III.1. Les systèmes d'aide à l'apprentissage des connaissances

1. Introduction

Notre objectif est d'appliquer à l'enseignement des connaissances les principes que nous avons dégagés à partir de l'observation des conversations et d'une réflexion sur l'apprentissage des connaissances conceptuelles. Nous allons essayer de montrer comment ces principes s'intègrent à la problématique de l'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO). Pour cela, nous n'allons pas dresser une liste des nombreux systèmes qui ont été décrits, mais plutôt évoquer les principaux courants qui vont nous permettre de positionner notre propre approche. Notre propos étant l'enseignement des concepts, nous allons subordonner notre analyse des travaux du domaine de l'EAO à la distinction, essentielle pour nous, entre apprentissage de concepts et apprentissage procédural.

Nous essayons de distinguer les différents systèmes selon le paradigme cognitif qu'ils mettent en oeuvre, indépendamment de leurs aspects novateurs sur le plan technique. En effet, nous restons convaincus que le progrès dans ce domaine ne viendra pas d'une simple augmentation de la complexité technique, mais de la définition d'une théorie cognitive convenable de l'apprentissage des connaissances.

2. La problèmatique de l'EAO

L'enseignement est l'un des domaines essentiels de l'organisation d'une société. C'est pourtant l'un des domaines les moins touchés par les avancées de la technique. On apprend encore comme l'on apprenait il y a un siècle. Face à ce constat, nous avons vu deux attitudes. Celle qui consiste à sous-estimer le problème et inversement celle qui voit là une tâche insoluble par principe.

Après les premiers essais de l'Enseignement Programmé, nous avons vu à la fin des années 70 de très grandes entreprises informatiques investir dans des systèmes et des productions d'E.A.O. (Enseignement Assisté par Ordinateur). Ces investissements sont retombés au milieu des années 80, principalement parce que l'on s'est très vite heurté aux limites de l'approche classique : les produits coûtaient très cher, et étaient mal tolérés tant par les apprenants que par les formateurs, notamment en formation initiale.

Au même moment, la recherche a produit de nouveaux systèmes, comme les tuteurs intelligents, dont les objectifs sont beaucoup plus ambitieux que ceux de l'approche classique, puisqu'ils visent à modéliser l'élève pour adapter l'interaction. Mais la plupart de ces produits restent au stade de prototype, et leur transposition d'un domaine enseigné à un autre reste presque aussi coûteuse que le développement initial.

Face à ces grands espoirs plus ou moins déçus, beaucoup en sont venus à considérer que les ambitions devaient être diminuées. Certains considèrent même que le formateur humain est indispensable, et que la machine ne peut le remplacer pour des raisons fondamentales liées à la relation psychologique. Nous ne

connaissons toutefois pas de travaux qui aient pu établir ce point sans ambiguïté (1). D'autres en sont venus à privilégier l'approche "ordinateur boîte à outils", à l'exclusion de toute tentative d'apporter des connaissances à l'apprenant.

Notre travail en EAO depuis 1980 nous a donné la conviction que la capacité d'enseigner des connaissances pouvait être rendue accessible à des machines. Cependant, le développement de produits efficaces et bien acceptés par les apprenants (idéalement des produits qui seront préférés aux formateurs humains pour certains types d'apprentissage) passe par une meilleure compréhension du processus d'apprentissage humain. Notre approche procède de l'heuristique suivante : chercher à reproduire entre l'apprenant et la machine une relation naturelle. Dans notre optique, la relation naturelle de référence n'est pas la relation enseigant-enseigné (qui est une invention sociale récente), mais un comportement biologiquement ancré : celui de la conversation.

3. Les approches "classiques" de l'EAO

Pendant de nombreuses années, deux approches de l'Enseignement Assisté par ordinateur se sont opposées : l'approche *tutorielle* et l'enseignement par simulation. La première est issue de l'Enseignement Programmé, la seconde a été illustrée par des produits comme LOGO [Papert 1980]. A ces deux approches classiques s'est ajoutée l'approche hypertexte, à laquelle nous avons contribué en développant notre système SAVANT1.

3.1. L'EAO tutoriel et le behaviorisme

Pendant longtemps, le paradigme dominant en EAO de type tutoriel était issu du cadre behavioriste et de ses prolongements comme la pédagogie "par objectifs". Il est difficile de parler d'E.A.O. tutoriel sans avoir à l'esprit les méthodes d'enseignement prônées par B.F. Skinner, qui est l'un des principaux inspirateurs de l'Ecole de pensée behavioriste fondée avant 1920 par John Broadus Watson.

Le Behaviorisme se préoccupait au départ de psychologie animale. Son objectif était de rendre compte du comportement animal et humain, notamment de la faculté d'apprentissage, en rejetant tout "mentalisme". Le Behaviorisme va adopter en fait une position extrême : toute hypothèse sur le fonctionnement interne de l'organisme étudié est rejetée *a priori*. On ne prend en compte que ce qui est "visible" objectivement, c'est-à-dire les stimuli (les entrées du systèmes) et les réponses (les sorties du système). Par exemple, un behavioriste qui considère l'activité langagière du petit enfant essaiera d'évaluer le plus précisément possible l'ensemble des mots et des phrases auxquels l'enfant a pu être exposé d'une part, et d'autre part les productions de l'enfant étudié (phonèmes, mots, constructions syntaxiques). C'est à partir de ces éléments qu'il chercherait à expliquer l'apparition du langage, en utilisant un seul paramètre : le "plaisir" éprouvé par le jeune enfant qui voit ses productions vocales suivies d'un effet, et le "déplaisir" qu'il est censé éprouver lorsqu'on ne le comprend pas ou lorsqu'on le corrige (la mémorisation n'intervenant que dans le premier cas) [Naville 1942 p. 248].

La thèse centrale du behaviorisme est que tout apprentissage, qu'il soit le fait d'un invertébré ou d'un mammifère supérieur, procède d'un *conditionnement*. Le conditionnement "opérant" défini par Skinner est un mécanisme de sélection comportementale. L'organisme produit un comportement (au départ spontané et aléatoire). Ce comportement a des conséquences qui se révèlent en retour positives (plaisir) ou négatives (déplaisir, douleur):

> "Dès que nous avons établi le type particulier de conséquence que nous appelons un renforcement, nous sommes en mesure de modeler le comportement d'un organisme pour ainsi dire à notre gré. [...] Si nous prenons soin de présenter de la nourriture à un pigeon affamé à certains moments précis, [...] nous pouvons lui apprendre à tourner en rond, à décrire des huit sur le sol de sa cage, à se tenir immobile dans un coin, à tendre le cou ou à frapper du pied." [Skinner 1969 p.16]

---

1 Certains travaux utilisant la technique dite du magicien d'Oz tendent au contraire à montrer que la machine présente elle aussi des attraits relationnels [Nicolle 92].

