Commission Inter-Irem maths et informatique
Lyon, 27-28 janvier 1995

Hypertextes, hypermédias en mathématique: réflexion en liaison avec les théories de l'apprentissage[1]

Préambule

Pour analyser les hypermédias (au sens français du terme, les anglo-saxons utilisant souvent le seul terme d'hypertexte), on peut utiliser la formule, usant du symbolisme de l'analyse multivariée:

hypermédia = multimédia + hypertexte + multimédia x hypertexte

On trouve dans la littérature psycho-pédagogique des éléments qui permettent de situer les deux premiers termes du point de vue théorie de l'apprentissage. Il reste à déterminer les spécificités du dernier et là, il semble encore y avoir peu de travaux spécifiques réalisés. Cette présentation donnera quelques pistes bibliographiques concernant le problème des multimédias et proposera une façon d'envisager les hypertextes. Le dernier terme cherche encore preneur!

En annexe on trouvera quelques caractéristiques d'un système dont le développement sert de base de réflexion à ce propos.

Des théories scientifiques à disposition (éléments bibliographiques)

Science cognitive

Anderson, J.R. (1983) *The Architecture of Cognition*. Cambridge: Harvard University Press.

Grand classique de la nouvelle "science cognitive". Toute une théorie de la cognition est développée sur la base d'une architecture de la mémoire dont l'auteur distingue trois types: mémoire à court terme, mémoire de travail et mémoire à long terme.

Bonnet, C., Ghiglione, R., Richard, J.-F. (1990) *Traité de psychologie cognitive*. Paris: Dunod. (3 volumes)

Cet ouvrage fournit l'état actuel des modèles et connaissances en psychologie cognitive. Le premier volume traite de la perception, le deuxième des connaissances et des processus de contrôle, le troisième de la cognition "sociale" (communication). Une présentation raccourcie de ces théories peut être trouvée dans Richard, J.F. (1990) *Les activités mentales*. Paris: Armand Colin.

Médias et apprentissage

---

[1] Résumé de la présentation de L.-O. Pochon, Institut romand de recherches et de documentation pédagogiques (IRDP), Neuchâtel, Suisse.

Greenfield, P. M. (1984) *Mind and Media. The Effects of Television, Computers and Video Games*. Fontana Paperbacks.

Greenfiel, P. M. (1988) Médias et éducation informelle. In: Bureau, R., de Saivre, D. *Apprentissages et cultures*. Les manières d'apprendre. Paris: Ed. Karthala.

Salomon, G. (1979) *Interaction of media, cognition and learning*. San Francisco: Jossey Bass.

Les travaux de Patricia Greenfield montrent, par exemple, des liens privilégiés entre certaines capacités mentales et des médias particuliers: l'image est fortement liée à la mémorisation, par exemple, alors que le son favorise l'imagination. La télévision (vidéo) ajoute l'idée de construction spatiale. Avec l'action qu'il permet, le jeu vidéo intervient dans la capacité de "découverte inductive". Dans ce cas, les règles que les joueurs appliquent ne sont souvent pas connues consciemment. Les travaux de Salomon sont du même type.

Apport des hypermédias dans l'enseignement. Compte-rendu de l'Université d'été. Besançon, septembre 1993.

de la Passardière, B., Baron, G.L. (eds) (1991) *Hypermédias et apprentissages*. Actes des premières journées scientifiques, Châtenay-Malabry, 24-25 septembre 1991. Paris: INRP.

Baron, G.L., Baudé, J., de la Passardière, B. (eds) (1993) *Hypermédias et apprentissages*. Actes des deuxièmes journées scientifiques. Lille, 24-25 mars 1993. Paris: EPI, CUEPP, INRP.

Au détour de présentations de réalisations concrètes, on trouve de nombreux renseignements concernant les usages, les modes d'apprentissage, les réactions des utilisateurs, etc.

Psychologie cognitive

Ici la littérature ne manque pas, des grands classiques aux ouvrages liés à la didactique qui abordent notamment la notion d'obstacle cognitif.

Psychologie sociale

Grossen, M. (1988) *L'intersubjectivité en situation de test*. Cousset (Fribourg): Delval.

Perret-Clermont, A.-N. Nicolet, M. (sous la direction de) (1988) *Interagir et connaître*. Cousset: Delval.

MarroClément, P., Müller N. (1994) Intersubjectivité et interaction avec l'ordinateur. *Cahiers de psychologie*, no 31, décembre 1994. Neuchâtel: séminaire de psychologie de l'Université.

La psychologie sociale ajoute à la psychologie cognitive la notion, exploitable au niveau de la didactique, d'obstacle socio-cognitif. Cela permet de rendre compte de comportements non seulement liés à l'"objet" (concret, ou plus abstrait comme un problème de mathématique), mais aussi à l'environnement, aux rapports maître-élève et aux interactions entre élèves. Un de nos projets avec Michèle Grossen est d'étudier les aspects de l'interaction humain-humain qui peuvent se transposer aux interactions homme-machine.

Approche métacognitive

Bell, N. (1985) Quelques réflexions à propos de la métacognition. *Dossiers de psychologie* no 25. Neuchâtel: séminaire de psychologie.

Apprendre peut-il s'apprendre? *Dossier de Education permanente* no 88/89.

Vermersch, P. (1994) *L'entretien d'explicitation*. Paris: Editions ESF.

La formation des adultes, qualifiés ou moins qualifiés, est un sujet nouveau qui arrive en force dans les préoccupations des systèmes éducatifs et de formation. L'ouvrage de Vermersch, en principe destiné à la conduite d'entretien présente l'avantage de faire le lien entre les théories classiques de l'apprentissage (principalement piagétiennes) et des techniques plus pragmatiques sur la gestion des interactions (PNL, etc.).

Weill, A., Rebardel, P., Dubois, D. (1993) *Représentations pour l'action*. OCTARES.

Cet ouvrage est consacré principalement aux apprentissages « techniques ». Mais les apprentissages dits « abstraits » n'ont-ils pas beaucoup à apprendre eux-mêmes de l'étude de l'apprentissage du geste? Un chapitre, dû à C. Valot (p. 271), traite des métaconnaissances dans de tels apprentissages. Celles-ci trouvent trois formes d'expression: la métacognition (dépend de la personne), les heuristiques (opérationnalisation des métaconnaissances) et les procédures (dépendent du domaine).

Ethnotechnologie

Perriault, J. (1990) *La logique de l'usage*. Paris: Flammarion, 1990.

Cyranek, G. & all (Eds) (1993) *Computer Science, Communications and Society: A Technical and Cultural Challenge*. Conference proceedings, september 22-24, 1993, Neuchâtel. Edité par la Société Suisse des informaticiens et la Société suisse de Sociologie.

Pontecorvo, C., Resnick, L., Säljö, R. (Eds) (à paraître) *Discourse, tools and reasoning and technologically supported environment*. Proceedings of the NATO Advanced Workshop Lucca (Italy), November 2-7, 1993.

Les recherches dans ce domaine sont importantes dans la mesure où la technologie est confrontée aux contextes d'utilisation et aux usages réelles. Le discours technologique (abordant matériel et logiciel) ne suffit pas pour juger des qualités des systèmes et des modèles de l'apprentissage sur lesquels ils se basent.

Apprentissages informels des mathématiques

Drouhard, J.-P., Paquelier, Y. Recherche d'une démarche d'enseignement en mathématiques avec des adultes. *Education permanente no 90* (Elément du dossier: la formation scientifique des adultes).

Cockcroft, W. H. (1982) *Mathematics counts*. Report of the Committee of Inquiry into Teaching of Mathematics in School under the Chairmanship of Dr W. H. Cockroft. London: Her Majesty's Stationery Office.

Ce rapport déjà ancien est certainement toujours d'actualité. Il montre le décalage entre les savoirs des élèves sortant de l'école et ceux requis par le monde du travail. Par ailleurs, les méthodes utilisées sur la place de travail ne font pas nécessairement appel aux procédures apprises. Il peut être utile de se référer à certaines de ces représentations et techniques courantes lorsque, avec l'ordinateur, on tente de personnaliser les parcours d'apprentissage.

