présentons les modèles de quatre élèves qui ont été construits par le système. Nous ne montrons que les activités des élèves dans les trois premières phases cognitives (c.a.d. observation (P1), abstraction élémentaire (P2) et symbolisation et raisonnement (P3)). Nous montrons également le nombre d'erreurs lexicographiques et les dates de session.

Les modèles construits vérifient les états de chaque élève, comme on peut le constater en comparant les réponses de chaque élève avec leur modèle. Par exemple, les élèves qui ont eu l'impression d'avoir développé leur activité de raisonnement ont eu leurs activités dans P3 plus élevées.

	FACILITE D'UTILISATION	Elève 1	Elève 2	Elève 3	Elève 4
1	Difficulté d'utilisation	<i>aucune</i>	<i>peu</i>	<i>aucune</i>	<i>aucune</i>
2	Nb. de séances pour être à l'aise	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
3	Présence de Mr. David indispensable ?	<i>oui</i>	<i>oui</i>	<i>oui au début</i>	<i>oui</i>
4	Pourquoi	<i>expliquer le fonctionnement</i>	<i>"</i>	<i>"</i>	<i>"</i>
5	Nb. d'intervention de Mr. David/séance	<i>1/2</i>	<i>5</i>	<i>1/2</i>	<i>peu de fois</i>
6	- pour approuver tes initiatives	<i>non</i>	<i>-</i>	<i>non</i>	<i>oui</i>
7	- pour suggérer de nouvelles activités	<i>oui</i>	<i>oui</i>	<i>non</i>	<i>non</i>
8	- pour donner des explications	<i>oui</i>	<i>oui</i>	<i>oui(un peu)</i>	<i>oui</i>
9	Capable de te débrouiller tout seul sans lui ?	<i>oui</i>	<i>non</i>	<i>oui</i>	<i>non</i>
10	Le système est-il capable de se "bloquer" ?	<i>non</i>	<i>oui</i>	<i>oui</i>	<i>non</i>
11	Ce qui est moins facile à comprendre / faire	<i>recherche des images</i>	<i>toujours lire ce qu'il y avait à faire et le noter</i>	<i>rapprochement description et nourriture</i>	<i>recherche des images</i>
	MOTIVATION				
1	Qu'est-ce qui t'a donné envie pour t'inscrire	<i>utiliser l'ordinateur</i>	<i>-</i>	<i>informatique</i>	<i>connaître les oiseaux dans le détail</i>
2	Satisfait après 8-10 séances ?	<i>oui</i>	<i>oui</i>	<i>oui</i>	<i>oui</i>
3	Qu'est-ce qui t'a vraiment intéressé ?	<i>les exercices</i>	<i>observer et chercher des images</i>	<i>tout</i>	<i>observer et cexercices</i>
4	Qu'est-ce qui t'a moyennement intéressé	<i>tout le reste</i>	<i>-</i>	<i>rien</i>	<i>recherche d'images</i>
5	Qu'est-ce qui ne t'a pas du tout intéressé	<i>rien</i>	<i>-</i>	<i>rien</i>	<i>rien</i>
6	Aurais-tu voulu faire autres choses avec ce matériel ?	<i>non</i>	<i>oui/non</i>	<i>non</i>	<i>non</i>
7	Le fait de réunir des renseignements sur les oiseaux t'a-t-il <u>plus, autant ou moins</u> intéressé que le fait de travailler sur l'ordinateur ?	<i>plus</i>	<i>autant</i>	<i>autant</i>	<i>plus</i>

	LES ACOUS	Elève 1	Elève 2	Elève 3	Elève 4
1	As-tu enrichi tes connaissances sur les oiseaux ?	<i>oui</i>	<i>oui</i>	<i>oui</i>	<i>oui</i>
2	Quels sont les objectifs à atteindre	<i>observer, décrire, nourriture habituel</i>	<i>observer, décrire, nourriture ..</i>	<i>observer, rapport description - nourriture ...</i>	<i>connaître mieux la nature</i>
3	Sont-ils atteints ?	<i>non (-temps)</i>	<i>oui/non (-temps)</i>	<i>oui</i>	<i>oui</i>
4	Qu'aurais-tu voulu savoir encore sur les oiseaux ?	<i>leur reproduction</i>	<i>-</i>	<i>durée de vie en général</i>	<i>rien</i>
5	Nombre d'oiseaux sur le vidéodisque	<i>20</i>	<i>26</i>	<i>26</i>	<i>50</i>
6	Nombre reconnus	<i>10</i>	<i>8</i>	<i>20~</i>	<i>20~</i>
7	As-tu l'impression d'avoir développé tes facultés de raisonnement ?	<i>non</i>	<i>un peu</i>	<i>oui</i>	<i>oui</i>
8	Qu'est-ce qui t'a obligé le plus à réfléchir ?	<i>les exercices</i>	<i>manipuler l'ordinateur</i>	<i>les reconnaître</i>	<i>exercices, recherche des images</i>
9	Aurais-tu préféré un travail mieux guidé, moins libre ?	<i>non</i>	<i>non</i>	<i>non</i>	<i>non</i>
	Pour toi quel est le bilan				
10	qu'est-ce qui a bien "marché" ?	<i>observer les oiseaux</i>	<i>observer les oiseaux</i>	<i>presque tout</i>	<i>utilisation du vocabulaire</i>
11	qu'est-ce qui demande encore à être amélioré ?	<i>recherche des images</i>	<i>le vocabulaire</i>	<i>observer plus d'oiseaux</i>	<i>rien</i>