On comprend que la récompense puisse augmenter la fréquence de production de comportements élémentaires, après qu'ils se sont produits, au départ, spontanément. Mais qu'en est-il de l'apprentissage des comportements complexes souhaités par le dresseur, puisqu'il est tout à fait improbable qu'ils soient effectués spontanément pour être ensuite récompensés. Pour expliquer leur acquisition, les behavioristes montrent comment tout comportement apparemment complexe peut être en fait décomposé en une succession de comportements élémentaires accessibles à l'apprentissage par conditionnement : le comportement global sera appris par la récompense de ses composants.

L'E.A.O. de type tutoriel était, dans ses débuts, l'exacte mise en oeuvre des principes behavioristes dans le domaine de l'enseignement, d'autant que Skinner avait lui-même a tracé la voie dans ce qui s'appelait l'enseignement programmé [Skinner 1969]. L'élève est toujours mis dans une situation pour laquelle on est certain qu'il produira un *comportement observable*. C'est ce comportement qui est jugé, puis le jugement est retourné à l'élève aussi souvent que possible sous la forme d'une félicitation ou au contraire d'une invitation à recommencer. On retrouve le même souci d'utiliser l'observation de comportements visibles pour prouver une acquisition dans la Pédagogie par Objectifs [Mager 1977].

L'approche behavioriste a été beaucoup critiquée d'un point de vue scientifique. L'interdiction de formuler des hypothèses sur ce qui n'est pas directement observable va à l'encontre des principes mêmes de la démarche expérimentale. Par ailleurs, en ce qui concerne l'apprentissage animal, les éthologues ont montré que de nombreux comportements ne devaient rien à un système de récompense / punition [Lorenz 1974; Eibl-Ebesfeldt 1967]. Enfin, l'application du Behaviorisme à l'apprentissage des connaissances nous semble présenter deux obstacles majeurs. Le premier vient des limitations dues à son caractère statistique (voir chap. II.1). Le deuxième vient de ce que, dans cette théorie, l'existence même des connaissances est niée !

Dans le chapitre II.2, nous avons montré qu'il n'était pas possible d'expliquer des comportements humains comme celui des interlocuteurs sans postuler l'existence objective de *connaissances* dans l'esprit du locuteur. Nous aurons ici l'occasion d'insister sur une distinction, qui nous semble essentielle, entre *connaissances conceptuelles* et *connaissances procédurales*. Mais pour les Behavioristes, le "concept" de concept n'est pas pris en compte, puisqu'ils ne font aucune hypothèse sur l'état interne de l'organisme étudié. Ils tentent donc à chaque fois de remplacer les connaissances conceptuelles par un *comportement observable*.

Par exemple, imaginons que l'on veuille enseigner les concepts d'électron et de fusible grâce à un tutoriel. Si on s'en tient au dogme, on tentera par des renforcements appropriés de stabiliser le comportement souhaité chez l'élève. Mais quel est le comportement, ici ? Si quelqu'un qui veut savoir l'heure entend qu'il est cinq heures, on peut penser qu'il a compris. Le Behavioriste, lui, exigera un comportement de sa part (par exemple qu'il se précipite vers la gare). Quel comportement peut-il bien attendre dans le cas de l'électron et du fusible ? En fait, il attendra que l'élève donne les réponses attendues à un certain nombre de questions du genre "quelle est la valeur de la plus petite charge électrique que l'on peut isoler ?". Mais un certain nombre de critiques sautent aux yeux :

- L'élève a des chances d'avoir "compris" (au sens que nous avons donné à ce terme) *avant* de répondre aux questions, ces dernières servant alors de preuve de l'acquisition. On lie donc deux choses qui sont essentiellement différentes, au point de finir par les confondre : la transmission du concept, et l'évaluation de cette transmission. Or répondre sans arrêt à des questions non motivées se révèle vite fastidieux pour l'apprenant[2].
- Les questions ne sont pas censées contribuer à la transmission du concept. Elles ne sont là que comme révélateur. Les renforcements (félicitations, réprimandes, invitations à recommencer) ne véhiculent pas d'information relative au concept. Alors où l'élève trouve-t-il cette information ? Parfois, l'élève est obligé d'effectuer une tâche bien plus complexe et insoupçonnée de l'auteur pour deviner ce que ce dernier attend de lui avec ses questions. Mais le plus souvent, l'auteur évite le problème en donnant une définition préalable du concept (ce qui n'est pas prévu dans la théorie

[2] Dans notre système SAVANT3, qui sera présenté dans le chapitre III.2, on ne cherche pas à vérifier directement l'acquisition des notions, et toutes les questions sont motivées.

behavioriste de l'apprentissage animal où l'on part de comportements spontanés). Il est donc normal de se demander si l'effort pédagogique ne devrait pas se porter sur cette définition du concept plutôt que sur l'évaluation.

- Pour enseigner un comportement, on peut parfois le fractionner, comme cela est prescrit dans la théorie skinnérienne. Mais que signifie fractionner un concept comme celui d'électron? Cela consiste-t-il à parler de particule élémentaire? Et dans quelle mesure ce nouveau concept sera-t-il compris plus facilement? Comment fractionner le concept de fusible?

L'approche tutorielle de l'enseignement assisté par ordinateur a subi certains aménagements, rendus nécessaires par le souci de rendre l'interaction acceptable. Mais aucun paradigme nouveau n'est venu remplacer l'ancienne vision behavioriste selon laquelle l'essentiel de l'acte d'enseignement réside dans la rétroaction, le jugement de valeur, que l'on renvoie à l'apprenant à propos d'une *tâche* qu'il vient d'effectuer.

3.2. L'enseignement par environnement simulé

Depuis longtemps, mais surtout, dans le contexte de l'E.A.O., avec le développement du système LOGO par S. Papert [Papert 1980], on s'est rendu compte du fait que les individus pouvaient apprendre par eux-mêmes. L'enfant qui interagit avec la tortue LOGO construit ses théories et peut les tester [Grumbach 1990]. Cette idée de construction provient des thèses de Piaget, qui ont d'ailleurs fortement inspiré la démarche de Papert. Les simulations se prolongent dans les environnements réactifs et les Micro-mondes [Thompson 1987].

Contrairement à l'approche tutorielle classique, les environnements simulés sont bien acceptés par les apprenants, principalement parce qu'ils sont perçus comme une activité ludique. Peut-on imaginer de les utiliser pour l'enseignement des concepts ?

