

La psychologie cognitive au service de la conception de l'environnement d'apprentissage AMBRE

Sandra NOGRY, Stéphanie JEAN-DAUBIAS et Nathalie GUIN-DUCLOSSON

Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes d'Information

Université Claude Bernard - Lyon 1

Nautibus, 8 bd Niels Bohr, Campus de la Doua

69622 Villeurbanne Cedex

snogry_sdaubias_nguin@bat710.univ-lyon1.fr

Résumé

Dans cet article, nous décrivons les principes de conception de l'Environnement Informatique d'Apprentissage Humain (EIAH) AMBRE (Apprentissage de Méthodes Basé sur le Raisonnement à partir de l'Expérience) destiné à l'apprentissage de méthodes. Cet EIAH se base sur des études en didactique des disciplines et exploite le paradigme du Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) pour permettre à l'apprenant de mettre lui-même en évidence des classes de problèmes et d'outils de résolution, en utilisant des exemples déjà rencontrés au cours de l'apprentissage. Nous présentons en quoi le RàPC peut être pertinent pour l'enseignement de méthodes et comment nous l'avons adapté dans une première maquette de l'EIAH. Nous présentons ensuite une première évaluation cognitive de cette maquette dont l'objectif était de tester l'impact de l'usage du RàPC sur l'apprentissage de méthodes. Nous détaillons enfin les recommandations que nous avons pu en tirer.

Mot clés : EIAH, RàPC, expérimentation de Psychologie Cognitive, enseignement de méthodes.

Abstract

In this paper, we describe the ILE AMBRE designing process, the purpose of which is to teach methods. This ILE is based on didactic work and uses Case-Based Reasoning (CBR) paradigm to facilitate the learning of abstract knowledge based on problem classes using problems already met during learning. We show how the CBR is relevant for teaching methods and how we adapt it in a first prototype of the ILE. Then, we describe a first cognitive evaluation we conducted in order to test the appropriateness of the prototype to the goals of the AMBRE project. Last we present recommendations for coming development.

Keywords : Interactive Learning Environment, Case-Based Reasoning, cognitive psychology experiment, methods

Introduction

Le projet pluridisciplinaire AMBRE (Jean 2000) (Apprentissage de Méthodes Basé sur le Raisonnement à partir de l'Expérience) a pour but de concevoir un environnement d'apprentissage pour l'acquisition de méthodes. Cette étude s'appuie sur des recherches concernant l'enseignement de méthodes en didactique des disciplines. Elle propose d'utiliser le Raisonnement à

Partir de Cas (RàPC), paradigme développé en Intelligence Artificielle (IA) et issu de recherches en psychologie cognitive sur le raisonnement par analogie, pour faire acquérir des méthodes basées sur le classement par l'apprenant des problèmes et des outils de résolutions. En nous appuyant sur des études en psychologie cognitive, nous faisons l'hypothèse que l'utilisation du RàPC peut induire chez l'apprenant des classes de problèmes et ainsi améliorer ses performances. Nous proposons de tester cette hypothèse en faisant une évaluation cognitive d'une première maquette du système conçu sur ce principe dans le cadre de ce projet.

Dans la première partie de cet article, nous décrivons ce que l'on souhaite faire acquérir à l'apprenant dans le projet AMBRE. Nous exposons ensuite le principe du RàPC et les études sur la cognition humaine en relation avec ce paradigme. Des travaux utilisant le RàPC pour concevoir un EIAH existent déjà, nous en développerons quelques exemples. Dans une troisième partie, nous présentons la première maquette de AMBRE en détaillant les principes d'apprentissage qu'elle met en œuvre. La première expérimentation réalisée à l'aide de cette maquette sera décrite et ses résultats seront présentés. En conclusion, nous formulerons des recommandations pour la conception de l'EIAH AMBRE.

Un EIAH pour faire acquérir des méthodes

Des études didactiques proposent d'enseigner explicitement les méthodes qui, dans un domaine restreint, permettent de guider la résolution des problèmes (Rogalski 1990, 1994). Ces méthodes sont fondées sur un classement des problèmes et des outils de résolution. Elles permettent de choisir la technique de résolution la mieux adaptée à un problème donné.

Dans ce contexte, les méthodes à acquérir pour un domaine donné peuvent être définies par un expert (didacticien, enseignant...) sous la forme d'une hiérarchie de classes de problèmes. Certaines classes de la hiérarchie, dites opérationnelles, sont suffisamment spécifiques pour qu'on puisse associer à chacune une technique de résolution adaptée aux problèmes qui relèvent de cette classe.

Dans certains domaines, les termes définissant les classes de problèmes et les techniques de résolution ne sont pas nécessairement utilisés institutionnellement et ne sont pas connus des apprenants. La hiérarchie de classes et les techniques de résolution ne peuvent donc pas être présentées explicitement à l'apprenant. Aussi, il est nécessaire de créer des conditions d'apprentissage dans lesquels l'apprenant puisse construire lui-même les classes de problèmes et les associer aux techniques de résolution correspondantes. Pour cela, le paradigme du raisonnement à partir de cas semble approprié.

