

Notre hypothèse de travail est qu'un environnement d'apprentissage, fondé sur l'image et le processus cognitif de l'élève, dans lequel est implanté un modèle de l'élève peut être motivant et capable d'entraîner l'élève dans un véritable processus d'apprentissage. Nous faisons une différence entre « enseignement » qui est la transmission de connaissances par un maître et « apprentissage » qui est un acte volontaire et conscient par un apprenant pour entreprendre une recherche de connaissances ou une culture de capacités. Notre propos repose sur « l'apprentissage » au sens précédent et, parmi les différentes théories de l'apprentissage qui ont été proposées, nous en avons retenu deux : comportementaliste et cognitiviste. Notre approche étant de favoriser l'approche cognitive, nous avons fait un certain nombre de choix : en particulier celui de baser les activités (ou processus) d'apprentissage sur l'utilisation d'images et d'intégrer un modèle de l'élève fondé sur six paramètres. Afin de mettre en œuvre nos propositions, en particulier le modèle de l'élève, nous avons construit le prototype BIRDS. Ce prototype nous a permis de réaliser une expérimentation au lycée H. Poincaré à Nancy, commencée fin 1989 et qui se poursuit au cours de cette année scolaire.

Le prototype BIRDS

UNE EXPÉRIMENTATION D'UN MODÈLE DE L'ÉLÈVE DANS UN ENVIRONNEMENT D'APPRENTISSAGE BASÉ SUR L'IMAGE

Amos Abayomi DAVID & Odile THIÉRY

« enseigner », « apprendre » suppose qu'il y ait 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.

Choisir entre enseignement et apprentissage est une tâche 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. Voyons d'abord deux des théories qui ont été formulées dans les domaines d'enseignement et d'apprentissage avant de présenter la solution que nous avons retenue qui est de privilégier les activités d'apprentissage dans un tuteur intelligent.

LES THÉORIES D'APPRENTISSAGE

Depuis toujours et bien avant l'invention de l'ordinateur, beaucoup de recherches en psychologie de l'apprentissage se sont développées. Pour ne s'attarder qu'à trois des plus célèbres chercheurs dans ce domaine, on peut citer Skinner pour sa théorie de l'apprentissage fondée sur le *comportementalisme* (*behaviourism*), Crowder pour ses recherches sur les « erreurs » et Piaget pour ses recherches dans le domaine du développement cognitif [7]. Les propositions du premier psychologue (Skinner) et du troisième (Piaget) sont presqu'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 les processus cognitifs. A partir des travaux de Skinner se développent les principes de *fractionnement de la difficulté* et *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.

ENSEIGNEMENT, APPRENTISSAGE : QUELLES DIFFÉRENCES ?

Examinons 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 davantage 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 il ne voit pas la nécessité de les acquérir et, même s'il en 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

Le comportementalisme

Le concept sous-jacent au 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 [7]. Ainsi, le sujet acquiert de nouveaux comportements qui ne sont pas innés, par l'acquisition des réponses qui lui permettent d'obtenir une gratification. Le conditionnement procède donc à partir de comportements naturels innés.

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

Approche cognitive

Nous résumons, dans ce paragraphe, les théories de Decroly, Piaget et de La Garanderie qui ont travaillé sur l'approche cognitive dans le processus d'apprentissage.

Pour Piaget, l'apprentissage est en fait un développement cognitif qui s'inscrit dans le temps [7]. 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 ou pour trouver [6]. Il défend la thèse selon laquelle la connaissance est représentée sous forme d'images mentales (image visuelle ou image auditive), qui deviennent une habitude évocative. A partir de là, il propose une classification des différentes formes d'images dans les habitudes évocatives. Nous donnons ici la classification des formes évocatives :
d'images visuelles qui a été à la base de notre travail :

- première classe : les images des objets perçus réellement dans le monde visible : choses, êtres, scènes de la vie ;
- deuxième classe : les images des mots eux-mêmes ;
- troisième classe : les images des figures, des croquis, des symboles etc. ;
- quatrième classe : 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 qu'elle excite l'intérêt - ce qui excite l'appétit de l'esprit [2]. 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 êtres 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 présentent ;
- 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 de l'apprentissage, l'une étant basée sur le comportementalisme et l'autre sur la progression cognitive ?