En fait, ces environnements permettent avant tout l'acquisition de *procédures*. Certes, dans le cas de simulations complexes, par ex. STEAMER [Hollan et al. 1987], l'utilisation de certaines procédures évoluées nécessite des connaissances conceptuelles spécifiques. Ceci a été parfaitement mis en évidence par J-F Richard dans le cas de l'apprentissage d'un traitement de textes [Poitrenaud et al. 1990]. L'acquisition de ces connaissances conceptuelles motivées par l'accomplissement d'une procédure est soit totalement spontanée et laissée au hasard (cas de LOGO), soit obtenue grâce à des aides spécifiques (systèmes d'aide contextuels) dont le principe diffère d'une application à l'autre. Autrement dit, ce ne sont pas les systèmes de simulation, les micro-mondes, etc. qui peuvent, en tant que tels, fournir à eux seuls une réponse suffisante au problème de l'apprentissage des connaissances conceptuelles.

3.3. Les hypertextes et les hypermédias

En réaction contre la démarche extrêmement directive de l'EAO tutoriel, nous cherchions en 1980 un système dans lequel l'élève garde un contrôle total de la machine. Les élèves visés étant habitués à travailler seuls, nous avons imaginé de leur offrir un accès aussi rapide que possible aux définitions des concepts contenus dans leur cours, et aux raisonnements qui lient ces concepts, autrement dit de leur fournir une encyclopédie conceptuelle interactive, qui fut baptisée SAVANT1 [3].

Notre scénario était le suivant: l'élève est en train de lire un document papier. Il rencontre un problème de compréhension (de telles difficultés peuvent bloquer l'élève pendant près d'une heure !). Il est capable de localiser son problème de compréhension sur une notion ou un résultat prérequis qu'il ne possède pas parfaitement, pense à se connecter sur l'encyclopédie, et parvient très rapidement au concept ou au résultat cherché. Ce dernier est exposé *en un seul écran* très concis, et cet écran est *autonome*: les concepts prérequis sont explicitement signalés (vidéo inverse), et les notations employées sont toutes explicitées. L'élève prend connaissance de la définition, consulte des prérequis, consulte la démonstration s'il s'agit d'un résultat, puis retourne satisfait à son document écrit.

---

[3] S.A.V.A.N.T.: **S**ystème d'**A**ssistance **V**isuelle à l'**A**pprentissage de **N**otions **T**héoriques. Deux autres systèmes portent ce nom : un serveur multimédia (SAVANT2) et un système d'enseignement par l'argumentation (SAVANT3).

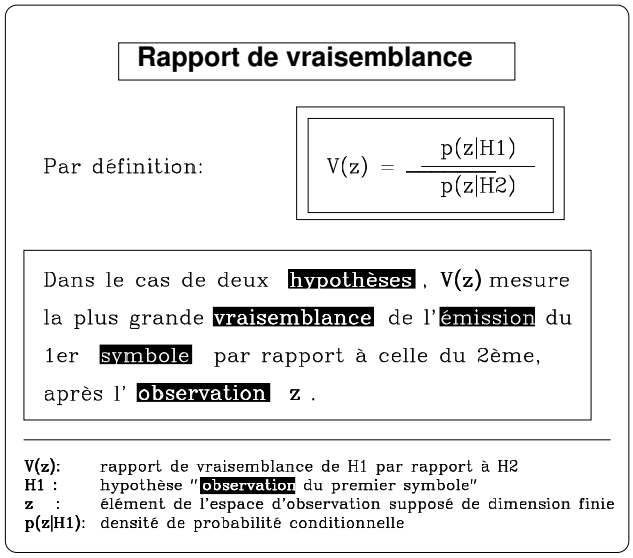


figure 1: exemple d'écran de l'encyclopédie SAVANT1

Nous avons ainsi constitué au cours des années une encyclopédie de plus de 3000 écrans, accessible par plus de 850 mots clés. Pour des raisons ergonomiques et économiques, nous l'avons réalisée en vidéotex, ce qui nous permettait de confier un terminal Minitel à chaque élève pour qu'il puisse utiliser le système depuis sa résidence(4).

Cette exigence de l'écran unique autonome, adoptée dans SAVANT1, s'impose aussi pour la présentation des raisonnements. Ceux-ci sont présentés selon différents niveaux de détail, chaque niveau comportant des fenêtres donnant accès à un niveau plus fin. Mais là encore, un niveau du raisonnement doit tenir dans l'espace d'un écran.

SAVANT1 diffère quelque peu de ce que l'on a appelé ensuite un hypertexte, parce que l'information est complètement retraitée pour figurer dans l'encyclopédie, et selon des règles précises. De plus, l'encyclopédie n'est pas "feuilletable". Nous avons en effet été contraints, à la suite des premières expérimentations, de séparer totalement l'information technique, celle de l'encyclopédie, accessible seulement par mot clé, d'une information "narrative" [Dessalles 1984a, 1984b]. C'est cette dernière que nous avons développée pour la délinéariser (selon des techniques navigationnelles originales) et la rendre argumentative [Dessalles 1992g].

SAVANT1 a été utilisé pendant plusieurs années par les élèves de TELECOM-Paris. Nous avons voulu, dès 1984, prolonger l'expérience avec le développement d'un serveur multimédia, SAVANT2 [Dessalles 1986]. Ce système, original sur le plan technique (serveur de vidéodisques, réseau en fibres optiques, commutations vidéo automatiques) a été exploité jusqu'en 1989 à TELECOM-Paris(5). La vidéo interactive était utilisée pour amplifier l'effet de la partie narrative. Ayant reconnu l'importance de l'argumentation dans l'apprentissage, nous avons utilisé SAVANT2 pour réaliser une première forme de conversation interactive. L'utilisateur assiste à une conversation entre trois personnages, et après chaque réplique, choisit le prochain locuteur. Les différents enchaînements possibles étaient conçus à l'avance. Suivant ses choix, l'utilisateur pouvait assister à des argumentations différentes. Mais au total, il avait profité de la conversation et des concepts qui y auront

4 Le serveur SAVANT1 était en 1981 l'un des tout premiers serveurs vidéotex, en particulier dans le secteur de l'enseignement. Son développement a été voulu par Daniel Cadé, et il a été développé à l'ENST par Jean-Pierre Bach, du Centre de Calcul.

5 SAVANT2 constituait une innovation sur le plan technique. Il s'agissait de l'un des premiers serveurs multimédia en France. Son développement a été décidé dès 1982 par Daniel Cadé, à l'époque Directeur adjoint de l'ENST. Il est le fruit d'une collaboration entre le Centre de calcul de l'ENST (Jean-Pierre Bach), le labo vidéo de l'ENST (Alain Biaggi), et le service NTE (Nouvelles Techniques pour l'Enseignement) dont j'assurais la responsabilité. Le projet dans son ensemble (mise en place du réseau fibres optiques, système de multiplexage vidéo/données, pilotage des vidéolecteurs et des commutations, réalisation des vidéodisques, exploitation) a bénéficié de la collaboration de nombreuses personnes de TELECOM-Paris.

été évoqués. Malheureusement, la conception du graphe de la conversation était malaisée. Il s'agit a priori d'un arbre, qu'il fallait "mailler" pour des raisons d'économie, tout en conservant la pertinence de chaque réplique.