En résumé, le projet AMBRE a pour objectif de concevoir un EIAH dont le but est de faire acquérir à l'apprenant une méthode de résolution fondée sur une hiérarchie de classes de problèmes et sur des techniques de résolution associées à ces classes. Pour cela, nous envisageons une démarche où l'apprenant est actif, dans laquelle il se construit sa propre méthode, en représentant une classe de problème par un problème prototype en suivant les étapes du raisonnement à partir de cas.

Le Raisonnement à Partir de Cas

Le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) (Kolodner 1993) est un paradigme issu des recherches en IA sur la résolution de problèmes, basé sur la réutilisation d'exemples. Il a pour origine des études en psychologie cognitive portant sur les modèles de mémoire épisodique (Schank 1982), ainsi que sur le raisonnement par analogie (Gentner 1983). C'est une description computationnelle du raisonnement par analogie intradomaine qui peut être décrit par un ensemble d'étapes séquentielles (élaborer, remémorer, adapter, tester/réviser, mémoriser un cas) que l'on représente souvent par un cycle (Mille 1998) (cf. figure 1).

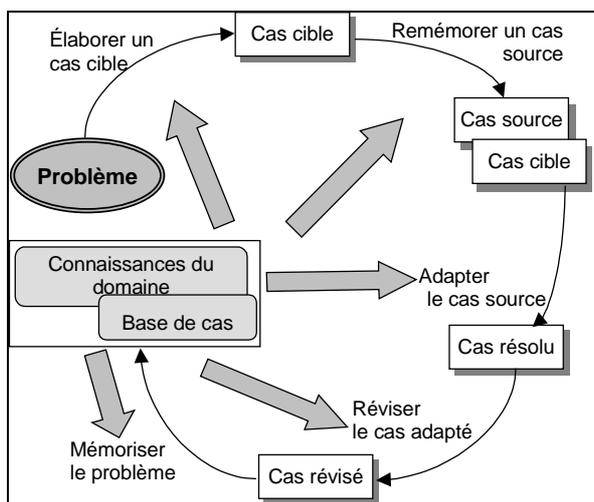


Figure 1 : le cycle du RàPC.

À partir d'un problème cible, on élabore le cas en utilisant des connaissances générales et en ne gardant que les informations pertinentes. Puis on se remémore un cas

proche (le cas source) en cherchant dans la base de cas ; on adapte ensuite le cas source afin d'obtenir la solution du problème cible. On révisé cette solution, enfin on mémorise le cas cible dans la base de cas pour une réutilisation future.

L'intérêt du RàPC pour l'apprentissage

Le paradigme de raisonnement par analogie a fait l'objet de nombreuses études en psychologie cognitive (Sander 2000 pour une revue). Ces études ont montré que l'analogie intradomaine (aussi appelé apprentissage à partir d'exemples) est utilisée par les apprenants en situation de résolution de problèmes. Lorsqu'on rencontre un problème nouveau, on a naturellement tendance à se référer à une situation proche déjà rencontrée pour résoudre ce problème. Ce raisonnement par analogie utilise des connaissances abstraites ou des connaissances contextuelles. Dans ce dernier cas, l'apprenant recherche dans les problèmes qu'il a déjà rencontrés un problème proche pour en adapter directement la solution. Cette démarche est très semblable au paradigme de raisonnement à partir de cas décrit en Intelligence Artificielle (Didierjean et Cazinille-Marmèche 1998).

Le raisonnement par analogie, en favorisant une activité de comparaison entre exemples, permet à l'apprenant d'induire des catégories de problèmes (Cummins 1992) et d'acquérir ainsi des connaissances abstraites. Le raisonnement par analogie semble donc favorable pour l'acquisition de méthodes.

Cependant, ce raisonnement n'est pas toujours utilisé spontanément par l'apprenant ; il arrive également qu'il soit utilisé de manière non pertinente. Mais si l'apprenant est incité à faire le lien entre le problème à résoudre et un problème déjà rencontré, l'apprentissage à partir d'exemples donne de bons résultats en résolution de problèmes (Gick et Holyoak 1983). Proposer à l'apprenant de se remémorer un problème proche (étape de remémoration du RàPC) pourrait donc inciter à l'utilisation d'un raisonnement par analogie et ainsi favoriser l'apprentissage de méthodes.

Ces différentes études issues de la psychologie cognitive permettent de supposer que le RàPC est adapté pour modéliser certains processus cognitifs mis en jeu dans l'apprentissage à partir d'exemples. Par ailleurs, l'utilisation des étapes du RàPC semble pouvoir provoquer l'apprentissage à partir d'exemples et ainsi faciliter l'apprentissage de méthodes.

Quelques utilisations du RàPC en EIAH

Le RàPC est une technique déjà utilisée dans diverses composantes d'un EIAH. Nous en présentons ici quelques exemples.