Revues

De nombreuses revues sont consacrées, entièrement ou en partie, au thème.

Sciences et techniques éducatives. Hermès.

International Journal of Educational Reasearch. Pergamon Press. En particulier le numéro 1, vol 21, 1994 est consacré au "Computer-based Integrated Learning Systems: Reasearch and Theory".

Human-Computer Interaction. L. Erlbaum Associates, Pub.

Computers in Human Behavior. Pergamon Press.

Computer & Education. Pergamon Press.

European Journal of Psychology of Education. En particulier no 4, volume VII, décembre 1992: Interactional Learning Situations with Computers.

AI Communications: The European Journal on Artificial Intelligence. IOS Press. Plusieurs articles sont dédiés aux « intelligent tutoring systems » (ITS). De même des avis de diverses personnalités concernant les problèmes de l'ordinateur dans l'éducation sont régulièrement publiés.

Revue de l'EPI. Une série d'articles concernant les hypertextes ont paru dans cette revue. Notamment celui de J.-F. Rouet: Naviguer sans se perdre: Lecture et acquisition de connaissances à l'aide des hypertextes (EPI, no 73).

Approche métacognitive

Apprendre, c'est développer des fonctions cognitives générales (construction, régulation, contrôle, etc.) par intériorisation d'opérations concrètes de guidage, transfert, etc. L'espace métacognitif est celui où une prise de conscience s'effectue par des processus à la fois auto-régulateur (psychologie personnelle) et hétéro-régulateur (psychologie sociale). Le mérite de cette approche relativement récente est de se centrer non pas sur les structures cognitives permanentes, mais bien sur le moteur de la transformation de ces structures. Un certain flou règne toutefois quant à la définition de ce champs. Il y a deux acceptations clairement indentifiées de la métacognition:

- connaissance qu'un sujet a de son propre fonctionnement cognitif et de celui d'autrui (Flavell, 1976)

- mécanismes de régulation ou de contrôle du fonctionnement cognitif

On voit donc que l'une des acceptations concerne plutôt la dimension conscientisation de l'activité cognitive alors que l'autre concerne les mécanismes eux-mêmes. On pourrait dire que

les théories de l'apprentissage qui utilisent une approche méta-cognitive (déjà en germe dans les objectifs du type "apprendre à apprendre") se servent de l'une pour développer l'autre. Elle demande au sujet de prendre conscience de la façon dont un problème a été résolu. Cette prise de conscience devrait faciliter l'abord de nouveaux problèmes (voir aussi Polya). Mais il peut y avoir plus, comme, par exemple, la prise de conscience de ce qui a permis de prendre conscience des difficultés et de la méthode utilisée. Mais, dans ce domaine, on se trouve souvent face à des théories contradictoires. Pour certains théoriciens, l'accès à cette conscience ne serait pas toujours possible. Les souvenirs évoqués seraient toujours des reconstructions. D'autres, dont Vermersch, sont plutôt d'un avis contraire.

Pour conclure

Même si l'approche est quelque peu caricaturale, on pourrait examiner l'hypertexte en mettant en relation le contenu informationnel avec les structures cognitives permanentes (SCP) et le choix d'un parcours avec les structures de contrôle (SC).

Selon le premier aspect, un hypertexte offre une représentation "spatiale" abstraite d'un domaine de connaissance complexe. Il reste à examiner comment, chez les utilisateurs, une certaine représentation globale des connaissances parcourues localement émerge peu à peu. Comment à partir de l'acquisition d'une "route map", une "survey map" se crée petit à petit? Des recherches ont montré que ce passage est effectif.

Selon le deuxième aspect, les hypertextes offrent la possibilité de moduler la partie du contrôle assurée par la machine (externe à l'apprenant) et la part dévolue à l'utilisateur, qui devrait être le plus large possible, tout en profitant des béquilles offertes par la machine. Pour cela, on peut limiter les processus de contrôle externe ou au contraire procéder à toute sorte d'ettayages (scaffolding): indication des "entrées", chemins balisés, chemins personnalisés.

Reste le problème méthodologique que pose l'utilisation différée, par l'apprenant avec ou sans son formateur, des traces enregistrées par l'ordinateur et qui pourrait lui permettre de prendre conscience de ses stratégies (de recherche, de résolution, ...). Les principes d'élaboration de compte-rendus utilisables ne pourront s'établir que parallèlement à une utilisation intensive de ces outils et à une observation attentive des acteurs en présence.

Annexe 1:

Prof'Expert: Un projet fédérateur

Les préoccupations qui ont présidé à l'élaboration du projet sont multiples. Tout d'abord, très pragmatiquement, il y avait une demande de mise au point d'outils de remédiation individualisée et cette demande a permis de concrétiser diverses préoccupations éparses. Entre autres: juger de la portée de l'EAO, constituer une mémoire de résultats didactiques, utiliser des connaissances sur la cognition, opérationnaliser, valider, mettre à l'épreuve des hypothèses et des modèles (didactiques, psychologiques ou liés aux interactions humain-machine).

Le système a deux aspects en partie dissociés. D'une part, un hypertexte présente la « théorie » et, d'autre part , des modules d'EAO permettent de l'exercer. Rien de bien nouveau! On peut faire la remarque que de faire de l'hypertexte un intégrateur de modules d'exercisation dénature ce premier (remarque de E. Bruillard). On verra toutefois, que malgré les contraintes diverses une partie de l'esprit d'ouverture a pu être préservé.

Architecture du système

Les unités d'information (UI, noeuds de l'hypertexte) peuvent être des éléments de théorie, des exercices (c'est-à-dire le support d'un titre et des caractéristiques d'un exercice), une question (c'est-à-dire le support d'une demande de réalisation de tâche) et des données diverses qui peuvent constituer des énoncés, des réponses, etc. D'autres noeuds sont auxiliaires. Ils servent de support à des « règles » ou d'autres outils utilisés par le système. Les contenus de ces UI peuvent être fixes ou élaborés de façon plus ou moins automatique. Les liens sont de divers types, ils sont en général passifs et fixes pour les éléments de théorie, passifs et calculés pour les questions (en fonction de l'exercice, du niveau de l'élève). D'autres sont actifs par exemple pour l'activation du lexique ou de la présentation de règles de calcul. (la terminologie est reprise de Balpe, J.-P. (1990) *Hyperdocuments, hypertextes, hypermedias*. Paris: Eyrolles)

Le développement se réalise selon la (non-)méthodologie "Think it, write it". A partir d'une ossature assez forte, le système est constamment alimenté et évolue en fonction des demandes des utilisateurs[2]. Les interactions (ce mot désigne la façon dont les énoncés sont présentés, la manière de répondre, etc.) sont tout d'abord réalisées sous la forme de scriptes assez détaillés. En cas de succès, la création d'exercices du même type peut être plus ou moins automatisée.

En quelques chiffres: il y a environ 50000 noeuds pour l'ensemble des « hyperbases » développées. 5000 sont des éléments de théorie, 1000 des noeuds utilitaires et le reste des exercices, questions, énoncés et réponses.

[2] C'est aussi un but de l'expérience que d'étudier ce que l'on pourrait appeler la convergence d'un système. Actuellement les modifications sont apportées de façon différée (environ deux fois par mois). Selon les observations réalisées le rythme des modifications pourrait s'accélérer.

Fonctionnement à partir de quelques « écrans »

La figure 1 ci-dessous, montre l'entrée dans le système. La navigation se fait avec la souris, le bouton de droite correspond à l'activation d'un élément de théorie, celui de gauche à un exercice (voir figures 2 et 3).