Il existe maintenant de nombreuses utilisations des hypertextes et des hypermédias pour l'apprentissage. Toutefois, comme pour les simulations, leur utilisation pour l'enseignement des connaissances conceptuelles n'entre pas dans un cadre théorique clair. Avec SAVANT1 puis SAVANT2, nous voulions donner un accès *optimal* à l'information conceptuelle, en contrôlant les effets de contexte : suppression du contexte dans l'encyclopédie SAVANT1 (par le fait de rendre les écrans autonomes), construction d'un contexte argumentatif dans la partie narrative des deux systèmes. C'est grâce à ces expériences que nous avons compris l'importance du contexte argumentatif, ce qui nous a conduit au développement du système SAVANT3 que nous décrivons plus loin (chapitre III.2).

4. Connaissances conceptuelles et connaissances procédurales

Au cours de notre étude des conduites argumentatives spontanées, nous avons acquis la conviction que, contrairement à ce que l'approche tutorielle classique tenait pour admis, les concepts et les savoir-faire ne pouvaient pas être enseignés de la même façon et que l'argumentation devait jouer un rôle essentiel dans la transmission des concepts. Nous commencerons par clarifier cette séparation entre les connaissances procédurales et les connaissances conceptuelles, car l'essentiel de notre démarche repose sur elle.

4.1. Une distinction trop souvent négligée

Notre objectif étant d'enseigner des concepts en utilisant un système capable d'argumenter, nous allons nous intéresser principalement aux systèmes capables d'aider à l'acquisition de connaissances conceptuelles, par opposition aux connaissances de nature procédurale. Cette distinction, niée dans la conception behavioriste, est pour nous fondamentale. L'analyse des conversations nous a amplement prouvé que le traitement et l'apprentissage des connaissances conceptuelles, en l'occurrence à travers le langage, était très différent de ce que proposent les théories d'inspiration behavioristes qui donnent le primat à l'action. Nous retrouvons notre point de vue chez de nombreux auteurs qui, sous des dénominations diverses, font bien cette distinction essentielle entre concepts et savoir-faire :

> "There are two basic forms of learning : *knowledge acquisition* and *skill refinement*. When we say that someone learned physics, we mean that this person acquired significant concepts of physics, understood their meaning, and understood their relationships to each other and to the physical world. The essence of learning in this case is the acquisition of new knowledge, including descriptions and models of physical systems and their behaviors, incorporating a variety of representations. [...] A second kind of learning is the gradual improvement of motor and cognitive skills through practice, such as learning to ride a bicycle or to play the piano. [...] The bulk of [this] learning process consists of refining the learned skills, whether mental or motor coordination, by repeated practice and by correcting deviations from desired behavior." [Carbonell, Michalski & Mitchell 1983]

> "On peut par exemple distinguer les apprentissages selon la nature de ce qui est acquis au terme du processus. On mettra d'un côté les dispositions 'propositionnelles', relevant du 'savoir que' (knowing that), de l'autre les dispositions "pratiques", relevant du 'savoir-faire' (knowing how). On aura donc d'une part des capacités purement inférentielles, de l'autre des aptitudes (skills)." [Andler 1987]

On voit se dessiner l'idée que les connaissances conceptuelles sont par essence liées à la logique et que leur acquisition est de nature *qualitative*, alors que les procédures s'acquièrent de manière graduelle. Par exemple Inhelder et Piaget opposent les procédures aux structures, ces dernières étant caractérisées par leur insertion dans des inférences :

> "C'est au sein des inférences du sujet que se manifestent les structures tandis que les procédures comportent beaucoup plus d'empirisme; et, en ces inférences, ce sont les éliminations des contradictions et des incompatibilités qui sont les plus révélatrices de leur nature structurale." [Inhelder & Piaget 1979]

Ces auteurs non seulement accordent un statut logique aux "structures", mais de plus adoptent le point de vue qui est le nôtre, selon lequel la nature conceptuelle d'une connaissance se révèle dans sa capacité à entrer dans une relation d'incompatibilité (voir chapitre II.3). Nous sommes donc très près de l'idée d'utiliser l'*argumentation* comme outil privilégié pour enseigner des connaissances conceptuelles, comme le suggère S. Ohlsson :

> "We are moving from a concern with mainly procedural knowledge to concerns with conceptual, declarative, theoretical, abstract knowledge" [...] "There is something different between explaining something or arguing or justifying and solving the Tower of Hanoï or solving a physics problem or whatever. I think that those activities - explaining, arguing, justifying - are closely connected with the notions of conceptual knowledge, belief systems and world view." [Ohlsson 1991]

Cette distinction fondamentale entre concepts et procédures, même si elle commence à être reconnue par un nombre croissant de chercheurs, semble encore être négligée par la plupart des auteurs, tant elle est contraire au schéma longtemps dominant de l'apprentissage par l'action. Par exemple, elle n'apparaît pas du tout clairement dans la théorie psychologique d'Anderson [1983] qui vise pourtant à décrire l'architecture générale de la cognition(6) ! La raison de cette négligence vient selon nous du fait que la recherche en psychologie de l'apprentissage s'est surtout attachée à décrire l'apprentissage de *tâches*. Or une grande partie de notre apprentissage est indépendant de toute tâche. De plus, si certaines tâches sont purement procédurales (par ex. faire du vélo), il n'en est pas de mêmes de certaines tâches intellectuelles, dans lesquelles la connaissance des concepts intervenant dans les procédures est essentielle. Nous nous proposons de commenter ces aspects des relations concepts / procédures, car ils sont essentiels pour la suite.

4.2. Concepts et procédures : deux apprentissages radicalement différents

Il est important de comprendre que l'acquisition d'un concept est d'une nature qualitativement différente de celle d'une acquisition de savoir-faire. Prenons deux exemples: la notion de protéine et le calcul d'une intégrale. Le bon sens dicte que le premier est un concept et le second un savoir-faire. En EAO tutoriel classique, enseigner la notion de protéine n'a pas de sens. En revanche, on peut par exemple mettre l'élève en situation de discriminer parmi différentes formules celles qui décrivent des protéines, de même qu'on le mettra en situation de calculer une intégrale donnée. Pourtant, deux différences fondamentales séparent ces deux exemples d'apprentissage.