ELEVE 1

FAITS	CONCEPTS	E_LEX	E_ASS	P1	P2	P3	P4	DATE
0	0	0	0	2	2	0	0	28 11 1989
0	0	0	0	2	16	1	0	1 12 1989
0	0	1	0	6	24	1	0	4 12 1989
0	0	1	0	9	34	1	0	5 12 1989
0	0	1	0	13	43	3	0	8 12 1989
0	0	1	0	15	50	5	0	11 12 1989
0	0	2	0	15	56	5	0	14 12 1989

ELEVE 2

FAITS	CONCEPTS	E_LEX	E_ASS	P1	P2	P3	P4	DATE
0	0	1	0	3	6	0	0	28 11 1989
0	0	2	0	12	7	0	0	30 11 1989
0	0	2	0	20	9	0	0	1 12 1989
0	0	2	0	31	14	0	0	4 12 1989
0	0	3	0	39	18	2	0	5 12 1989
0	0	4	0	39	27	2	0	8 12 1989
0	0	5	0	47	29	6	0	13 12 1989
0	0	5	0	49	45	6	0	14 12 1989

ELEVE 3

FAITS	CONCEPTS	E_LEX	E_ASS	P1	P2	P3	P4	DATE
0	0	2	0	2	10	0	0	28 11 1989
0	0	3	0	3	23	2	0	29 11 1989
0	0	4	0	7	23	5	0	30 11 1989
0	0	5	0	15	27	5	0	5 12 1989
0	0	6	0	25	34	5	0	7 12 1989
0	0	9	0	31	41	12	0	8 12 1989
0	0	11	0	32	43	14	0	11 12 1989
0	0	13	0	32	43	17	0	12 12 1989
0	0	13	0	39	43	26	0	13 12 1989
0	0	13	0	41	48	26	0	14 12 1989

ELEVE 4

FAITS	CONCEPTS	E_LEX	E_ASS	P1	P2	P3	P4	DATE
0	0	4	0	6	6	0	0	29 11 1989
0	0	4	0	10	9	0	0	30 11 1989
0	0	7	0	12	24	2	0	30 11 1989
0	0	7	0	12	33	3	0	1 12 1989
0	0	10	0	12	47	7	0	4 12 1989
0	0	20	0	22	48	12	0	7 12 1989
0	0	20	0	22	48	12	0	8 12 1989
0	0	21	0	24	60	13	0	8 12 1989
0	0	21	0	24	60	13	0	8 12 1989
0	0	21	0	27	71	19	0	11 12 1989
0	0	22	0	32	80	26	0	12 12 1989
0	0	23	0	35	81	30	0	13 12 1989
0	0	24	0	37	88	31	0	13 12 1989

REMARQUES DE MADAME MICHELE PATTE

(professeur de Sciences naturelles) - Lycée Henri Poincaré, Nancy
suite à l'expérimentation du prototype BIRDS en classe de 6^e,
avec 5 élèves, entre le 27 novembre et le 15 décembre 89.

Réflexions sur I L'OBJECTIF PEDAGOGIQUE

① Est-il en adéquation avec la classe choisie ?

Oui, les buts à atteindre en 6^e étant :

- * pour les connaissances : comportement alimentaire - respiration, reproduction
- * pour les capacités : observer et saisir des informations
mettre en relation ces informations
dans un but explicatif
s'exprimer dans un langage scientifiquement
et grammaticalement correct.

② A-t-il été atteint ?

Oui, en grande partie

OBSERVATION : les enfants ont, par l'image, découvert une grande variété d'oiseaux et de modes de vie.

ABSTRACTION ELEMENTAIRE : ils ont associé images et mots (noms d'oiseaux, termes descriptifs, types d'habitats, de vol, de modes d'alimentation.)

SYMBOLISATION : ils ont commencé à associer :

[taille et forme des ailes] et [types de vol]
[taille et forme du bec et des pattes] et [régime alimentaire]
donc, par ces confrontations ils ont réussi
à entrevoir des liens entre
structure et fonction.

II LA FACILITE D'UTILISATION

Il a fallu une à trois séances (tout au plus) pour que les testeurs se sentent à l'aise avec le maniement du matériel et avec ce type d'auto-apprentissage, en interaction avec la machine.

III LA MOTIVATION DES ELEVES

les enfants ont accueilli et vécu l'expérience avec un enthousiasme qui ne s'est pas amoindri. Ils auraient volontiers poursuivi au delà de la 10^e séance, conscient de ne pas avoir encore épuisé toutes les possibilités.