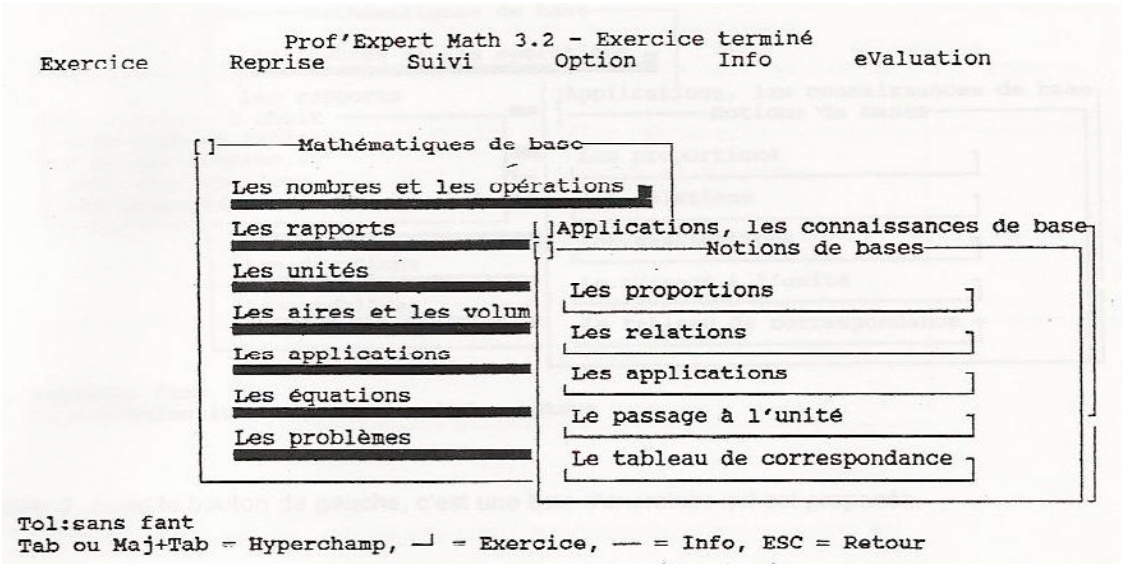

Figure 1: Après l'activation de "Applications" puis de "Notions de base". Un nouveau choix s'offre à l'utilisateur.

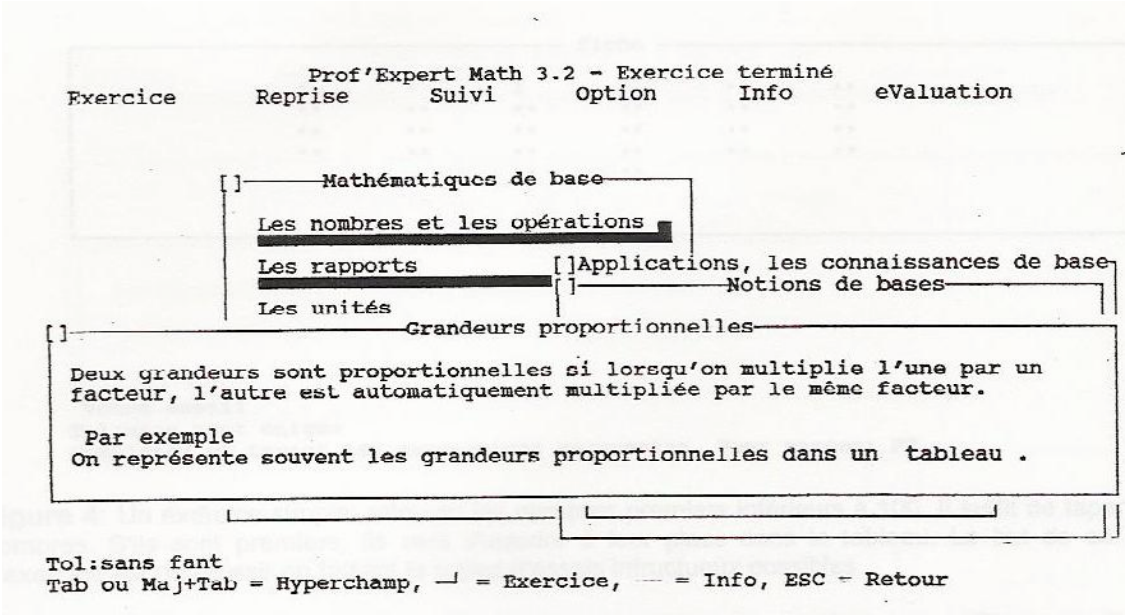

Figure 2: En cliquant sur "Les proportions" avec le bouton de droite, un élément théorique apparaît.

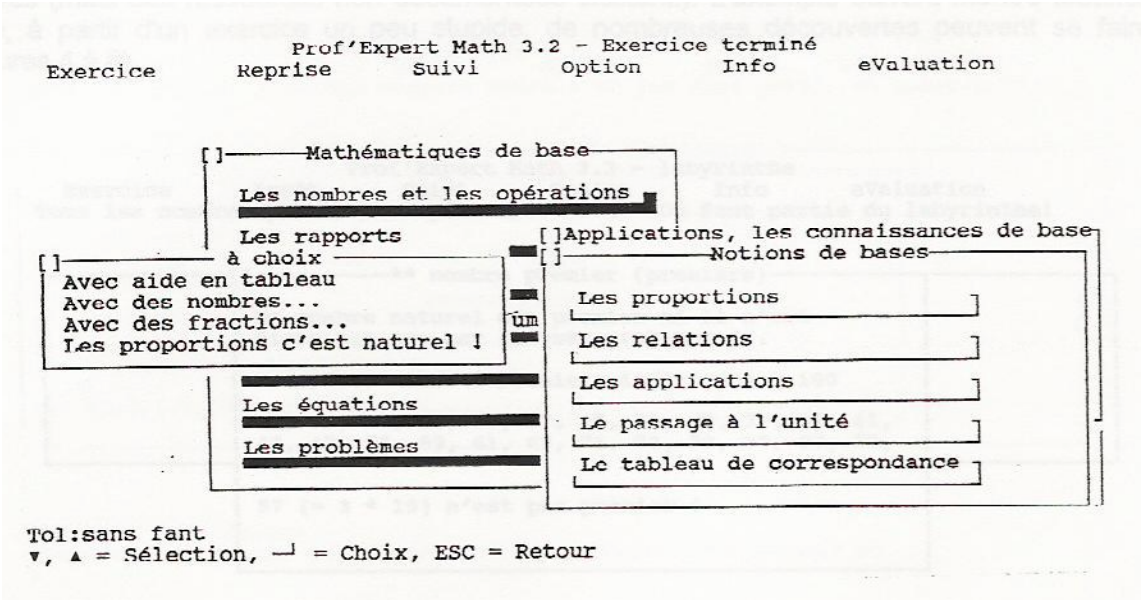

Figure 3: Avec le bouton de gauche, c'est une liste d'exercices qui est proposée.

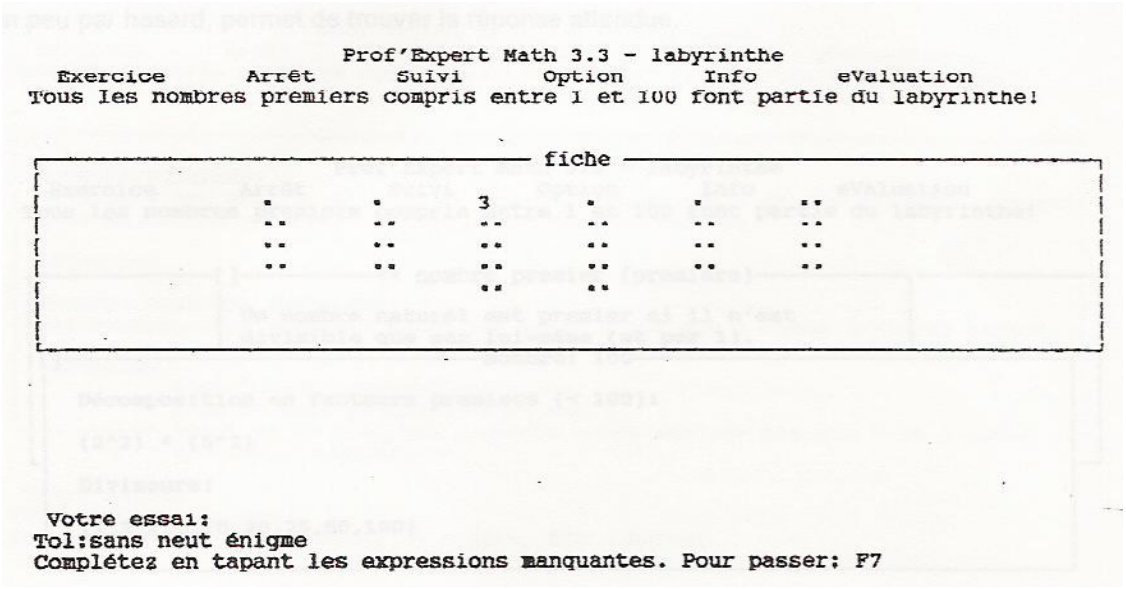

Figure 4: Un exercice simple: retouver les nombres premiers inférieurs à 100. Il suffit de taper des nombres. S'ils sont premiers, ils vont s'inscrire à leur place dans le tableau. Le but de ce type d'exercice est de réussir en faisant le moins d'essais infructueux possibles.