Performance graduelle vs. qualitative : la première différence concerne la performance de l'élève. Un élève qui fait des changements de variables inutiles ou qui intègre par parties de manière maladroite peut apprendre comment éviter les essais peu prometteurs. Il peut donc progresser. Cela a donc un sens d'évaluer sa performance, comme on le fait systématiquement en EAO tutoriel. En revanche, on ne peut en aucun cas affirmer que l'élève qui fait moins d'erreurs en discriminant des formules chimiques de protéines a progressé dans la compréhension de ce qu'est une protéine. Une protéine, c'est la mise bout à bout de différents acides aminés. L'élève qui se trompe identifie peut-être mal les acides aminés, ce qui est une autre histoire : cela ne veut pas dire qu'il n'a pas compris ce qu'est une protéine. Ou alors il n'a effectivement rien compris à ce qu'est une protéine. Mais en aucun cas il n'a compris qu' "à moitié". En résumé, mesurer quantitativement l'acquisition d'un concept n'a pas de sens, et pour cette raison la démarche théorique de l'EAO tutoriel classique devient caduque dans le cas des concepts.

"Insécabilité" des concepts : la deuxième différence concerne la "sécabilité" des concepts. Dans la théorie skinnérienne qui sert de base à l'EAO tutoriel classique, un comportement trop complexe pour être acquis en une fois peut être fractionné en unités plus simples juxtaposables. Pour parvenir à calculer des intégrales, l'élève peut commencer par intégrer des fonctions simples, puis appliquer chaque méthode

---

6 Anderson, certes, consacre beaucoup d'efforts à décrire l'apprentissage qu'il appelle procédural. Les connaissances qu'il désigne comme prcoédurales correspondent tout à fait à ce que nous désignons sous ce terme (même si Anderson les représente avec des règles de production qui, lorsqu'elles sont explicites, sont justement le moyen informatique standard pour exprimer des connaissances déclaratives !). En revanche, ce qu'Anderson appelle "connaissances déclaratives" est très éloigné des règles de logique (par ex. règles d'incompatibilité) qui relient les concepts, et recouvre plutôt des éléments mémorisés de manière associative.

(intégration par parties, changement de variables) séparément, puis reconnaître les cas favorables (fonctions polynomiales ou sinusoïdales pour l'intégration p.p.), etc. Malheureusement, on voit mal comment découper le concept de protéine: le sous-concept d'acide aminé est bien plus complexe que le concept de protéine. Il en est de même de leur accrochage par la liaison C--O N--H.

Selon notre point de vue, l'acquisition d'un concept est un processus de nature logique, alors que l'acquisition d'un savoir-faire est de nature procédurale. Une procédure peut être mise au point grâce à l'évaluation d'une performance, c'est-à-dire d'une distance par rapport à un objectif idéal. Ce n'est pas le cas pour un concept. Nous allons au contraire essayer de montrer que la transmission d'un concept peut être modélisée par un processus de nature logique, ce qui explique que la performance, dans ce cas, soit nécessairement qualitative.

4.3. Connaissances conceptuelles et résolution de problème

De même que certains apprentissages de savoir-faire ne nécessitent aucune connaissance de nature conceptuelle [7], la plupart des traitements conceptuels se font en l'absence de toute situation de résolution de problème. Notre étude des conversations nous a permis d'observer de nombreux apprentissages de connaissances en l'absence de toute tâche à résoudre. Stellan Ohlsson imagine une base de données capable de fournir des explications à un patient, concernant sa maladie, lorsqu'il se trouve dans la salle d'attente de son médecin :

> "[...] the system will then look into its knowledge base and it will generate natural language explanations which are tailored to the particular patient. [...] So there will be no task here for the patient, the patient has no problem solving task, we are not out to teach him any cognitive skills. The goal is instead to improve his understanding of why he is having such and such symptom and why the doctor is prescribing such and such a therapy and possibly as the therapy goes on why such and such side-effects occur ; that is a first step towards a computer based training system that is going to operate on the user's belief system rather than upon his cognitive skills and his procedural knowledge." [Ohlsson 1991]

Cependant, l'apprentissage des procédures et celui des connaissances n'est pas à ce point cloisonné. Plusieurs auteurs ont montré que l'acquisition de certaines procédures nécessitait la formation d'une représentation conceptuelle. Par exemple Richard [1983], Moyse [1989] et Grumbach [1989] montrent que des descriptions purement fonctionnelles du type *but* → *actions*, qui traduisent généralement des savoir-faire procéduraux (cf. [Anderson 1983]), ne permettent que les actions prévues dans les règles. Toute adaptation à une situation nouvelle nécessite de la part des individus la mise en place d'un modèle structurel. Dans [Grumbach 1989], il s'agissait d'une notice décrivant le chauffage d'un véhicule. Dans une notice, on pouvait lire des descriptions purement fonctionnelles : "*Si vous désirez désembuer le pare-brise, alors tournez la manette M vers la gauche et positionnez l'interrupteur I en position 1*", alors qu'une autre notice pour un véhicule similaire donnait seulement des indications structurelles : "*La manette M, tournée vers la gauche, ouvre le circuit d'arrivée d'eau chaude*".

Ces études tendent à montrer qu'une représentation structurelle logique des processus devient nécessaire dès que l'individu est en situation de devoir s'adapter, au point qu'il est parfois amené à construire cette représentation si elle ne lui a pas été donnée. Toutefois, les descriptions fonctionnelles, procédurales, semblent être utiles au novice, car la seule connaissance d'une description structurelle lui posera des problèmes :

> "Ce qui est difficile pour le novice, c'est probablement de savoir ce que le dispositif permet de réaliser en fait d'actions qui soient à la fois réalisables à l'aide des commandes disponibles et envisageables comme des objectifs possibles, comme sous-buts qu'il puisse se donner dans une tâche complexe. Même s'il connaît l'effet des commandes, cette connaissance n'est pas utilisable immédiatement car en général l'effet d'une commande ne correspond pas au résultat d'une action qui soit équivalente à un sous-but dans la programmation habituelle de l'action." [Richard 1983]

---

[7] Un jour quelqu'un expliquait "qu'il y avait deux façons de tourner en moto : soit on se penche sur le côté, soit on tourne le guidon". Son modèle conceptuel grossièrement erroné (il faut faire les deux actions conjointement) ne l'empêchait pas d'utiliser son véhicule de manière correcte ! Dans de tels cas, nous avons des savoir-faire "purs", qui tolèrent l'absence de modèle conceptuel, ou même la présence de modèles conceptuels erronés.

Malgré cette restriction, on constate que des connaissances de nature conceptuelle, par ex. une description structurelle relative à un dispositif, peut être utilisée pour accomplir une tâche, au même titre que des connaissances de savoir-faire. Le mécanisme est toutefois fort différent. Nous allons observer les conséquences de ces relations concept / savoir-faire lorsqu'il s'agit d'enseigner.

Cauzinille-Marmèche et Mathieu [1988] distinguent les systèmes d'EAO selon leur objectif : enseigner des compétences élémentaires, ou des stratégies de résolution, ou encore des concepts et les relations qui les lient. Nous rejoignons cette classification dans les descriptions qui vont suivre. Pour commencer, nous allons nous attacher à décrire les approches E.A.O. dont l'objectif est d'enseigner des connaissances purement conceptuelles, pour ensuite évoquer les approches qui prennent en compte les connaissances conceptuelles dans l'enseignement des savoir-faire.