Le RàPC a été modélisé pour la résolution de problèmes, il peut donc logiquement remplir la fonction de résolveur dans un environnement d'apprentissage. Ce type de

résolveur peut proposer la solution du problème comme dans un tuteur classique, mais aussi proposer l'ensemble des étapes du cycle de RàPC réalisées pour résoudre le problème donné. C'est ainsi que fonctionne le système CATO (Aleven et Ashley 1997), qui propose aux étudiants en droit une argumentation complète à partir d'études de cas. Le système de RàPC génère son argumentation à partir d'une base de cas. Toutes les étapes du cycle sont couvertes dans le but de montrer à l'apprenant le processus de raisonnement qui mène à la solution.

Le RàPC permet également de modéliser les connaissances de l'apprenant. Ainsi, le logiciel SARA (Shiri, Aimeur et Frasson 1998) propose un problème à l'apprenant, ainsi qu'une base de cas et un ensemble d'outils pour adapter le cas source choisi et réviser la solution. Le système compare ensuite la production de l'élève à la solution qu'aurait fournie l'expert s'il avait choisi le même cas. Le modèle de l'élève est ainsi construit à partir du cas choisi par l'élève, de l'adaptation et de la solution proposée.

Le RàPC peut également faciliter la sélection d'une stratégie d'apprentissage par comparaison du modèle de l'apprenant avec les évaluations d'autres apprenants (formant une base de cas) (Gilbert 2000). Dans le cadre d'une navigation dans un hypertexte, le logiciel PIXED (Heraud et Mille 2000) propose de mémoriser les parcours des utilisateurs précédents puis de proposer à l'utilisateur un parcours correspondant à sa situation en adaptant un des parcours de la base de cas.

Enfin, l'utilisation la plus proche de notre propos est l'enseignement à partir de cas (Case-Based Teaching) (Schank et Edelson 1990). Les systèmes fondés sur cette stratégie d'apprentissage proposent un cas proche à l'apprenant lorsque celui-ci est en difficulté lors de la résolution d'un problème, ou lorsqu'il est face à un problème qu'il n'a jamais rencontré (d'un nouveau domaine ou d'un nouveau type). Dans ces systèmes, on peut trouver différents niveaux d'interactivité entre l'apprenant et l'environnement informatique (Tourigny et Capus 2000) : L'apprenant peut demander au système de lui retrouver un exemple similaire, de lui expliquer comment ce cas a été résolu ; le système peut aussi lui proposer la résolution complète de son exercice comme dans CATO (Aleven et Ashley 1997). On peut prendre pour exemple le logiciel SPIEL (Burke et Kass 1996) qui propose une aide pour l'apprentissage de conduites sociales adaptées par la remémoration de clips vidéo représentant des cas. La remémoration du clip peut intervenir tout au long de l'interaction entre l'étudiant et un logiciel de simulation, lorsque que le système détecte que l'étudiant a pris un risque ou a rencontré un échec dans l'interaction. Ce système a pour but de mettre en contact les étudiants avec l'expérience des experts.

Le RàPC dans AMBRE

Dans le projet AMBRE, notre objectif est de faire acquérir une méthode de résolution fondée sur une hiérarchie de classes de problèmes en présentant à l'apprenant des exemples de problèmes résolus, puis en guidant la résolution de nouveaux problèmes grâce à un raisonnement à partir de cas.

En proposant à l'apprenant de reformuler le problème posé, puis de le comparer aux problèmes déjà rencontrés pour choisir un problème proche du problème à résoudre, le système devrait favoriser l'acquisition de connaissances abstraites sur les classes de problèmes. L'adaptation par l'apprenant de la solution du problème source au problème cible devrait faciliter l'association entre les classes de problèmes et les outils de résolution qui leur sont associés. L'étape de mémorisation devrait obliger l'apprenant à expliciter la classification du problème cible dans la hiérarchie de classes de problèmes. l'étape de révision est remplacée par un feedback après chaque étape.

Au cours de cet apprentissage, on souhaite que l'apprenant puisse structurer ses connaissances pour aboutir à une structure conforme au modèle de la figure 2 : des classes opérationnelles (auxquelles on peut associer une technique de résolution) représentées par un problème prototype éventuellement organisées par une hiérarchie.

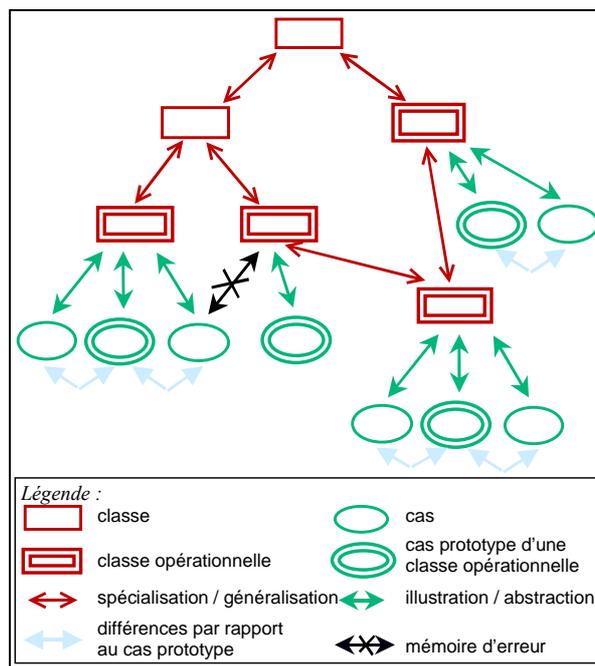


Figure 2 : modèle des connaissances de l'élève - expert.