Environ 5% des UI de théorie ont été structurées sous la forme de menus. Elles constituent l'ossature principale de l'hypertexte. Les exercices ont été concentrés autour de cette ossature. Cette organisation, qui diminue l'aspect hypertexte, répond à la demande des maîtres. Elle leur permet de mieux maîtriser l'ensemble de la matière et, partant, de diriger plus facilement les

élèves (mais des ressources non documentées existent!). L'exemple suivant montre toutefois que, à partir d'un exercice un peu stupide, de nombreuses découvertes peuvent se faire. (figures 4 à 8).

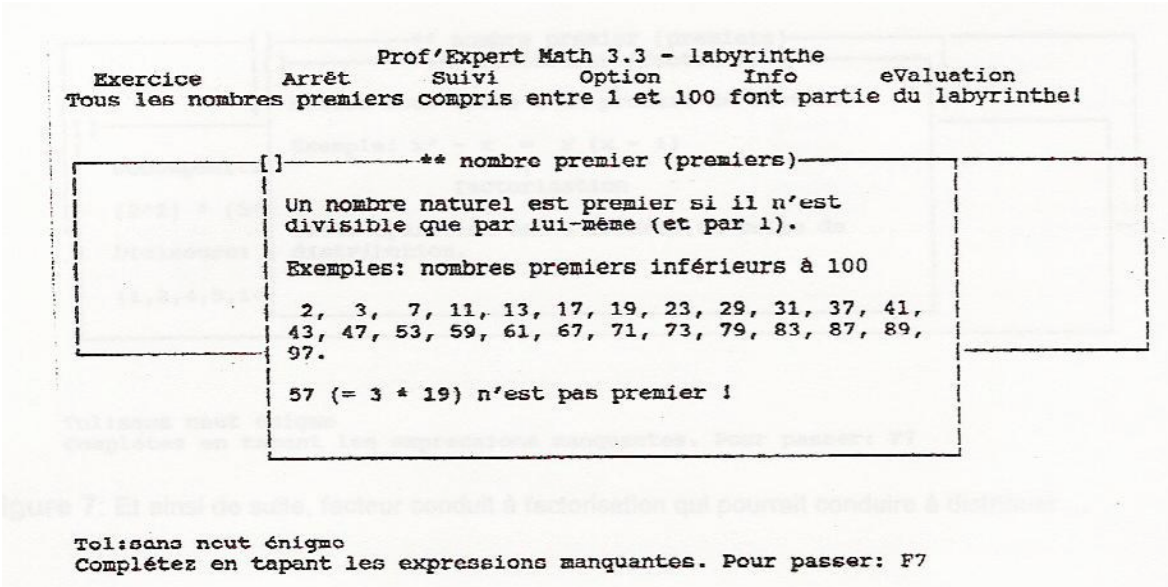

Figure 5: En activant le mot 'premier' dans le titre de l'exercice, on est conduit dans le lexique, qui ici, un peu par hasard, permet de trouver la réponse attendue.

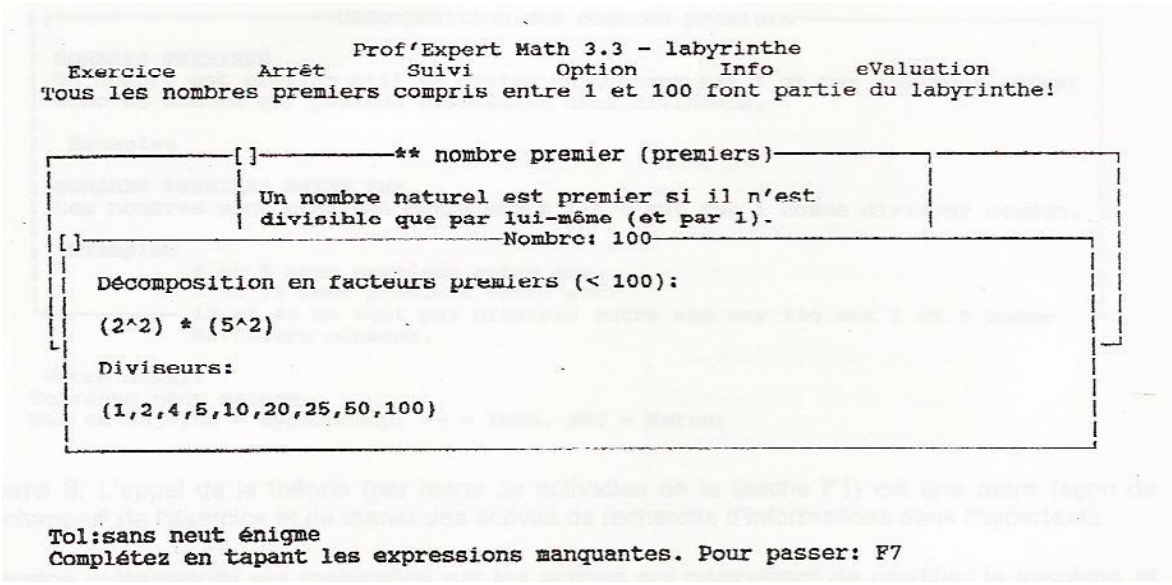

Figure 6: Diverses informations peuvent être obtenues. En cliquant sur 100, on obtient sa décomposition en facteurs premiers. A noter que cette possiblité (de même que d'autres) n'est que peu documentée, pour laisser à chacun des découvertes imprévues.

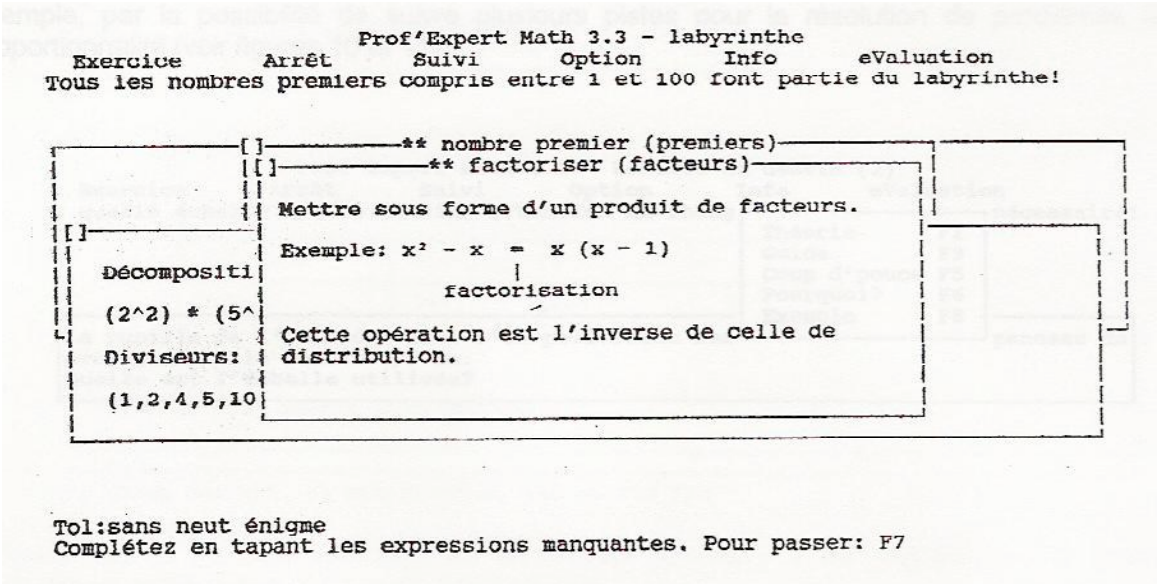

Figure 7: Et ainsi de suite, facteur conduit à factorisation qui pourrait conduire à distribuer ...