5. Des systèmes qui enseignent des concepts

Nous évoquerons quelques systèmes, dont SCHOLAR et WHY, d'une part parce qu'ils sont sans doute parmi les premiers systèmes qui tentent d'enseigner grâce à la richesse de leur dialogue, et d'autre part parce que même s'ils sont souvent cités, ils ont été peu imités par la suite. Or leur objectif est le même que le nôtre : enseigner des concepts, et la méthode est très proche : utiliser le dialogue.

5.1. Le "Socratic System"

L'une des premières tentatives pour utiliser l'ordinateur afin de gérer un dialogue socratique dans un but didactique est due à Wallace Feurzeig, dont le système "socratique" est ici présenté par R. Bolt :

> "The Socratic System and a student together 'discuss' a problem to be solved or a body of information to be learned. The system states a problem, sets the appropriate conditions upon its solution, asks questions, provides data requested, and replies to questions and assertions put forth by the student. The student, in turn, asks for clarification or for data he believes to be relevant, proposes tentative answers, and works his way through the best solution he can find, which he reports to the system." [Bolt 1968]

Voici un exemple d'interaction avec le Socratic System donné par R. Bolt :

[. . .]	
system:	*The overtime amounts to $60,000 for seasonal production and none for level. These new data should change your pro formas and have very significant effects on your decision...*
student:	*Seasonal production*
system:	*Now that you have made a decision, let's consider it in the light of the relevant facts... Consider these corrected pro formas carefully. Then tell me - are you still happy with your current decision ?*
student:	*Yes*
system:	*Tell me again, just to be sure that I understand, WHICH production schedule do you recommend ?*
student:	*Seasonal production.*
system:	*Let's consider a hypothetical question. If you were guaranteed that you would not be caught with a lot of unsaleable inventory, would you change your decision to one in favor of level ?*
student:	*No.*
system:	*Then let's consider whether or not we are agreed on amount of savings that would result. Assuming all the inventory were sold, how many thousands of dollars in savings would result from going to a level production schedule ?*
student:	*110.*

system:	*That's about right. The actual value, determined from direct labor costs, overtime costs, and machine maintenance costs, is $108,000. That's a lot of money. Doesn't this change your decision ?*
student:	*No.*

Ce que nous retenons du dialogue socratique, c'est principalement son aspect argumentatif. Dans cet extrait, le système ne juge pas l'action de l'étudiant (seasonal production) comme mauvaise ou comme bonne. Il donne des arguments *contre* le choix de l'élève, et amène l'élève à se justifier ou à changer ses choix. C'est cet échange d'arguments que nous avons cherché à systématiser dans SAVANT3.

Dans le Socratic System, les arguments semblent préétablis. Le moment où ils sont délivrés dépend du dernier choix fait pas l'étudiant, mais aussi de tout le passé de l'interaction (les informations que l'étudiant a obtenues, sa stratégie de résolution du problème, etc.). Les systèmes ultérieurs essaient dans une plus grande mesure de *calculer* leurs arguments.

5.2. SCHOLAR

J.R. Carbonell, avant 1970, réalisa ce qui est sans doute le premier système intelligent qui tente de soutenir un dialogue didactique avec l'apprenant. Son système, SCHOLAR, utilisait des connaissances stockées dans des réseaux sémantiques (qui venaient d'être imaginés par Quillian) et il possédait quelques capacités pour interagir en langue naturelle (mot clés créés dynamiquement à partir du réseau). Il gérait un dialogue à initiative partagée [Wenger 1987] :

SCHOLAR :	*The eastern and central plain of Argentina is ---*
Student :	*Chaco*
SCHOLAR :	*No. The northern plain of Argentina is the Chaco. The eastern and central plain of Argentina is the Pampas.*
Student :	*Is the Chaco in Chile ?*
SCHOLAR :	*No. The Chaco is in Argentina, Paraguay, and Bolivia, not in Chile.*

SCHOLAR savait analyser les réponses de l'étudiant, il essayait de les évaluer avec son réseau sémantique, donnait une réponse élaborée, puis, dans le cas où l'élève n'essayait pas de prendre l'initiative, il recherchait un sujet associé pour poser une nouvelle question.

Ces recherches visant à mettre au point un système capable d'apprendre par le dialogue furent poursuivies au sein de la même équipe, et donnèrent naissance au système WHY.

5.3. WHY

Le système WHY avait pour objectif de reproduire une relation de type "socratique" entre l'élève et la machine. Il utilisait des connaissances stockées sous forme de scripts (chaînes temporelles et causales) hiérarchisés qui servaient à la fabrication des questions et à l'analyse des réponses [Stevens et al. 1979]. Ce système se caractérise par des stratégies de dialogue qui ont été formalisées à partir de l'observation de dialogues tutoriaux réels [Collins 1976] :

WHY :	*Do you think the Amazon jungle has heavy rainfall or light rainfall ?*
Student :	*Heavy rainfall*
WHY :	*Why does the Amazon have heavy rainfall ?*
Student :	*Because it's near the Atlantic*
WHY :	*Yes, the Amazon jungle is near the equatorial Atlantic. How does that affect rainfall in the Amazon jungle ?*
Student :	*The water in the current is warm*
[. . .]	
WHY :	*Do you think that any place with mountains has heavy rainfall ?*
Student :	*Yes*

WHY :	*Southern California has mountains. Why doesn't Southern California have heavy rainfall ?*
[. . .]	

Dans cet extrait (pris dans [Wenger 1987]), on observe que WHY ne se contente pas d'une réponse correcte d'un élève. Il demande la cause du fait affirmé par l'étudiant (d'où sans doute le nom du système). Lorsque la cause lui paraît insuffisante, WHY essaie de raisonner par l'absurde et laisse ainsi entendre que des contre-exemples existent. C'est ce que les auteurs appellent la stratégie de piège (*entrapment strategy*).

A. Collins [1976] analyse la méthode socratique comme composée de plusieurs stratégies qu'il essaie de reproduire dans WHY :

[1] Ask about a known case	*[10] Pose a misleading question*	*[18] Question a prediction made without enough information*
[2] Ask for any factors	*[11] Specify how the variable depends on a given factor*	*[19] Point irrelevant factors*
[3] Ask for intermediate factors	*[12] Probe for a necessary factor*	*[20] Point out an inconsistent prediction*
[4] Ask for prior factors	*[13] Probe for a sufficient factor*	*[21] Ask for consideration of a possible value*
[5] Form a general rule for an insufficient factor	*[14] Probe for differences between two cases*	*[22] Test for consistency with a given hypothesis*
[6] Pick a counterexample for an insufficient factor	*[15] Request a test of the hypothesis about a factor*	*[23] Ask for consideration of relevant factors*
[7] Form a general rule for an unnecessary factor	*[16] Ask for a prediction about an unknown case*	*[24] Trace the consequences of a general rule*
[8] Pick a counterexample for an unnecessary factor	*[17] Ask what are the relevant factors to consider*	
[9] Pick a case with an extreme value		

Notre propre démarche, avec SAVANT3, se retrouve proche de cette stratégie particulière, dite stratégie de piège, qu'elle systématise. Les 24 stratégies analysées par Collins nous semblent participer de cette stratégie de piège (str. [6], [8], [20]), ou en être une conséquence.