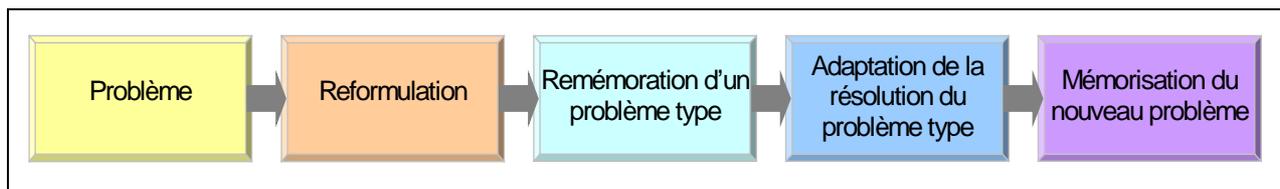


Figure 3: les étapes de la résolution dans AMBRE.

AMBRE : premiers développements du projet

La conception du projet AMBRE se déroule suivant une conception en spirale (Bruillard et Vivet 1994) La conception est faite au sein d'une équipe pluridisciplinaire de manière incrémentale permettant de faire de nouvelles spécifications.

Le prototype que nous présentons dans la suite de cet article est la première version développée afin de tester l'influence du RàPC sur l'apprentissage de méthodes pour une situation d'utilisation restreinte.

Réalisation d'une première maquette

Avant de réaliser l'EIAH AMBRE dans sa totalité, nous avons réalisé une maquette (cf. figure 4 : une copie d'écran de l'étape de remémoration) pour une première expérimentation.

Le domaine du dénombrement nous a semblé être une première situation pertinente pour tester nos hypothèses. En effet, l'enseignement de ce domaine est assez théorique tandis que les exercices proposés sont plutôt appliqués, et il est difficile de caractériser les savoirs implicites nécessaires à la résolution. De plus, ce domaine a fait l'objet de recherches didactiques qui ont permis de constituer une classification des problèmes et des outils de résolution (Guin, Giroire et Tisseau 1995)¹. Le domaine des problèmes de dénombrement (niveau terminale scientifique) semble donc être un bon candidat pour l'apprentissage de méthodes.

La maquette réalisée présente à l'apprenant les quatre étapes du RàPC (cf. figure 3), sur un nombre limité de problèmes dont l'ordre est prédéterminé.

Cette maquette est beaucoup plus rigide qu'un environnement d'apprentissage complet, le système ne comportant pas de module d'IA, il ne peut pas s'adapter à l'utilisateur. Dans une étape plus avancée de la conception, les modules traditionnels à un EIAH (module expert (Guin-Duclosson 1999), modèle de l'apprenant, module de diagnostic, module pédagogique et module d'aide et d'explications) seront intégrés au prototype pour assurer notamment les fonctions de diagnostic et d'aide dynamiquement.

Nous allons maintenant décrire le fonctionnement de la

¹ La hiérarchie de classes de problèmes pour ce domaine a été déterminée dans le cadre du groupe de travail « Combien? », composé de chercheurs en Intelligence Artificielle et d'enseignants de mathématiques.

maquette, ce qui nous permettra de présenter le type d'apprentissage proposé par AMBRE à l'aide d'un exemple.

Déroulement de la résolution de problèmes

AMBRE a pour but de faire acquérir à l'apprenant une méthode de résolution pour les problèmes d'un domaine. Pour cela, le système commence par présenter de manière interactive la résolution de quelques problèmes types (qui servent d'initialisation à la base de cas), puis il accompagne l'apprenant dans la résolution de nouveaux problèmes (appartenant aux mêmes classes que les exemples présentés). La résolution du problème par l'apprenant est guidée par l'environnement en suivant chaque étape du cycle de RàPC (cf. figure 1). Dans cet environnement l'élaboration du problème est appelée reformulation et le cas source correspond à un problème type pour inciter l'apprenant à se référer à un problème prototype dans la base de cas (cf. figure 4). Les étapes de reformulation, remémoration, adaptation et mémorisation sont effectuées par l'apprenant, mais guidées par le système. L'étape de révision du cycle du RàPC est remplacée par un feedback après chaque étape qui indique éventuellement quelle erreur a été faite et donne le plan de résolution de l'exercice dans l'étape d'adaptation si l'apprenant a échoué dans sa résolution.

À travers la présentation détaillée des différentes étapes, nous présenterons la résolution du problème présenté ci-dessous :

Combien de nombres distincts de 4 chiffres peut-on former en n'utilisant que 2, 4, 5, 6, 8 et 9 ?