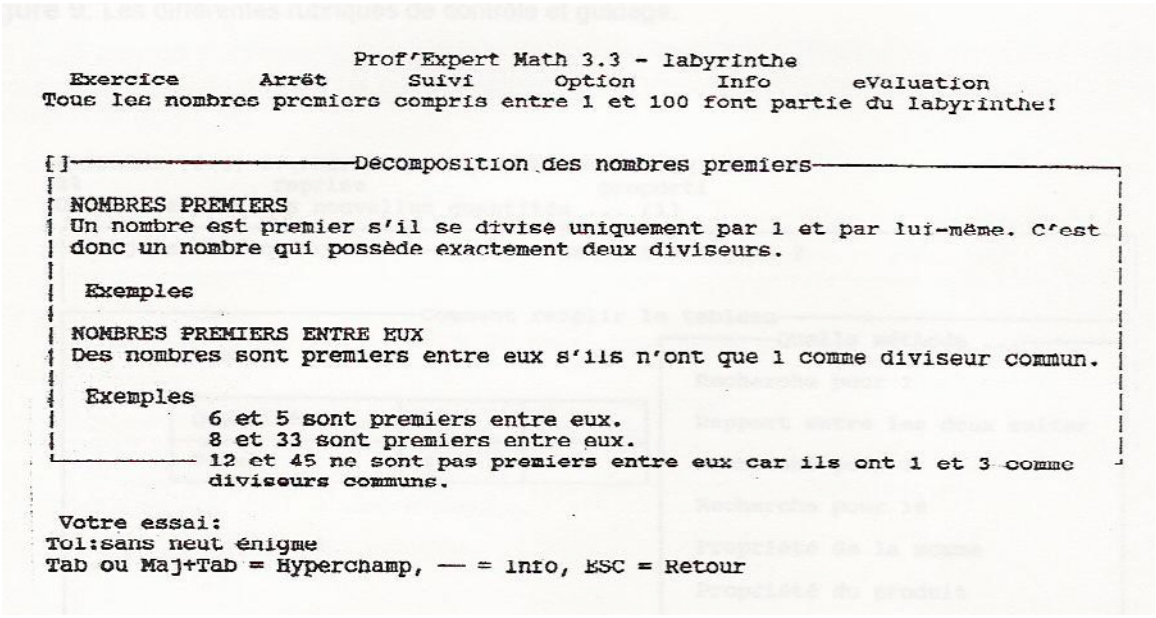

Figure 8: L'appel de la théorie (par menu ou activation de la touche F1) est une autre façon de "s'échapper" de l'exercice et de mener une activité de recherche d'informations dans l'hypertexte.

L'espace métacognitif est matérialisé par les actions qui permettent de modifier le système et d'avoir un regard en retour. Tout d'abord une information est donnée sous la forme des résultats obtenus, ventilés par objectifs. Parfois ces résultats sont suffisamment détaillés (temps, précision) pour donner quelques indications sur les procédures utilisées.

La rubrique Info (figure 9), en particulier, offre sous "théorie" et "guide" ce qui correspond au contrôle et au guidage. Une réflexion sur les procédures utilisées peut être provoquée, par exemple, par la possibilité de suivre plusieurs pistes pour la résolution de problèmes de proportionnalité (voir figures 10 et 11).

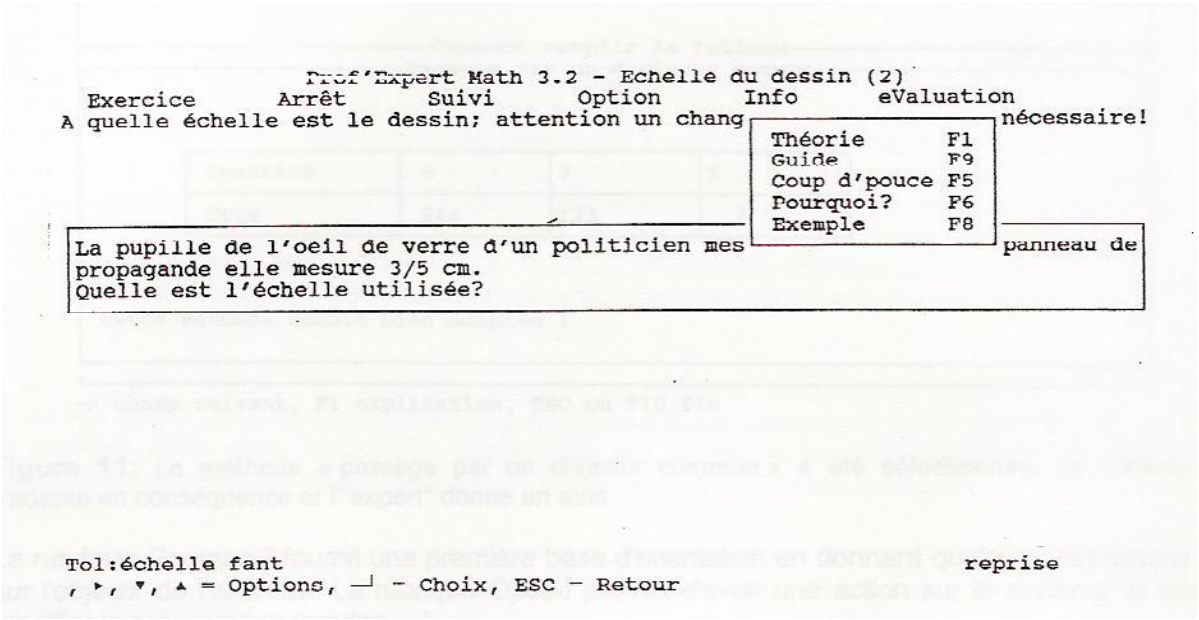

Figure 9: Les différentes rubriques de contrôle et guidage.

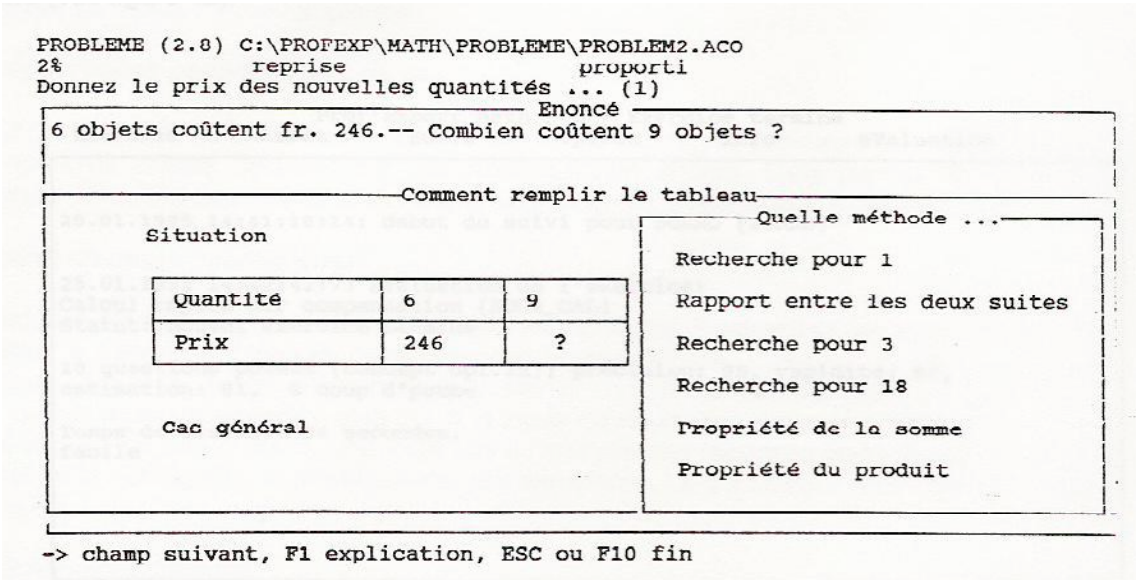

Figure 10: L'aide propose les données sous une forme choisie de référence pour une famille de problèmes. On a déjà cliqué, ici, sur un champs "méthodes" et une unité d'information est apparue qui propose diverses méthodes conduisant à la solution.