Dans SAVANT3 comme dans SCHOLAR et WHY, l'objectif est d'enseigner des connaissances conceptuelles, et le moyen employé est le dialogue. En fait, nos présupposés théoriques rejoignent en partie ceux de ces auteurs lorsqu'ils analysent les erreurs commises par les étudiants dans ce genre de dialogue comme étant dues à des conceptions erronées (*misconceptions*) :

> "Our analyses of dialogues show that tutors spend a good part of their time diagnosing conceptual bugs from errors manifested in the dialogue." [Stevens et al. 1979]

Le paradigme du dialogue socratique repose ainsi sur le fait que ces conceptions erronées peuvent se manifester dans le dialogue, et que le dialogue permet de les corriger :

> "When the student makes an error, the [human] tutor will sometimes correct it immediately, but in many cases will ask other questions until the misconception underlying the error is isolated." [Stevens et al. 1979]

Comme eux, nous estimons que le dialogue socratique, parce qu'il est argumenté, est le moyen par excellence grâce auquel de telles conceptions erronées peuvent être mises en évidence et corrigées. Nous avons cherché à systématiser ce point de vue dans notre approche. Simplement, notre système SAVANT3 va effectuer le calcul de ses arguments, et des stratégies comme celles qui sont listées par Collins émergeront de ce calcul, au lieu d'être imposées en tant que telles au système.

Afin de mieux situer cette préoccupation argumentative pour l'enseignement des concepts, nous allons l'opposer à des approches qui visent, elles, à enseigner des savoir-faire "purs".

6. Des systèmes qui enseignent des savoir-faire procéduraux simples

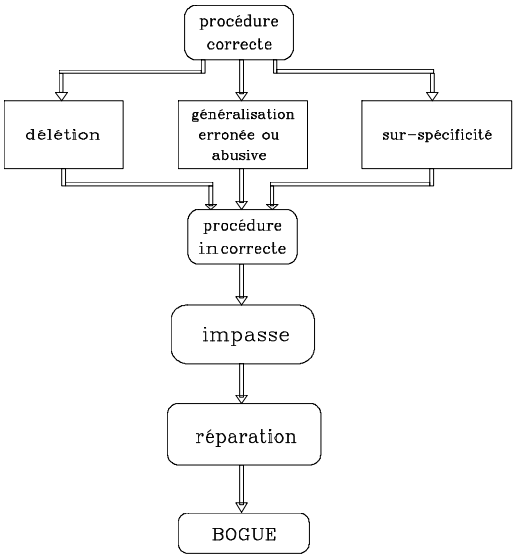
John S. Brown, Richard Burton et Kurt VanLehn ont étudié de manière minutieuse les erreurs d'enfants en train d'acquérir des savoir-faire scolaires comme les opérations arithmétiques. Ils concluent à l'existence de bogues procédurales : leurs observations tendent à montrer que les erreurs ne sont pas dues simplement à du bruit où à de des problèmes de "charge" cognitive, mais correspondent à l'application correcte de procédures erronées. Voyons cela sur un exemple :

$$\begin{array}{rcc} & {\scriptstyle 1} & \\ & 2 & 7 \\ + & 1 & 4 \\ \hline & 4 & 1 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{rccc} & {\scriptstyle 1} & & \\ & 1 & 2 & 7 \\ + & 2 & 1 & 4 \\ \hline & 4 & 3 & 1 \end{array}$$

L'addition de droite montre que l'enfant porte "correctement" la retenue en haut de la colonne la plus à gauche. Malheureusement, cette procédure qui était juste pour les additions à deux chiffres se révèle erronée dans le cas général.

Le problème qui se pose est d'expliquer pourquoi certaines erreurs sont observées, et pas d'autres, et de rendre compte de leur genèse. En fait, dans la théorie développée par K. VanLehn [1990], les bogues (erreurs plus ou moins systématiques) ne sont pas la conséquence directe des procédures erronées. Dans l'exemple ci-dessus, l'élève qui pendant plusieurs mois n'a fait que des additions à deux chiffres a acquis une procédure sur-spécifique. Il porte la retenue dans la colonne qui est à la fois adjacente et la plus à gauche. Lorsqu'il passe à l'addition à trois chiffres, sa procédure est bloquée et il rencontre ce que VanLehn appelle une *impasse*. L'enfant devient alors inventif. Il peut choisir comme ici de relâcher une contrainte de sa procédure.

C'est à ce moment-là que l'enfant crée ce qui peut devenir une bogue, si l'action incorrecte est répétée et mémorisée. En effet, afin de poursuivre son exercice, il cherche à appliquer une procédure, celle qu'il voulait appliquer et dont il affaiblit les prérequis, ou une autre procédure indépendante. C'est ce que VanLehn appelle une *réparation*. Ce phénomène explique la genèse des bogues. De manière assez surprenante, il semble que le processus qui crée la bogue soit largement indépendant de la cause de l'impasse !



Derek Sleeman [1982] a lui aussi étudié la genèse des erreurs procédurales, notamment dans le cas de l'apprentissage de l'algèbre élémentaire. Ses conclusions sont assez proches, dans la mesure où il caractérise le comportement erroné des élèves par l'application correcte non pas d'une bogue répertoriée, mais d'une règle d'action déviante (*mal-rule*) insérée dans un système de règles censé représenter la connaissance procédurale que l'élève doit acquérir.

D. Sleeman s'est demandé quel était le type de correction approprié pour permettre aux élèves de corriger leur procédures. Le réflexe d'un enseignant est généralement d'expliciter les *raisons* qui font que la procédure appliquée par l'élève est erronée. A l'issue d'une expérience étonnante [Sleeman 1989] au cours de laquelle la correction pouvait comporter des éléments d'explication (*reteaching*) en plus de la correction procédurale ("voici comment il faut faire"), il montre que l'explication n'a aucun effet sur les progrès des élèves ! Par exemple, à un enfant qui change un terme de membre sans en changer de signe, il vaut apparemment mieux se

contenter de montrer qu'il faut changer le signe plutôt que de perdre son temps à donner la sémantique de l'opération. Il en est de même pour l'enfant qui remplace *3x+5* par *8x* !