Reformulation du problème

La première étape consiste à reformuler le problème à résoudre. L'apprenant est guidé par le système pour construire une nouvelle formulation du problème posé en décomposant l'énoncé du problème. Cette tâche consiste à identifier les traits structuraux du problème à résoudre. L'apprenant doit donc identifier dans le problème proposé :

- l'ensemble de départ, ici 6 chiffres (2,4,5,6,8,9),
- l'objet à former, ici une liste (car on doit former des nombres) avec remise (on peut utiliser plusieurs fois le même chiffre) de 4 éléments,
- les contraintes sur l'objet à former, dans cet exemple il n'y en a pas.

À partir de ces réponses, l'environnement construit la reformulation du problème :

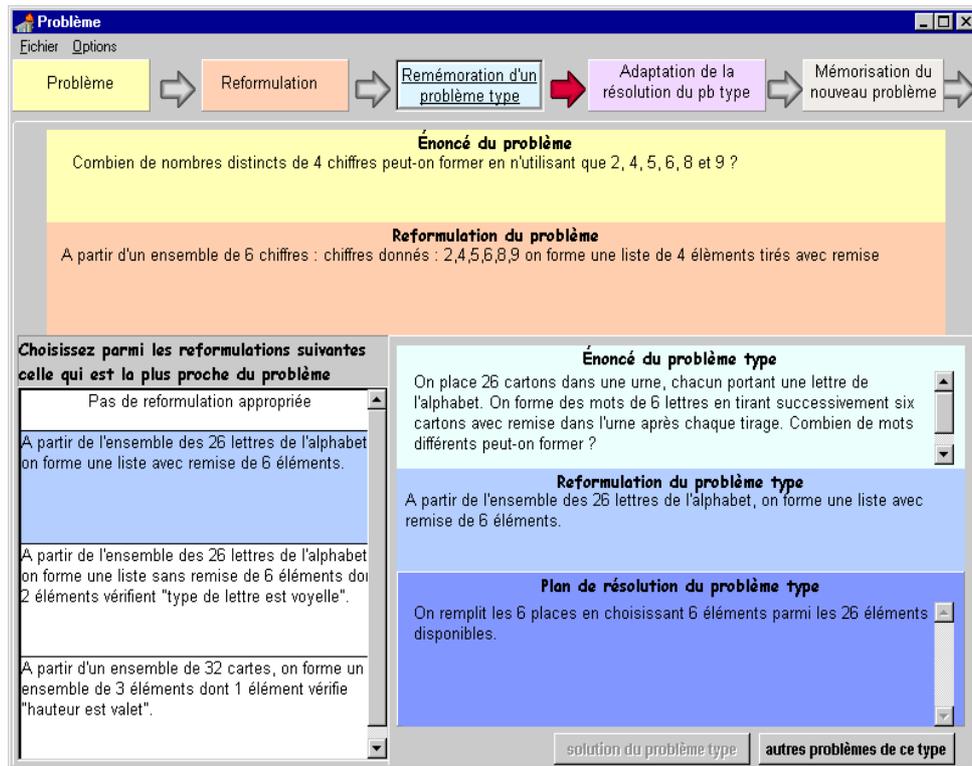


Figure 4 : l'étape de remémoration de la maquette.

À partir d'un ensemble de 6 chiffres (2,4,5,6,8,9), on forme une liste de 4 éléments tirés avec remise

Cette reformulation est débarrassée de l'essentiel des traits de surface du problème initial, et devient une référence pour la suite de la résolution.

Remémoration d'un problème type

La deuxième étape de la résolution consiste pour l'apprenant à comparer le problème à résoudre à ceux déjà résolus (cf. figure 4) en observant les différences et les similarités entre la reformulation du problème à résoudre et les reformulations des problèmes déjà rencontrés. En sélectionnant une reformulation, l'énoncé correspondant, sa reformulation et la résolution apparaissent. L'apprenant doit ainsi choisir le problème prototype qui lui semble le plus proche du problème à résoudre en se basant sur les reformulations.

Ici, la reformulation du problème prototype le plus proche du problème à résoudre est :

À partir de l'ensemble des 26 lettres de l'alphabet, on forme une liste avec remise de 6 éléments.

Le système diagnostique la proposition de l'élève et lui indique s'il existe un problème plus proche du problème à résoudre que celui qu'il a choisi.

En comparant ainsi les problèmes et en choisissant un problème prototype, nous souhaitons que l'apprenant se construise des classes de problèmes [5] et identifie la classe à laquelle se rattache le problème à résoudre.

Adaptation de la solution du problème type au problème cible

Pour achever la résolution, l'apprenant doit adapter la solution du problème type au problème à résoudre. L'apprenant ne connaît pas explicitement la technique de résolution associée à la classe à laquelle le problème appartient, il doit donc s'appuyer sur la solution du problème prototype pour construire la solution du problème cible (cf. figure 5) en utilisant les briques de construction (cf. figure 6) disponibles dans l'environnement. Ces briques sont des phrases types à compléter (cf. figure 7).