Curiosité et intérêt entretenus par :

- ① la large possibilité documentaire
- ② la liberté d'emploi
avec acquisition autonome de ses connaissances,
(à sa demande, à son rythme)
avec une impression de jeu.
- ③ la souplesse du système
permettant justement différentes démarches
d'approches, les possibilités de retours en arrière
de contrôles...
- ④ la "vigilance" de l'ordinateur
 - qui peut "comprendre" certaines fautes de frappe ou d'orthographe ... mais signale et corrige les erreurs
 - qui est "attentif" à la démarche employée par l'utilisateur et éventuellement intervient pour l'aider et orienter sa progression
 - qui garde des informations sur chaque élève contrôle ses progrès et le tient au courant de son bilan.

donc → système inter-actif très motivant, stimulant
avec les exercices et solutions de secours éventuelles,
et assurant un bon suivi en prenant en compte
les traits particuliers de chaque utilisateur.

IV AMELIORATIONS POSSIBLES

- 1 le système n'étant bouvé, à certains niveaux, limité
dans ses possibilités par l'image (manque de
certains documents filmés) il faudrait pouvoir
enrichir cette base de données.
- 2 Pour la présentation des textes :
 - "aérer" un peu les tableaux d'actions proposées
trop bousillés et chargés.
 - proposer la liste des documents (ici liste de sources) avec
un ordre alphabétique permettant une recherche plus aisée.
 - éviter (ou réduire le temps) de l'affichage clignotant,
gênant, car agaçant pour l'œil.

Améliorations possibles (suite)

- 3 Vocabulaire : simplifier encore certains termes
- expliciter mieux la signification de différentes colonnes de l'histogramme de statistiques (notamment : abstraction, symbolisation)

4 Exercices et questions

exercices : les multiplier pour varier - les exemples d'objets
- les thèmes
- les niveaux

questions : il faudrait affiner la demande pour mieux guider l'enfant vers les buts à atteindre.

- s'assurer mieux qu'il a vraiment pris conscience des objectifs (en ne se limitant pas aux tout premiers...)
- l'inciter plus à confronter ses observations ; à comparer, à chercher des points communs (l'enfant, de lui-même, se contentant fort bien de fiches monographiques.)
- attiser sa créativité en l'invitant à "donner de nouvelles idées" à la machine !

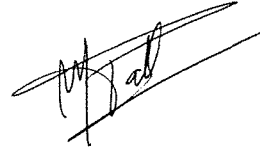
En définitive : bilan très positif de ces trois semaines d'expérimentation en 6^e

- pour les élèves qui ont vécu une expérience pour laquelle ils n'auraient pas trouvé leur place.
- pour le professeur qui accédait à un angle de vue nouveau sur le comportement et les possibilités d'apprentissage de ses élèves.

Le prototype BIRDJ a fait les preuves de son efficacité.

Nous avons tous apprécié ce système actif que Monsieur David, à l'écoute attentive des enfants, n'a pas cessé de peaufiner tout au long de ce test.

Ce dispositif d'apprentissage autonome est d'autant plus intéressant et "vivant" qu'il est adaptable et encore susceptible d'évoluer -



Nancy
le 21. dec. 89

 Mme Michèle PATTE
5, rue Edouard Branly
54130 SAINT MAX



**Processus EXPRIM, Image et IA pour un EIIAO individualisé
(Enseignement par l'Image Intelligemment Assisté par Ordinateur) : Le Prototype BIRDS**

RÉSUMÉ

Cette thèse a pour objectif d'apporter de nouvelles approches dans l'application de l'ordinateur, l'image et le son ainsi que l'intégration des modèles d'apprentissage et des modèles psychologiques dans un processus d'enseignement.

Ce travail est issu d'un projet appelé **EXPRIM** (système EXPert pour la Recherche d'Image) et l'objectif initial était l'étude des applications du processus EXPRIM en enseignement. Puisque le processus EXPRIM est basé sur l'image, nous avons élargi notre objectif de travail, qui est devenu la définition d'un système d'enseignement individualisé basé sur l'image avec l'application de l'intelligence artificielle - ce que nous appelons un système d'**EIIAO** (Enseignement par l'Image, Intelligemment Assisté par Ordinateur).

La nécessité de prendre en compte les traits particuliers de l'élève dans ce système est évidente. Nous avons été amené par conséquent à définir un **modèle de l'élève**. Ce modèle prend en compte à la fois des aspects cognitifs de l'élève pendant le processus d'apprentissage et les aspects pédagogiques dans l'environnement d'apprentissage.

Le modèle que nous avons défini a été implanté dans un prototype appelé **BIRDS**. Le prototype reflète l'architecture que nous avons adoptée, qui est composée de quatre modules : le module de technique pédagogique, le module de l'élève, le module du domaine et le module d'interface.

Nous avons utilisé le vidéodisque "British garden birds" (les oiseaux de jardin en Grande Bretagne), avec un système d'incrustation, le tout tournant sur un PC/AT et un vidéoprojecteur Philips VP831. Le prototype est construit avec le langage C et OPS5+.

Mots-Clés : Enseignement, Apprentissage, Psychologie d'apprentissage, Habitude évocative, Modèle de l'élève, Processus EXPRIM, Image, Vidéodisque, Tuteur