Un tel constat aurait de quoi décourager la plupart des pédagogues. D. Sleeman s'est avoué lui-même fort surpris du résultat de l'expérience, et l'attribue, selon nous avec raison, au fait que ces procédures sont enseignées pour elles-mêmes, avec peu de références au modèle conceptuel qui leur donne leur signification. Les enfants apprennent la procédure, et la procédure seulement. Un peu comme dans une situation où l'on enseigne l'algorithme de la division, alors qu'on est incapable de justifier (sans quelque réflexion) le détail des actions accomplies (pourquoi suis-je en train de soustraire, pourquoi abaisser le chiffre suivant ?).

Il semblerait d'après ces travaux que la correction des bogues et des procédures erronées puisse être obtenue par un feed-back assez limité. Ceci n'est toutefois possible que dans le cas de procédures simples, qui doivent devenir des automatismes. Dans le cas de l'apprentissage des procédures exigeant des aspects stratégiques, il ne s'agit plus de corriger les erreurs, mais au contraire de faciliter l'acquisition d'une expérience par la présentation de cas appropriés. De nombreux systèmes reposent sur cet objectif. On peut citer par exemple le système APLUSIX [Nicaud et al. 1991] qui donne à l'élève des suggestions appropriées pour factoriser des polynômes.

Nous constatons ainsi que certains apprentissages peuvent se passer de l'acquisition de tout concept. Ce sont les apprentissages d'automatismes comme ceux qui nous permettent de résoudre une équation du premier degré. L'acquisition de stratégies, en revanche, commence à impliquer quelques concepts (par ex. les identités remarquables dans la factorisation des polynômes, ou le changement de variable dans le calcul intégral). Certaines procédures complexes sont, elles, indissolublement liées à des concepts, et leur acquisition passe nécessairement par une *compréhension* de ces concepts. C'est le point que nous abordons maintenant.

7. Des systèmes qui enseignent des savoir-faire procéduraux complexes

Comme l'a montré J-F. Richard [Poitrenaud, Richard et al. 1990], certaines procédures complexes ne peuvent être appliquées que lorsque l'on connaît conceptuellement les objets sur lesquelles elles opèrent. Il n'est pas évident, pour un débutant qui apprend à se servir d'un traitement de textes, qu'une image ou un saut de paragraphe puissent, pour certaines procédures comme la sélection, être considérés comme des caractères[8]. L'utilisation d'un traitement de texte comme celui qui a servi à l'édition de ce document[9] suppose connus de nombreux concepts (style, section, séquence nommée, champs, signets, fusion, etc.). La non compréhension de ces concepts interdit l'accès à de nombreuses actions, même par imitation (comme le suggère E. Visalberghi [1989]).

De nombreux systèmes visent à l'enseignement de procédures complexes, et il sont donc amenés par la force des choses à présenter certains concepts sur lesquels opèrent les procédures, et même parfois à présenter un modèle conceptuel des procédures enseignées.

L'apprentissage de la programmation nous offre un exemple d'imbrication entre procédures et concepts. Dans PROUST [Johnson & Soloway 1987], le système évoque bien sûr les concepts de la programmation en langage Pascal (boucle *while*, affectation, etc.), mais il introduit aussi des concepts comme le "test sentinelle", qui ne fait pas partie du langage, mais dont l'objectif est de protéger l'entrée dans la boucle. Nowé et Jonkers [1991] disent utiliser des "concepts abstraits de programmation" pour formuler des diagnostics de haut niveau (en Lisp ou Pascal). Dans LISP-TUTOR [Anderson et al. 1989] les diagnostics utilisent des concepts comme

---

[8] J-F Richard cite le cas, fréquent chez les personnes habituées à la machine à écrire, d'une procédure compliquée pour supprimer un espace inséré par erreur au milieu d'un mot. Ces sujets vont par exemple sélectionner la première moitié du mot, puis réaliser un copier-coller pour l'amener de l'autre côté de l'espace parasite ! Ce n'est que plus tard qu'ils avouent découvrir qu'un espace est un caractère comme les autres, qu'il peut être détruit par une action sur la touche [Del]. L'espace était pour eux un vide, et il ne pensaient pas à détruire quelque chose de vide.

[9] Le traitement de texte employé est Microsoft-Word.

"variable de comptage", "communication d'une valeur d'initialisation à une fonction". INTELLIGENT-PROLOG-TUTOR [Lee 1990] signale à l'apprenant des erreurs comme des définitions circulaires. LISP-CRITIC [Fischer et al. 1991] est capable de suggérer des transformations d'un programme Lisp en donnant des explications relatives à l'efficacité ou à la lisibilité.

Dans tous ces systèmes qui ont pour objectif d'aider l'étudiant à acquérir un savoir-faire en programmation, on constate que les diagnostics sont généralement conceptuels puisqu'ils font intervenir des notions de programmation (par ex. PATAT [Nowé & Jonkers 1991] peut écrire : *"variable* result *must be initialised to 0 because* result *is the running total variable and the unity element for the sum operator is 0"*, par opposition à un diagnostic non conceptuel qui pourrait être : "*cette clause est erronée, voici la forme correcte*"). Autrement dit l'effet pédagogique de tels diagnostics nécessite un examen par l'étudiant de ses propres connaissances.

Nous décrirons (chap. III.4) notre propre tentative pour développer un système capable d'aider à l'acquisition de savoir-faire complexes par un diagnostic conceptuel.

8. Conclusion

Nous avons tenu ici à insister sur la différence, essentielle de notre point de vue, entre les apprentissages conceptuels et les apprentissages procéduraux. Les exemples de systèmes que nous avons cités indiquent, comme nous le suggérons par ailleurs, que l'argumentation est un moyen privilégié pour la transmission des concepts. Elle joue notamment un rôle essentiel pour l'élimination des fautes conceptuelles (*misconceptions*). C'est ce principe que nous avons exploité dans notre système SAVANT3 (voir chapitre III.2).

L'argumentation peut, si l'on en croit certaines études, n'être d'aucune utilité dans certains contextes où les apprenants doivent acquérir des automatismes. En revanche, lors de l'acquisition de procédures complexes, une compréhension des concepts du domaine est essentielle pour acquérir une expertise. Là encore l'argumentation, qui se présente alors comme une critique des actions entreprises par l'apprenant, peut jouer un rôle essentiel.

Il y a donc place pour des systèmes que l'on présentera plus volontiers comme des critiques que comme des tuteurs. Dans le cas d'apprentissages conceptuels, il s'agit de repérer les conceptions erronées par leurs conséquences incohérentes. Dans le cas des savoir-faire complexes, c'est un peu la même chose, à part que l'incohérence doit être repérée au niveau des actions de l'apprenant sur son environnement, et pas seulement au niveau de ses déclarations. SAVANT3 s'inscrit résolument dans cette optique qui consiste à utiliser la critique argumentée pour faire passer et pour corriger des connaissances conceptuelles.