<p>Reformulation du problème type</p> <p>A partir de l'ensemble des 26 lettres de l'alphabet, on forme une liste avec remise de 6 éléments.</p>	<p>Reformulation du problème</p> <p>A partir d'un ensemble de 6 chiffres : chiffres donnés : 2,4,5,6,8,9 on forme une liste de 4 éléments tirés avec remise</p>
<p>Plan de résolution du problème type</p> <p>On remplit les 6 places en choisissant 6 éléments parmi les 26 éléments disponibles</p>	<p>Plan de résolution du problème</p>
<p>solution du problème</p> <p>$26 \cdot 6 = 308\ 916\ 776$</p>	<p>solution du problème</p>

Figure 5 : étape d'adaptation (zoom sur le plan de résolution).

on complète en choisissant x éléments parmi les y éléments restants

on complète les x places restantes en choisissant x éléments parmi les y éléments restants

on complète les x places restantes en choisissant x éléments, tous distincts, parmi les y éléments restants

on complète en choisissant x éléments parmi les y éléments de l'ensemble de départ

Figure 6 : exemples de briques de construction

Figure 7 : exemple d'écran de saisie d'une brique

Lorsque l'apprenant propose une solution, le système diagnostique cette proposition.

Dans cette étape, nous espérons que l'apprenant associe progressivement un plan de résolution à une classe de problèmes.

Mémorisation du cas cible

Une fois le problème résolu, l'apprenant doit l'ajouter à la base de cas en identifiant, explicitement cette fois, la classe de problèmes à laquelle se rattache le problème à résoudre. Cette tâche consiste à attacher le nouveau cas à un problème prototype, donc à l'insérer dans un groupe de problèmes existant.

Dans l'exemple présenté ici, le problème à résoudre doit être rattaché au problème prototype qui a pour reformulation : « à partir de l'ensemble des 26 lettres de l'alphabet on forme une liste avec remise de 6 éléments ». Ce groupe de problèmes relève de la classe opérationnelle que l'on pourrait nommer « liste avec remise ».

Il est possible que le nouveau cas ne puisse pas être rattaché à un groupe de problèmes existant dans l'organisation, l'apprenant peut alors créer un nouveau groupe dont le problème prototype est le problème qu'il vient de résoudre.

À terme, nous souhaitons donner la possibilité à l'apprenant de créer un (ou plusieurs) sous-groupes de problèmes au sein d'un groupe, ainsi que des outils permettant de caractériser les groupes de problèmes les uns par rapport aux autres, en construisant un début de hiérarchie.

Évaluation de la maquette

Avant de développer AMBRE dans son ensemble, nous avons souhaité évaluer l'impact du RàPC sur l'apprentissage de méthodes en observant dans un premier temps le comportement des utilisateurs face à la maquette.

Dans le cadre de cette première évaluation, conduite selon les techniques de psychologie cognitive, deux hypothèses ont été testées :

- l'utilisation du RàPC facilite l'induction de catégories de problèmes,
- l'utilisation du RàPC améliore les performances de l'apprenant en résolution de problèmes.

L'expérimentation, effectuée avec 64 élèves de classe de Terminale S, a eu lieu en classe afin de respecter des conditions réelles d'utilisation. L'utilisation du logiciel a été intégrée au cours comme séance de révision aux dénombrements avant le baccalauréat. Par la suite, nous décrivons l'expérimentation menée ainsi que les résultats obtenus.

Principe de l'expérience

Cette première évaluation consiste en une étude comparative de l'utilisation de deux maquettes. La première maquette guide la résolution selon le principe de Ambre ; elle intègre donc le paradigme de RàPC. La seconde maquette propose, comme condition contrôle, une résolution simple des mêmes exercices dans le même environnement, mais sans guidage spécifique : les étapes du RàPC sont absentes, la résolution se fait en utilisant les phrases types proposées par les briques de construction (cf figure 6 et 7).

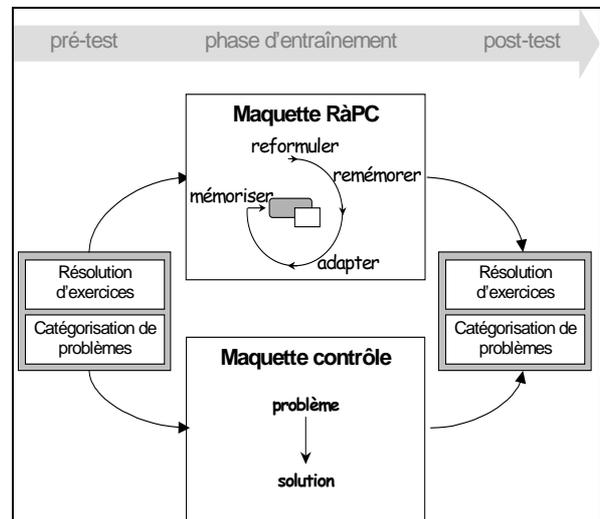


Figure 8 : plan expérimental.