Conclusion - notre position

Il y a des points communs dans les théories des trois psychologues présentées dans le paragraphe précédent. 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 peuvent 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. Les choix que nous avons faits pour réaliser ce type d'environnement d'apprentissage sont présentés dans le paragraphe suivant.

NOTRE CHOIX : L'IMAGE & L'ADAPTATION AU NIVEAU D'HABITUDE ÉVOCATIVE

Pourquoi l'image ?

L'image a trois rôles à jouer : faciliter la perception de connaissances par l'observation, susciter la curiosité pendant l'observation et permettre la transformation des connaissances concrètes en leurs formes abstraites. Notons ce qui est dit sur l'image par rapport à ces rôles dans [2, 8, 9] :

- « l'intérêt initial s'enrichit des relations lorsque l'enfant curieux pose à son maître ou se pose 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 » [9] ;
- « l'intérêt s'arrête spontanément à des données globales - objets, faits, situations - qui deviennent par la suite des centres d'intérêts, 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 » [2] ;
- « 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 précision des faits qui lui ont été révélés » [8].

Comment adapter le système ?

Les deux types d'adaptation largement répandus dans les systèmes actuels sont l'adaptation du système aux choix de l'élève et l'adaptation du système aux performances de l'élève. Nous rajoutons un troisième type d'adaptation, soit l'adaptation du système aux habitudes évocatives de l'élève. Ces habitudes évocatives sont basées sur la thèse selon laquelle la connaissance est représentée sous forme d'images mentales (image visuelle ou image auditive) qui deviennent une habitude évocative [6]. Ces habitudes évocatives sont en fait de niveaux différents :

- P1 : le niveau d'observation, ou la perception des choses réelles ;
- P2 : le niveau élémentaire d'abstraction pour désigner les objets observés (ce que nous pouvons appeler l'apprentissage du vocabulaire - un langage élémentaire) ;

- P3 : le niveau de symbolisation et de raisonnement (qui donne lieu à l'emploi d'un langage plus spécialisé et fournit des objets de raisonnement) ;
- P4 : le niveau de créativité (qui est une extension d'idée souvent basée sur le résultat des trois phases précédentes).

Pour réaliser le type d'environnement que nous voulons, il faut un modèle qui permette non seulement de connaître les connaissances acquises par l'élève, mais qui permette aussi 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 système à proposer à l'élève ou à mettre en œuvre dans le système.

UN NOUVEAU MODÈLE DE L'ÉLÈVE & SES COMPOSANTS

Parmi les modèles de l'élève proposés, celui que propose Self [10] nous avait paru intéressant, mais il ne prend pas en compte l'évolution dans les habitudes évocatives de l'élève. C'est pourquoi nous proposons un nouveau modèle composé d'un ensemble de six éléments :

$$M = (R, A, F, C, E, N)$$

Signification de chaque composant

La plupart des exemples que nous donnons ici pour illustrer la signification des composants et en faciliter la compréhension provient du prototype BIRDS, dont l'objectif pédagogique est de « donner à l'élève la capacité de reconnaître les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux et de les lier à leurs modes de nourriture » et qui a été construit à partir du vidéodisque « British Garden Birds » édité par la BBC. Cependant le modèle que nous proposons n'est pas lié au domaine d'application. Il est suffisamment général pour être utilisé dans d'autres domaines.

- R (référence personnelle)

$$R = (N, P, D)$$

où N, P : CHAÎNE

D : DATE (type date <j:ent, m:ent, a:ent>)

Ce composant sert à identifier l'élève ; N son nom, P son prénom, D sa date de naissance.