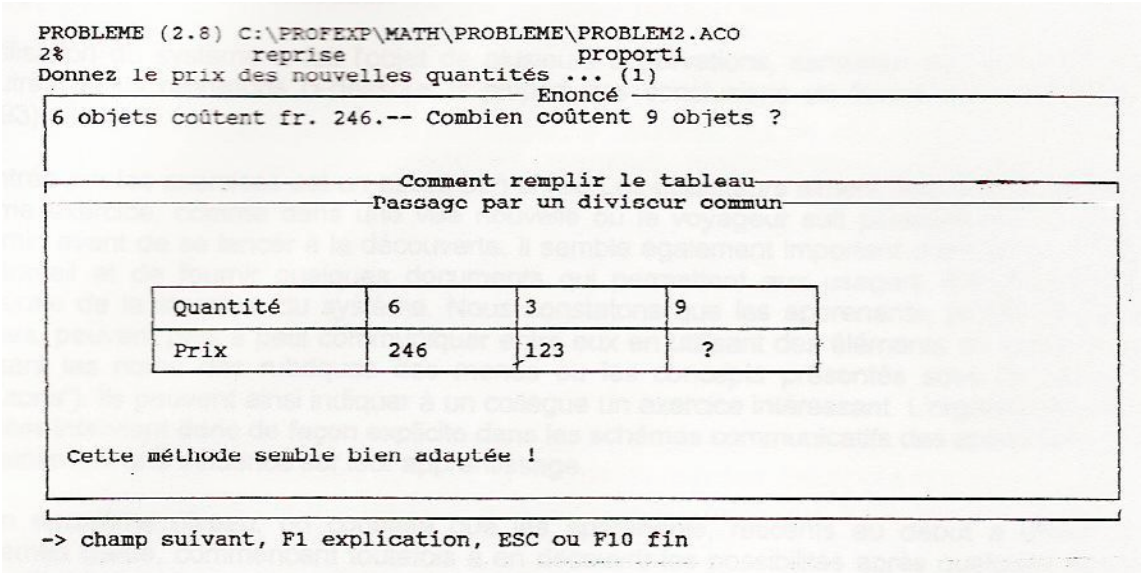

Figure 11: La méthode « passage par un diviseur commun » a été sélectionnée. Le tableau s'adapte en conséquence et l'"expert" donne un avis.

La rubrique *Pourquoi?* fournit une première base d'orientation en donnant quelques indications sur l'objectif de l'exercice. La rubrique *Option* permet d'avoir une action sur le système et de modifier la présentation (reprise, ...).

Le *Suivi* permet d'enregistrer une grande partie des opérations effectuées. De même, un bref résumé des résultats obtenus est enregistré. Cela permet d'effectuer les analyses en temps différé (voir figure 12).

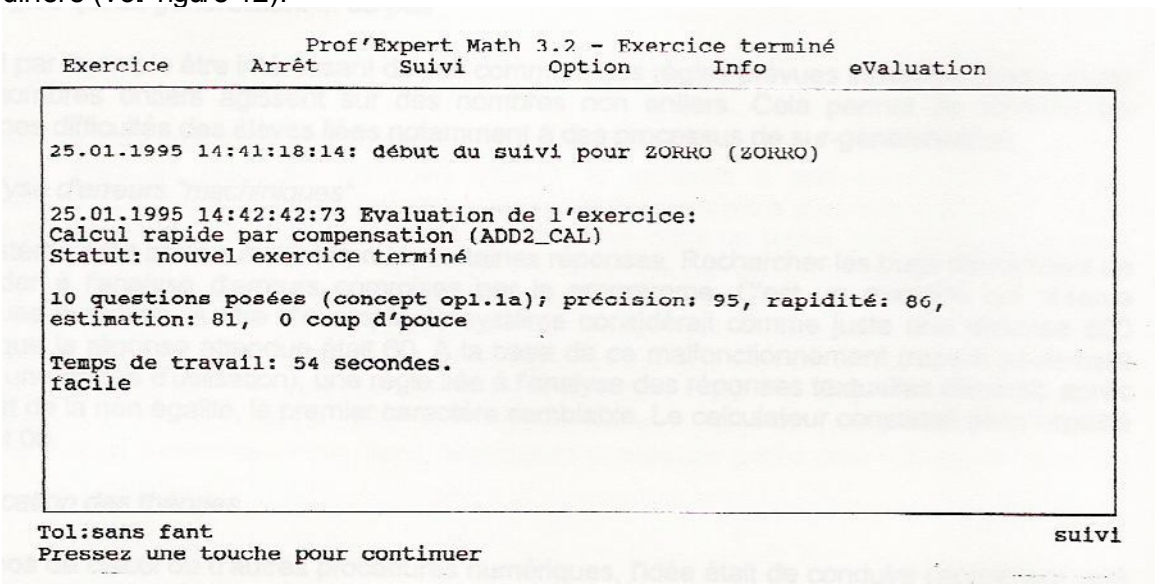

Figure 12: L'examen du suivi, montre les exercices réalisés accompagnés d'une évaluation, le temps de travail et un commentaire à charge de l'utilisateur. Il est possible d'avoir une version longue de ce suivi où toutes les opérations effectuées sont notées.

Analyse au niveau de l'utilisation

L'utilisation du système a fait l'objet de plusieurs observations, certaines plus formelles que d'autres. Nous reprenons ci-dessous la plupart des conclusions du travail de E. Bourquard (1993).

L'entrée par les exercices est un assez bon choix. Les utilisateurs aiment retrouver et refaire le même exercice, comme dans une ville nouvelle où le voyageur suit plusieurs fois le même chemin avant de se lancer à la découverte. Il semble également important d'organiser un plan de travail et de fournir quelques documents qui permettent aux usagers d'avoir une idée générale de la structure du système. Nous constatons que les apprenants, jeunes et moins jeunes, peuvent petit à petit communiquer entre eux en utilisant des éléments du système (en utilisant les noms des rubriques des menus ou les concepts présentés sous la forme de "boutons"). Ils peuvent ainsi indiquer à un collègue un exercice intéressant. L'organisation de la matière intervient donc de façon explicite dans les schémas communicatifs des apprenants et a certainement une influence sur leur apprentissage.

A un deuxième niveau, on constate que les apprenants, réticents au début à utiliser les systèmes d'aide, commencent toutefois à en découvrir les possibilités après quelques heures de pratique. Mais dans l'ensemble, l'aide pose des questions supplémentaires et un travail d'ajustement du langage utilisé reste à faire. Les élèves préfèrent les exemples, ou le travail par tentatives.

Aspects didactiques

Il est intéressant de voir le regard que la construction de systèmes d'enseignement permet d'avoir sur la didactique. Voici quelques anecdotes à ce propos. Les premières concernent l'analyse d'erreurs. D'autres peuvent être considérés comme des contrariétés didactiques. Les dernières sont plus méthodologiques.

Les règles qui se généralisent ... ou pas

Il peut par exemple être intéressant de voir comment des règles prévues initialement pour traiter des nombres entiers agissent sur des nombres non entiers. Cela permet de réfléchir sur certaines difficultés des élèves liées notamment à des processus de sur-généralisation.