Avant et après l'entraînement sur la maquette (cf. figure 8), les apprenants résolvent deux tâches papier-crayon :

- une tâche de résolution d'exercices permettant de mesurer les performances des apprenants
- une tâche de catégorisation de problèmes permettant d'observer la manière dont ils classifient les problèmes (classement de 10 énoncés d'exercices suivant la similarité de leur résolution).

Les tâches proposées en pré-test et en post-test ont été analysées et comparées. Pour la tâche de catégorisation, les classements donnés par les apprenants ont fait l'objet d'une analyse descriptive à l'aide de la taxinomie de Barthélémy et Guénoche 0. Pour la tâche de résolution d'exercices, les réponses ont été traitées par une analyse de variance. Les traces d'utilisation des maquettes ont également été analysées pour observer les conditions d'utilisation du logiciel et déterminer les erreurs les plus fréquentes.

Résultats et discussion

Les résultats de cette première expérience montrent tout d'abord que la maquette utilisant le paradigme de RàPC facilite la classification des problèmes selon les traits pertinents pour la résolution, mais uniquement chez certains apprenants. Ensuite, lors du post-test, on n'observe pas de différence significative de performances pour la résolution d'exercices entre les deux groupes d'apprenants (ceux ayant utilisé la maquette RàPC et ceux ayant utilisé la maquette contrôle). Par ailleurs, les traces d'utilisation mettent en évidence les difficultés qu'éprouvent les apprenants à trouver l'exercice source le plus proche dans l'étape de remémoration, ils procèdent même souvent par essai-erreur. Ainsi, même si l'étape de reformulation permet d'explicitier les traits de structure, cela ne facilite pas l'utilisation de ces traits dans l'étape de remémoration.

Ces résultats ne permettent donc pas de valider nos hypothèses (facilitation de l'induction de catégories de problèmes et amélioration des performances en résolution de problèmes). On peut supposer que ces résultats décevants sont en particulier dus à la difficulté éprouvée par certains apprenants lors de l'étape de remémoration (étape dont la représentation à l'interface devrait être améliorée). Ces résultats sont également en partie dus au manque de souplesse du système, qui ne permet pas à l'apprenant de circuler entre les différentes étapes du processus.

Recommandations pour la conception de l'EIAH

Les résultats de cette expérience mettent en évidence la nécessité d'améliorer le prototype de l'EIAH avant de poursuivre les tests.

L'étape de remémoration semble en particulier être la plus importante à développer. Il faudra inciter plus fortement à la comparaison entre le problème source et les problèmes prototypes. Pour cela, nous devons

proposer à l'apprenant des outils pour faciliter cette comparaison. Nous avons d'ores et déjà imaginé les techniques qui, dans la prochaine version de la maquette, permettront de mettre en évidence les similitudes et les différences entre le problème à résoudre et les problèmes issus de la base de cas.

Par ailleurs, la circulation entre les étapes doit être rendue possible pour que l'apprenant puisse se rendre compte de l'influence du choix du problème type sur la suite de la résolution (l'étape d'adaptation), et pour qu'il lui soit possible de faire le rapprochement entre l'étape de remémoration et celle de mémorisation. On peut en effet faire l'hypothèse qu'en offrant une plus grande liberté de circulation entre les étapes du RàPC, la prise de conscience par l'apprenant des liens entre ces étapes sera facilitée. L'intégration des modules d'intelligence artificielle à la maquette devrait également permettre une plus grande flexibilité, en particulier sur ce point.

Conclusions et perspectives

Nous avons présenté dans cet article le projet AMBRE, qui s'appuie sur le cycle de résolution du RàPC pour faire acquérir à l'apprenant une méthode de résolution de problèmes fondée sur une classification des problèmes du domaine. Pour cette étude, nous avons conçu et réalisé une maquette de l'EIAH utilisant le paradigme de RàPC pour faciliter l'apprentissage de méthodes, en guidant l'élève pour qu'il construise une classification des problèmes et des outils de résolution. Nous avons ainsi pris en compte, en intégrant le paradigme du RàPC, des études de psychologie cognitive qui montrent l'importance du recours à des exemples dans l'élaboration de connaissances abstraites. Afin d'évaluer l'impact de ce paradigme sur la classification des problèmes et des outils de résolution, nous avons mis en place une expérience comparant cette maquette à une maquette n'intégrant pas le RàPC.

Bien que les résultats de cette première évaluation cognitive ne permettent pas de confirmer nos hypothèses, ils nous permettent cependant de mieux comprendre le comportement de l'apprenant. Ceci nous permet de formuler des recommandations qui devraient faciliter, dans l'EIAH, la classification par l'apprenant des problèmes et des outils de résolution. La nouvelle maquette, intégrant au moins en partie les modules d'intelligence artificielle, et prenant en compte les recommandations formulées à l'issue de la première expérimentation, devrait nous permettre de mettre en place de nouvelles expériences visant à nouveau à évaluer l'impact du RàPC sur l'apprentissage des classes de problèmes et sur l'apprentissage des classes d'outils de résolution. Enfin, des expériences complémentaires sur l'apprentissage à partir d'exemples permettront de mieux comprendre comment induire certains processus d'apprentissage, et de favoriser ainsi l'enseignement de méthodes.