- A (l'ensemble d'activités de l'élève dans les différentes sessions)

$$A = \{A_i\} \quad i = 1, n \text{ (nombre de sessions);}$$

$A_i = \text{l'activité de l'élève à la date } d_i$

$$A_i = (P1, P2, P3, P4) \quad i$$

où $P_i : \text{ENT}$ (type entier)

$P1, P2, P3, P4$ représentent, respectivement, la mesure d'activité de l'élève dans les quatre modules de technique pédagogique correspondant aux quatre niveaux d'habitudes évocatives. Il permet d'observer l'évolution du niveau d'habitude évocative de l'élève dans le temps. Par exemple le P_i correspondant au max ($P1, P2, P3, P4$) i représente le niveau d'habitude évocative dominant à la date d_i . A chaque session correspond un ou plusieurs niveaux d'habitude évocatives dominants.

La méthode que nous avons adoptée pour connaître les niveaux d'habitude évocative de l'élève est de construire des modules pédagogiques de manière à refléter chaque niveau d'habitude évocative (figure 1). Ainsi nous pouvons connaître le niveau d'habitude évocative en observant les activités de l'élève dans les modules du système. Nous avons créé des fonctions qui permettent de mesurer l'activité de l'élève dans chaque module, prenant en compte l'interaction de l'élève avec le système.

- F (les connaissances factuelles employées par l'élève)

$$F = \sum_{i=1}^k f_i \quad k = \text{nombre de sessions}$$

$$f_i = \text{card} \{cf_{jdi}\} \quad cf_j \in CF \text{ et utilisée par l'élève,}$$

d_i la date de la session,

$$j=1, m \text{ (nombre de connaissances utilisées)}$$

$$CF = \{cf_i\} \quad i=1, n \text{ (nombre de connaissances factuelles du domaine)}$$

$cf_i = \text{une connaissance factuelle}$

où $cf_i, cf_j : \text{CHAÎNE}$
 $f_i, F : \text{ENT}$ (type entier)

Par connaissances factuelles, nous entendons les connaissances concrètes, élémentaires ou les faits (ainsi interprétés du point de vue de l'enseignant) dans le domaine. En fait ce sont, pour nous, les informations visibles sur les images. 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. La valeur de ce composant pour un élève reflètera son habitude évocative du type P1 et P2, mais particulièrement P2.

- C (connaissances conceptuelles employées par l'élève)

$$C = \sum_{i=1}^k c_i \quad k = \text{nombre de sessions}$$

$$c_i = \text{card} \{cc_{jdi}\} \quad cc_j \in CC \text{ et utilisée par l'élève,}$$

d_i la date de la session,

$$j=1, m \text{ (nombre de connaissances utilisées)}$$

$$CC = \{cc_i\} \quad i=1, n;$$

$cc_i = \text{une connaissance conceptuelle,}$
 $n = \text{nombre de connaissances conceptuelles du domaine})$

$cc_i, cc_j : \text{CHAÎNE}$
 $c_i, C : \text{ENT}$ (sémantiquement différent des cf_i)
 (type entier)

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 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. 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* » alors que ces termes peuvent être considérés comme des connaissances conceptuelles si le domaine d'étude est les insectes ou les poissons. En fait, le domaine d'application et l'objectif pédagogique devant être parfaitement définis, la dichotomie connaissance factuelle - connaissance conceptuelle s'impose d'elle-même.

- E (les types d'erreurs)

$$E = \{ (EL, EA)_i \} \quad i=1, n \text{ (nombre de sessions)}$$

$$EL = \sum_{j=1}^n el_j \quad n = \text{nombre de sessions}$$

$el_j = \text{mesure d'erreurs lexicographiques}$

$$EA = \sum_{j=1}^n ea_j \quad n = \text{nombre de sessions}$$

$ea_j = \text{mesure d'erreurs d'association}$

$$el_k = \text{card} \{e_j\} \quad e_j \in \text{erreur lexicographique à la date } d_j,$$

$j=1, m \text{ (nombre de connaissances utilisées)}$

$$ea_k = \text{card} \{e_j\} \quad e_j \in \text{erreur d'association à la date } d_j,$$

$j=1, m \text{ (nombre de connaissances utilisées)}$

où $EL, EA : \text{ENT}$ (type entier)

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 le prototype 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).