L'analyse d'erreurs "machiniques"

Le système peut parfois mal interpréter certaines réponses. Rechercher les bugs demandent de procéder à l'analyse d'erreurs commises par le programme. C'est un exercice qui réserve quelques surprises. A titre d'exemple, le système considérait comme juste une réponse 600 alors que la réponse attendue était 60. A la base de ce malfonctionnement (repéré seulement après une année d'utilisation), une règle liée à l'analyse des réponses textuelles éliminait, après constat de la non égalité, le premier caractère semblable. Le calculateur constatait alors l'égalité de 0 et 00.

Simplication des théories

A propos de calcul ou d'autres procédures numériques, l'idée était de conduire l'apprenant vers la meilleure méthode possible. Les psycho-pédagogues nous ont rapidement convaincus qu'une telle méthode ne peut pas exister. Il y a trop de différences interindividuelles pour pouvoir prétendre dégager une procédure de calcul mental, par exemple, unique pour tous. Nous avons donc tenté de rassembler de nombreuses méthodes avec la possibilité, pour l'utilisateur de

comparer sa méthode à celles utilisées par le système. Cette opération offre une nouvelle occasion de voir à quel point l'automatisation de procédures de calcul ou de résolution constituent de véritables caricatures par rapport à l'alchimie qui se déroule dans le cerveau humain. Faut-il s'en tenir aux propriétés formelles fondamentales dégagées par les mathématiciens (associativité, etc.), comme point d'ancrage de procédures qui vont se structurer en fonction des styles cognitifs des apprenants, ou faut-il introduire des procédures qui tiennent mieux compte, tout en restant éloignée, des processus humain (commutassociativité, ...). Dans ce dernier cas, si la prise de conscience peut être meilleure, le processus de méta-communication est plus complexe.

L'intrusion des attentes « sociales »

A partir de calculs (savants, il va de soi) prenant en compte la complexité de l'opération à résoudre et des erreurs passées du sujet, le rythme de la présentation des questions (tempo) est modifié pour augmenter la « pression » et ainsi obliger l'utilisateur à trouver des méthodes de plus en plus efficaces (cette méthode est inspirée de ELMO). Il s'avère qu'après un effort fourni, les apprenants s'attendent à une récompense sous la forme d'une simplification de la tâche alors que, au contraire, le système la rend plus ardue.

L'ajustement des interventions

Proposer un message d'erreur ou une aide qui correspond exactement à ce qui est nécessaire n'est pas tâche aisée. La plupart du temps, l'aide apportée semble créer une difficulté supplémentaire à l'étudiant:: celle de comprendre l'intention du message ou de la théorie proposée par rapport à ce quil vient de réaliser. Cela montre à quel point les enseignants savent savamment exploiter divers indices et le contexte de façon à fournir un élément (on ne sait même pas toujours lequel) qui permettent à l'apprenant de reprendre pied. Existe-t-il des modèles de ces interventions ? Sont-ils aisément accessibles pour les concepteurs de système d'enseignement et d'apprentissage?

Pour conclure

En définitive, des intentions à la réalisation, notre système de guidage est devenu de plus en plus flou. Parti de quelques principes d'EIAO, le système a pris une orientation plus pragmatique et s'inscrit dans un processus moins technique mais plus interactif que prévu. Travail de recherche à ces débuts, il s'est vu embarqué dans un projet qui devait rapidement « produire » de la formation. De la simulation automatique de processus plus ou moins cognitifs, c'est vers une plus grande attention à l'espace métacognitif que le travail s'est porté. Mais d'autres raisons expliquent également ce glissement. Notamment l'observation de l'importance relative que prenait le système informatique par rapport à tout l'environnement interactionnel: motivation des élèves, conditions d'utilisation, rapport à l'ordinateur en général. L' « intelligence » de l'activité ne sera pas nécessairement dans le produit informatique, ni totalement chez l'utilisateur, mais dans l'interaction de l'un avec l'autre.

Annexe 2: Présentation de Prof'Expert, origine et objectifs

L'origine du travail

Il répond à une demande des milieux de l'enseignement professionnel, de disposer de modules permettant une première remise à niveau de personnes à faible qualification professionnelle. Les publics d'apprentis sont également concernés par ce travail. Cette démarche peut être comparée à celle qui a conduit à la réalisation de SMAO (1990) ou à d'autres opérations similaires menées avec des publics dits de bas niveau (CNDP, 1990).

Le choix s'est porté sur un système informatisé qui semblait offrir des possibilités d'individualisation intéressantes. Mais d'autres raisons ont également guidé ce choix.

En effet, observant depuis plusieurs années l'utilisation de l'ordinateur à fin d'enseignement et d'apprentissage, nous avons eu l'occasion de faire plusieurs constatations et de formuler quelques hypothèses. En particulier, nous avons été sensibles au fait que les meilleures expériences sont toujours celles qui peuvent exposer une théorie explicite d'apprentissage et une didactique appropriée, que ce soit à base de systèmes très ouverts (LOGO) ou plutôt fermés (ELMO). Mais nous avons également observé, principalement lors de recherches concernant le "nano-réseau" (Grossen, Pochon, 1988) que, au-delà de ses possibilités analysées a priori, c'est la manière d'utiliser le système (l'usage) par l'enseignant et par les élèves qui détermine finalement les conditions réelles de l'apprentissage.

Collaborer à la réalisation d'un système, même s'il n'est pas techniquement exemplaire, semblait une façon commode de valider certaines propositions théoriques, d'affiner nos hypothèses et de posséder un instrument d'observation modulable à souhait dans le domaine de l'apprentissage assisté par ordinateur. C'est aussi un bon moyen d'opérationnaliser des résultats de la recherche en didactique, voire de réactualiser des travaux anciens, parfois oubliés, concernant l'enseignement programmé (Houziaux, 1972). A noter donc que la partie recherche du projet ne concerne pas la technologie de l'EAO proprement dite (et de ses développements ultérieurs) qui, compte tenu de contraintes matérielles, doit rester simple, mais sa mise en place, l'usage réel de l'outil et l'influence du contexte. L'étude de l'interaction humain-machine en situation d'apprentissage est également un point d'intérêt[3].

---

[3] Plus précisément, quelques objectifs spécifiques des recherches menées sont les suivants:
D'un point de vue cognitif, l'intérêt est d'étudier les modes d'appropriation de l'information (type de lecture) partagée entre différentes "fenêtres" de l'écran de l'ordinateur et d'estimer dans quelle mesure et comment un savoir morcelé sur un support "virtuel" génère de nouvelles connaissances chez l'apprenant.
Un autre aspect est plus général. Il s'agit d'affiner l'étude de ce que nous appelons "l'effet de surface", c'est-à-dire la propension que des utilisateurs à survoler diverses possibilités d'un système sans vraiment analyser toutes les informations qui leur sont fournies par le média et en ne lisant que très partiellement les "écrans" proposés.
Un point concerne le problème de la caractérisation des interactions avec et autour de la machine. Ici, entrent en ligne de compte la manière d'agir sur l'interface, l'effet des messages, l'utilisation des "aides", les informations transmises entre les participants, etc.
Finalement, le point qui est le plus particulièrement développé ici, lié aux précédents, concerne le mode de réalisation des exercices, les utilisations de la recherche en didactique, les réalisations envisagées, celles qui ont été possibles et celles qui ont émergé au cours du travail de réalisation.

Le système et sa mise en oeuvre

Le système, entre exerciseur et tutoriel (Maréchal, 1993), est constitué d'un ensemble de modules de remise à niveau dans toutes les disciplines classiques. Il est destiné à des élèves entrant à l'école professionnelle ou à des adultes peu qualifiés en stage de formation. Contrainte importante: le système doit pouvoir être largement diffusé (et est déjà utilisé par plusieurs établissements de formation). Pour cela, nous avons suivi l'enseignement que J. Perriault transmet avec sa "logique de l'usage" (1990) et nous nous sommes efforcés à l'ancrer sur les pratiques habituelles des formateurs (usage de fiches lacunaires, par exemple), tout en leur simplifiant le travail (correction, suivi des élèves). Par ailleurs, pour pouvoir utiliser, lors de l'élaboration de nouvelles activités, des usages nouveaux, "inventés" par les utilisateurs, nous avons opté pour un développement "pragmatique et interactif".