Références

- Aleven, V. and Ashley K.D. 1997. Teaching Case-Based Argumentation through a Model and Examples - Empirical Evaluation of an Intelligent Learning Environment. *Artificial Intelligence in Education* (B. du Boulay and R. Mizoguchi Eds.), p. 87-94, IOS Press.
- Barthélemy, J.P. and Guénoche, A. 1991. *Trees and Proximity Representations*. J.Wiley, London, p. 238.
- Bruillard, É. and Vivet M. 1994. Concevoir des EIAO pour des situations scolaires : approche méthodologique. In N. Balacheff et M. Vivet, *Didactique et intelligence artificielle*, p. 273-302, La pensée sauvage éditions.
- Burke R., and Kass A. 1996. Retrieving stories for Cased-Based Teaching. In leake , D. (ed.), *Cased Based Reasoning : Experiences, Lessons, and future directions*, p. 93-11, Menlo Park : AAAI Press/MIT Press.
- Cummins., D. 1992. Role of Analogical Reasoning in the Induction of problem categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 5, p. 1103-1124.
- Didierjean, A. and Cauzinille-Marmèche, E. 1998. Reasoning by analogy: Is it schema mediated or case-based ? *European Journal of Educational Psychology*, 13, p.385-398.
- Gentner D. 1983. Structure Mapping : A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, p. 155-170.
- Gick, M. and Holyoak, K. 1980. Analogical Problem Solving, *Cognitive Psychology*, 12, p.306-355.
- Gilbert, J.E. 2000. Case-Based Reasoning Applied to Instruction Method Selection for Intelligent Tutoring Systems. *Workshop 5 : Case-Based Reasoning in Intelligent Training Systems, ITS'2000*, Montreal, p. 11-15.
- Guin, N., Giroire, H. and Tisseau, G. 1995. Le classement de problèmes : une méthode de résolution de problèmes pour le module expert d'un EIAO. Application aux problèmes de dénombrement. *Actes des quatrièmes journées EIAO de Cachan* (D. Guin, J.-F. Nicaud, D. Py eds.), Eyrolles, p. 113-124.
- Guin-Duclosson, N. 1999. SYRCLAD : une architecture de résolveurs de problèmes permettant d'explicitier des connaissances de classification, reformulation et résolution. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 13-2, p. 67-94, Paris : Hermès.
- Heraud, J-M and Mille, A. 2000. Pixed: vers le partage et la réutilisation d'expériences pour assister l'apprentissage. *In Proceedings of international symposium TICE 2000*, p. 237-244, Troyes, France.
- Jean, S. 2000. PÉPITE : un système d'assistance au diagnostic de compétences, *Phd*, Université du Maine, Le Mans.
- Khan, T.M. 2000. Case-Based Evaluation for Student Modelling. *Workshop 5 : Case-Based Reasoning in Intelligent Training Systems, ITS'2000*, Montreal, p. 16-22.
- Kolodner, J. 1993. *Case Based Reasoning*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Masterton, S. 1997. The Virtual Participant : Lessons to be Learned from a Case-Based Tutor's Assistant. *Computer Support for Collaborative Learning*, Toronto.
- Mille, A. 1998. Associer expertise et expérience pour assister les tâches de l'utilisateur, *Habilitation à diriger des recherches*, Université Claude Bernard, Lyon1.
- Rogalski, M. 1990. Enseigner des méthodes en mathématiques. *Commission Inter-Irem Université, Enseigner autrement les mathématiques en Deug A première année*, bulletin Inter-Irem, p. 65-79.
- Rogalski, M. 1994. Les concepts de l'EIAO sont-ils indépendants du domaine ? L'exemple d'enseignement de méthodes en analyse. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, 14 -1.2, p. 43-66.
- Sander, E. 2000. *L'analogie, du naïf au créatif*. Paris, l'Harmattan.
- Schank, R.C. 1982. *Dynamic Memory : A theory Of Reminding And Learning In Computer And People*. Cambridge University Press.
- Schank, R. and Edelson, D. 1990. A Role for AI in Education : Using Technology to Reshape Education. *Journal of Artificial Intelligence in Education* 1.2, p. 3-20.
- Shiri, A., Aimeur, E. and Frasson, C. 1998. SARA : A Cased-Based Student Modelling System. *Fourth European Workshop on Case-Based Reasoning*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1488, p. 425-436, Dublin, Ireland.
- Tourigny, N. and Capus, L. 2000. Towards Making Intelligent Training Systems Using Examples more Flexible and Reusable by Exploiting Case-Based Reasoning. *Workshop 5 : Case-Based Reasoning in Intelligent Training Systems, ITS'2000*, Montreal, p. 23-28.