- N (les niveaux d'habitude évocative)

$$N = \{ SA_i \} \quad i=1,n \text{ (nombre de sessions)} \\ A_i = \text{l'ensemble d'activités jusqu'à la date } d_i$$

$$SA_i = (SP1, SP2, SP3, SP4)^i$$

$$SPk = \sum_{j=1}^n Pk_j \quad i=1,n \text{ (nombre de sessions)} \\ k=1,4 \text{ (les niveaux d'habitude évocatives)}$$

où $SPk, Pk_j : ENT$ (type entier)

Ce paramètre reflète la progression de l'élève dans ses niveaux d'habitude évocatives depuis le début d'utilisation du système. Par exemple, dans le prototype, si l'élève ne fait que piloter le vidéodisque (dans le module d'observation) 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 que la valeur de C augmente dans le temps, cela peut signifier que l'élève est au niveau P3 où il conceptualise davantage ses connaissances. P4 peut être déduit si l'élève veut construire sa base de connaissances et sa base descriptive.

Ce modèle, tel que nous l'exploitons, permet de suivre l'évolution de l'élève dans tous les niveaux auxquels nous nous intéressons. C'est une sorte d'évaluation d'un élève au niveau « méta-connaissance ». Nous nous intéressons par exemple aux types d'erreurs, aux types de connaissances et à l'évolution des habitudes évocatives.

Une autre forme d'utilisation du modèle est de s'intéresser aux « connaissances » acquises par l'élève. On peut, par exemple, s'intéresser aux connaissances employées et non pas aux types de connaissances, s'intéresser aux erreurs, et non pas aux types d'erreurs, s'intéresser aux interactions de l'élève avec le système et non pas à ses activités par rapport à ses niveaux d'habitudes évocatives ou l'évolution de ses habitudes évocatives.

Le prototype BIRDS exploite le modèle de la première façon. AVIONICS, un prototype développé dans notre équipe de recherche, selon l'architecture proposée par un étudiant en thèse au CNAM, exploite le modèle de la deuxième façon.

ETAT DES TRAVAUX

L'architecture proposée

L'architecture que nous proposons pour réaliser nos objectifs est centrée sur l'utilisation d'images et l'intégration d'un modèle de l'élève.

Elle est composée de quatre parties principales :

- 1) Le *module de technique pédagogique* : ce module est décomposé en quatre sous-modules correspondant aux niveaux d'habitudes évocatives (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) et un module de scénarios (des exercices).
- 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 (c'est-à-dire le modèle de 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.

Notons que les méthodes pédagogiques que l'on désire mettre en œuvre dans un système d'EO sont un élément important, cependant l'état d'esprit des élèves est à prendre en compte. Nous constatons qu'un élève qui est dans un contexte d'apprentissage peut être dans trois cas de figure :