L'utilisation du système s'insère dans un dispositif didactique global qui offre aux apprenants des moments d'exercisation individualisée dont le choix du sujet est établi sur la base d'un plan de travail mensuel. En principe, il s'agit purement d'un travail de consolidation ("drill and practice"). Toutefois, des informations (aides contextuelles) sont disponibles qui permettent à l'apprenant de revoir des éléments théoriques, de recevoir des explications additionnelles, de prendre connaissance d'anecdotes, etc. C'est donc un environnement assez complet que l'utilisateur peut explorer en activant des "boutons" (sous la forme de mots colorés) et qui le mène, parfois, à reprendre papier et crayon pour résoudre une situation-problème rencontrée au détour d'une "unité d'information". L'hypothèse est que les exercices réalisés excitent des structures mentales d'accueil (Pochon, 1993) et rendent ainsi l'utilisateur plus réceptif aux règles, formules, méthodes explicitées sous la forme de textes succincts et qui demandent diverses activations pour être parcourus dans leur totalité.

Le système délivre aussi des indices de performance et le temps de travail qui peuvent être analysés par la suite par l'utilisateur et son formateur. L'apprenant peut également insérer dans ce "suivi" des informations qu'il voudrait conserver. Cette partie du système est destinée à conduire l'apprenant à mener une réflexion "méta-cognitive". C'est une démarche souvent signalée que l'ordinateur permet, même avec des systèmes d'EAO très simples (Blanchet, 1990).

Les exercices proposés

Pour fixer les idées sans perdre le lecteur dans trop de détails, nous présenterons dans le tableau ci-dessous trois types d'exercices, dont les QCM, parmi les quelque dix à disposition. Du point de vue de la réalisation, un type d'exercice est caractérisé par l'interaction qu'il propose (mode de présentation de l'énoncé, manière de répondre) et un certain nombre "d'experts" qui gouvernent la génération des énoncés, l'analyse de la réponse, etc.

Pour compléter cette présentation, signalons encore que les exercices de type FICELLE proposent une suite d'opérations ("flashées" à intervalle régulier) à effectuer à partir d'un nombre de départ. Selon le cas, le calcul d'un nouveau nombre de la suite fait intervenir l'antécédent (ficelle 1) ou deux antécédents (ficelle 2). Les exercices de type FORMULE demandent d'établir une expression arithmétique ou algébrique qui répond à diverses contraintes, par exemple: utiliser quatre fois le nombre 6 et les opérations élémentaires pour obtenir un nombre donné. Dans ce cas, l'apprenant devra produire une expression syntaxiquement correcte sous le contrôle de l'ordinateur.

Nom	Interaction		Experts		
	Type	Mode	Expert du domaine	Expert didactique	Expert mode
FICELLE	flash	énoncé multiple	calcul	calcul	ficelle 1 ficelle 2
FORMULE	question réponse	formule	calcul	formule	
QCM	question réponse	qcm à N choix	texte	texte	

L'apprenant est rendu attentif au fait que le système va lui permettre d'exercer un contenu, mais aussi certaines "fonctions" cognitives. Cette liste lui est donc adressée sous une forme différente qui est la suivante en donnant chaque fois la tâche à effectuer, une aptitude importante mise en oeuvre, la notion mathématique ou la méthode concernée.

Interaction	**Tâche**	**Aptitude**	**Notion/Idée**
Λ Ficelle	CALCULER	MEMOIRE	OPERATION
Σ Formule	SYMBOLISER	COMBINATOIRE	SYNTAXE
ψ QCM	DÉCIDER	INTUITION	MODÈLE

Quant à la réalisation des exercices eux-mêmes, diverses voies sont suivies. Certains énoncés sont totalement préétablis, ceci pour atteindre une masse critique fiable. L'expérience aidant, d'autres énoncés sont générés au hasard sur le même modèle. Finalement, d'autres font appel à quelques règles simples (par exemple la génération de distracteurs peut se baser sur un certain nombre d'erreurs courantes: place de la virgule, confusion entre inverse et opposé, etc.).

Pour favoriser des apprentissages à partir d'exercices relativement fermés, plusieurs possibilités peuvent être explorées: par exemple utiliser les erreurs des élèves pour envoyer des messages explicatifs (en suivant par exemple la méthode proposée par Dumont, 1989). On peut aussi décomposer la difficulté et mener l'apprenant vers la solution à partir de prises de décisions partielles, toutes proposées sous la forme de *CM (idée de guide). Nous avons aussi introduit la notion de focaliseurs pour des choix multiples permettant de rétrécir le champs des réponses possibles, lorsque celles-ci sont à donner en langage naturel.

Toutefois, les premières utilisations ont vite fait apparaître que les messages qui expliquent les erreurs sont difficilement exploitables par les apprenants. Parfois proposer une question semblable vaut mieux qu'un discours qui souvent fait oublier le but qui est poursuivi. C'est cette solution qui a été momentanément retenue.

La prise de décisions partielles pose également problème. Pour expliquer ce point quelques informations complémentaires sont nécessaires.

En effet, une première idée était de mener les apprenants à utiliser la "meilleure" méthode possible pour effectuer un calcul ou résoudre un problème, ceci soit par "pression" (en pénalisant fortement le temps de résolution d'un calcul du type 25 + 32 + 15), soit par cheminement démonstratif. Cette méthode est envisageable lorsque l'aspect conventionnel (règle de grammaire) l'emporte sur celui de la construction personnelle (calcul mental). Dans le cas d'opérations cognitives complexes, le nombre de paramètres à prendre en compte pour

caractériser valablement le profil (niveau de maîtrise des opérations, nombres connus, etc.) d'un apprenant est important. Le temps d'apprentissage de ce profil par la machine serait donc trop long ou le travail de l'apprenant serait trop fastidieux s'il devait le lui enseigner. Ainsi, dans l'état actuel, plusieurs cheminements possibles qui mènent à une solution sont proposés à l'apprenant. Charge à lui de prendre conscience de sa méthode par rapport à celles utilisées par le système, ce qui a pour conséquence d'élargir l'espace méta-cognitif. Selon le cas, le système peut donner un avis indicatif sur la méthode adoptée.

Ainsi, si par exemple le problème à résoudre est: "6 objets coûtent fr. 246.-. Combien coûtent 9 objets ?" et si l'utilisateur fait appel au système d'aide, les données sont alors présentées sous la forme d'un tableau standard et l'apprenant est amené à choisir une méthode à utiliser: Recherche pour 1, Rapport entre les deux suites, Recherche pour 3, Recherche pour 18, Propriété de la somme, Propriété du produit.

Quantité	6	9
Prix	246	?

Si la rubrique "Recherche pour 3 est sélectionnée (ce qui constitue un passage par un diviseur commun de 6 et 9) le tableau est complété par une colonne supplémentaire (3; 123) et le système "donne" son avis: "Cette méthode semble bien adaptée".

Parmi l'ensemble des exercices, les QCM (destinés au début à jouer le rôle de pré et post-tests) sont souvent les plus appréciés, ne serait-ce que par l'utilisation réduite du clavier qu'ils permettent. Les exploitations de l'option QCM donc sont inattendues: Les élèves en grandes difficultés l'activent volontiers et peuvent ainsi procéder à un "dégrossissage" d'un exercice (dans ce cas, les distracteurs pourraient n'être plus considérés comme vraisemblables, toutefois ils peuvent le demeurer pour l'apprenant en difficulté). D'autres jouent sur le nombre de choix et réduisent ou augmentent ainsi à volonté la probabilité de commettre une erreur. Des enseignants (en allemand) proposent des choix judicieux de distracteurs pour la traduction de locutions qui mettent en perspective différentes constructions, des faux-amis, des exemples typiques. On s'aperçoit donc que l'ordinateur (machine à *CM) a démultiplié les possibilités d'utilisation du QCM. De sa fonction première liée à l'évaluation, il peut aussi s'intégrer dans une phase d'apprentissage.