- (a) l'élève sait ce qu'il faut apprendre et il sait également

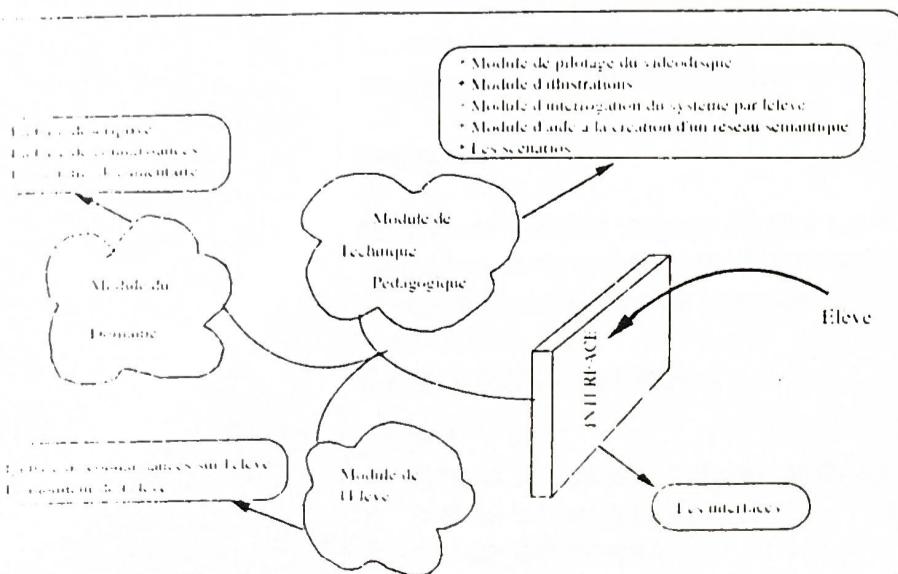


Figure 1 : L'architecture proposée

- (a) 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 didacticiel 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 des modules correspondant aux niveaux d'habitudes évocatives pour répondre à (a),
- créant des scénarios (exercices) pour répondre à (c),
- mettant en même temps à la disposition de l'élève les modules correspondant aux niveaux d'habitudes évocatives et les scénarios pour le cas (b).

Les modules correspondant aux niveaux d'habitudes évocatives 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 un élève fermé à tout apprentissage. L'un des rôles du système consiste donc à maintenir l'intérêt initial et à le faire croître chez l'élève.

Le prototype BIRDS

Nous avons construit un prototype appelé BIRDS, basé sur l'architecture proposée, pour lequel nous avons défini un objectif pédagogique et implanté des stratégies pédagogiques (voir annexe 1).

Objectif pédagogique

L'objectif pédagogique choisi avec la collaboration d'un professeur de sciences naturelles du Lycée Poincaré à Nancy (Colette Roynette) est « la capacité de reconnaître les caractéristiques morphologiques extérieures des oiseaux et de les associer à leurs modes de nourriture ». Nous avons choisi le domaine de l'ornithologie parce que nous avions suffisamment de matériels nous permettant de réaliser nos concepts et de les expérimenter. Bien sûr cette architecture est applicable à d'autres domaines, par exemple, pour construire le système AVIONICS, EIHAO en mécanique du vol.

ANNEXE 1 : NOTICE TECHNIQUE DU PROTOTYPE

Pour avoir plus de détails, une notice d'utilisation et les heuristiques du prototype, se référer aux annexes 1 et 2 [5].

Faits initiaux	200	Nombre d'oiseaux décrits	37
Nombre de règles	75	Nombre d'espèces	27
Nombre de classes	20	Taille du programme	100 K
Le dictionnaire	150 (mots)	Taille d'OPS5+	125 K

Environnement de travail

Matériels

L'environnement de travail est composé de :

- un téléviseur,
- un vidéolecteur,
- un PC/AT ayant une mémoire de 640K minimum et muni d'une carte d'incrustation et d'une carte CGA,
- une souris.

Le vidéodisque contient des espèces d'oiseaux filmés dans leurs milieux naturels. On peut observer comment les oiseaux se nourrissent, comment ils se déplacent, leur morphologie, etc. Le téléviseur est utilisé pour afficher à la fois les images du vidéodisque et les informations provenant du PC. La carte d'incrustation nous permet de superposer des images graphiques sur les images du vidéodisque.

Logiciels

Nous avons utilisé le langage C, pour gérer les interfaces, et le moteur d'inférence OPS5+, pour gérer les connaissances du système. Dans [5] sont explicités les avantages et les inconvénients d'utiliser un moteur d'inférence tel que OPS5 et les difficultés rencontrées.

Adaptabilité du prototype

On peut :

- changer la base de connaissances du domaine,
- changer la base descriptive,
- changer les scénarios,
- réduire considérablement le nombre de règles par la définition des priorités.

Technique pédagogique

La technique pédagogique employée dans le prototype est basée sur la motivation, la participation de l'élève et la connaissance du niveau d'habitude évocative de l'élève. Elle intègre des modules adaptés à chaque niveau d'habitude évocative (observation, abstraction élémentaire, symbolisation et raisonnement, créativité) et des scénarios (sous forme d'exercices) pour entraîner l'élève au cours de son processus d'apprentissage. Les scénarios mettent en œuvre les stratégies pédagogiques suivantes :

- La mémorisation, où tout ce qui est demandé à l'élève est de trouver un moyen de garder des connaissances en mémoire et de pouvoir les rappeler facilement. Par exemple, l'élève peut mémoriser les noms des oiseaux et leurs descriptions.
- L'instruction, où toute connaissance est passée à l'élève explicitement. L'élève doit intégrer les nouvelles connaissances à celles déjà acquises. Par exemple, on peut présenter à l'élève un oiseau, son mode de nourriture et ses nourritures. Ici, le nom, le mode de nourriture et les nourritures de l'oiseau sont explicitement donnés à l'élève.
- L'apprentissage par l'exemple, où on présente à l'élève des éléments de connaissances sous forme d'exemples, à partir desquels il doit trouver un schéma général. Par exemple, on peut présenter à l'élève des exemples de nourritures et lui demander de déduire le mode de nourriture, ou sa morphologie et lui demander de trouver sa classe.
- L'apprentissage par analogie, où l'élève doit appliquer des connaissances déjà acquises dans un autre domaine ou dans un autre contexte. Par exemple, on peut donner le mode de nourriture d'un oiseau ainsi que les particularités de sa morphologie, expliquant le rapport entre la morphologie et le mode de nourriture. On peut par la suite présenter un autre oiseau et demander à l'élève de trouver son mode de nourriture en fonction de sa morphologie. Ici, il faut qu'il trouve les caractéristiques morphologiques qui permettent de déterminer le mode de nourriture.
- L'apprentissage par la découverte, où l'élève emploie ses connaissances pour diriger l'apprentissage de nouvelles connaissances. On peut, par exemple, proposer à l'élève de trouver un oiseau particulier. Il commence la recherche par l'application des connaissances déjà acquises sur l'oiseau en question. Les propositions qui lui seront présentées pourraient lui permettre de découvrir d'autres connaissances.

RÉSULTAT DES PREMIÈRES EXPÉRIMENTATIONS

Côté élève

Pour les premières expérimentations, cinq élèves ont été choisis (par tirage au sort) en classe de 6ème du lycée Poincaré à Nancy. Chaque séance a duré vingt minutes et il y a eu neuf séances par élève, soit trois heures en tout pour chacun d'entre eux. Le résultat que nous présentons concerne quatre élèves. Ces élèves ont rempli un questionnaire après l'expérimentation, que nous présentons en annexe 2.

Le questionnaire

Nous donnons ici quelques commentaires sur l'analyse du 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 intéressés autant (ou plus) que leur intérêt initial qui était l'utilisation de l'ordinateur (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 utilisé. 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).

Les modèles construits par le système

Le système a construit le modèle de chaque élève. Les paramètres du modèle, qui sont implantés dans le prototype pendant l'expérimentation, sont R, A, F, E et N. Nous présentons en annexe 3 (page 19) le paramètre N pour montrer l'évolution de chaque élève.

Nous avons comparé le modèle de chaque élève avec les réponses qu'il a données dans le questionnaire. Il s'est avéré que les modèles construits représentent bien les comportements et les évolutions de chaque élève. Par exemple, l'élève 2 (dans le questionnaire) a dit que ce qui lui a demandé le plus de réflexion était de manipuler l'ordinateur, qu'il n'avait pas beaucoup l'impression d'avoir cultivé ses capacités de raisonnement et n'aimait pas lire les instructions du fonctionnement du système. Ce comportement est reflété dans le modèle construit par le système : en effet, il s'agit d'un élève qui n'a pas beau-

ANNEXE 2 : LE QUESTIONNAIRE REMPLI PAR LES ÉLÈVES

	Elève 1	Elève 2	Elève 3	Elève 4
Facilité d'utilisation				
1 Difficulté d'utilisation	aucune	peu	aucune	aucune
2 Nb. de séances pour être à l'aise	1	3	2	3
3 Présence de Mr. David indispensable ?	oui	oui	oui au début	oui
4 Pourquoi ?	expliquer le fonctionnement	-	-	-
5 Nb. d'intervention de Mr. David/séance	1/2	5	1/2	peu de fois
6 - pour approuver les initiatives	non	-	non	oui
7 - pour suggérer de nouvelles activités	oui	oui	oui(un peu)	non
8 - pour donner des explications	oui	oui	oui	oui
9 Capable de te débrouiller tout seul sans lui ?	oui	non	oui	non
10 Le système est-il capable de se « bloquer » ?	non	oui	oui	non
11 Ce qui est moins facile à comprendre/faire	recherche des images	toujours lire ce qu'il y avait à faire et le noter	rapprochement, description et nourriture	recherche des images
Motivation				
1 Qu'est-ce qui t'a donné envie pour t'inscrire	utiliser l'ordinateur	-	informatique	connaître les oiseaux
2 Satisfait après 9 séances ?	oui	oui	oui	oui
3 Qu'est-ce qui t'a vraiment intéressé	les exercices	observer et chercher des images	tout	observer et exercices
4 Qu'est-ce qui t'a moyennement intéressé	tout le reste	-	rien	recherche des images
5 Qu'est-ce qui ne t'a pas du tout intéressé	rien	-	rien	rien
6 Aurais-tu voulu faire autres chose avec ce matériel ?	non	oui/non	non	non
7 Le fait de réunir des renseignements sur les oiseaux t'a-t-il plus, autant ou moins intéressé que le fait de travailler sur l'ordinateur	plus	autant	autant	plus
Les acquis				
1 As-tu enrichi tes connaissances sur les oiseaux ?	oui	oui	oui	oui
2 Quels sont les objectifs à atteindre	observer, décrire nourriture, habitat	observer, décrire, nourriture ...	observer, rapport, description -	connaître mieux la nature
3 Sont-ils atteints ?	non (- temps)	oui/non (-temps)	nourriture	oui
4 Qu'aurais-tu voulu savoir encore sur les oiseaux	leur reproduction	-	durée de vie générale	rien
5 Nombre d'oiseaux sur le vidéodisque	20	26	26	50
6 Nombre reconnus	10	8	20~	20~
7 As-tu l'impression d'avoir développé tes facultés de raisonnement ?	non	un peu	oui	oui
8 Qu'est-ce qui t'a obligé à réfléchir	les exercices	manipuler l'ordinateur	les reconnaître	exercices et recherche des images
9 Aurais-tu préféré un travail mieux guidé, moins libre ?	non	non	non	non
Bilan				
1 Qu'est-ce qui a bien « marché »	observer les oiseaux	observer les oiseaux	presque tout	utilisation du vocabulaire
2 Qu'est-ce qui demande encore à être amélioré ?	recherche des images	le vocabulaire	observer plus d'oiseaux	rien
<p>coup appliqué ses connaissances dans le domaine d'étude (P3 en-dessous de 10). Par contre l'élève 3, qui a tout essayé (comme le montre le paramètre N de son modèle), a dit qu'il avait l'impression d'avoir cultivé ses facultés de raisonnement.</p>				
<p>Côté professeur</p> <p>Les premières expérimentations ont été menées avec la collaboration du professeur de sciences naturelles (Michèle Patte) des élèves qui ont expérimenté le prototype. Elle a rédigé un rapport sur ses observations au cours de ces expérimentations [5]. Ses observations portent sur quatre aspects du prototype :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'objectif pédagogique : Michèle Patte a jugé qu'il était tout à fait adapté aux élèves ; • la facilité d'utilisation : elle a considéré que l'appro- 				
<p>che pédagogique implantée dans le prototype facilitait son utilisation ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • la motivation des élèves : elle n'a pas caché sa satisfaction du fait que les élèves aient été aussi motivés ; • les améliorations possibles : les améliorations qu'elle souhaite portent plutôt sur l'enrichissement de la base d'images et la diversité des exercices dans les scénarios. <p>Il est d'ailleurs remarquable que côté enseignant, les scénarios pré-définis paraissent le point le plus important du prototype (comme si ce point d'ancre était rassurant), alors que les élèves, eux, en sont sortis assez vite pour expérimenter les autres sous-modules de technique pédagogique (montrant là leur besoin de liberté dans le processus d'apprentissage).</p>				

ANNEXE 5

	P1: observation	P2:abstraction élémentaire	P3:symbolisation et raisonnement	Date
Elève 1	2	2	0	28/11/89
	2	10	1	29/11/89
	4	16	1	01/12/89
	6	26	1	04/12/89
	9	30	3	05/12/89
	11	34	3	07/12/89
	13	43	4	08/12/89
	15	50	5	11/12/89
	15	56	5	14/12/89
Elève 2	3	6	0	28/11/89
	12	7	0	30/11/89
	20	9	0	01/12/89
	31	14	0	04/12/89
	39	18	2	05/12/89
	39	27	2	08/12/89
	47	29	6	11/12/89
	43	29	6	13/12/89
	49	45	6	14/12/89
Elève 3	2	10	0	28/11/89
	3	23	2	29/11/89
	7	23	5	30/11/89
	15	27	5	05/12/89
	25	34	5	07/12/89
	31	41	12	08/12/89
	32	43	14	11/12/89
	32	43	17	12/12/89
	39	43	26	13/12/89
Elève 4	6	6	0	29/11/89
	12	24	2	30/11/89
	12	33	3	01/12/89
	12	47	7	04/12/89
	22	48	12	07/12/89
	24	60	12	08/12/89
	27	71	19	11/12/89
	32	80	26	12/12/89
	37	88	31	12/12/89

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons essayé de montrer quel cadre de réflexion nous nous étions imposé. Après avoir fixé nos objectifs, nous avons exposé le modèle de l'élève que nous avons défini ainsi que son implantation dans l'architecture que nous préconisons. Puis, nous avons explicité le prototype BIRDS où l'on retrouve l'architecture proposée et la construction du modèle de l'élève qui l'accompagne.

Enfin, nous avons consacré une grande partie de notre propos (cf annexes 2 et 3) à l'expérimentation que nous avons déjà faite avec le prototype BIRDS. Actuellement deux axes sont en cours : d'une part, la poursuite de l'expérimentation afin de mieux appréhender les réactions des élèves (cinq élèves n'étant pas un échantillon représentatif) et d'améliorer BIRDS ; d'autre part, nous avons le sentiment qu'il y a encore fort à faire sur l'aspect représentation du processus cognitif de l'élève et des « images mentales » à partir des images réelles. Nous pensons travailler dans cette voie en collaboration avec des psychologues, des pédagogues et des cogniticiens.

RÉFÉRENCES

- [1] J. R. Anderson (réds.) : *Cognitive skills and their acquisition*; Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1981
- [2] V. J. Bassan (réds.) : *Comment intéresser l'enfant à l'école* ; Paris, Presses Universitaires de France, 1976
- [3] H. Bestougeff & J. P. Fargette (réds.) : *Enseignement et ordinateur* ; Paris, Cedic/Nathan, 1982
- [4] A. A. David, O. Thiéry & M. Créhange : *Intelligent hypermedia in éducation* ; ICCAL, Dallas, mai 1989
- [5] A. A. David : *Processus EXPRIM, image et IA pour un EIIO individualisé (Enseignement par l'image intelligemment assisté par ordinateur)* : Le prototype BIRDS, Thèse de doctorat de l'INPL, janvier 1990
- [6] A. de la Garanderie : *Les profils pédagogiques : discerner les aptitudes scolaires* ; Le Centurion, Collection Paidoguides
- [7] C. Hermant (réds.) : *Enseigner, apprendre avec l'ordinateur* ; Paris, Cedic/Nathan, 1985
- [8] C. Mounerat, R. Lefranc & J. Periault (réds.) : *L'enfant et l'image* ; CNPD Mémoires et Documents Scolaires, 1979
- [9] J. Piaget : *Psychologie et pédagogie* ; PUF, 1969.
- [10] J. Self : *Student models : what are they ?* ; IFIP/TC3, Frascati, mai 1987, North Holland (R. Lewis & P. Ercoli réds.).