

UN PROJET PLURIDISCIPLINAIRE :
ELISE UN LOGICIEL POUR DONNER DES LEÇONS DE METHODE

Elisabeth Delozanne¹

ABSTRACT :

Starting from the experience of AI/Didactics collaboration that we had with ELISE project, this text try to point out convergences and reciprocal supply of these two fields in order to lead research in ICAL.

ELISE project means to create a learning environment using a knowledge base for Science University first year students. The domain concerned is primitives calculus. A mock-up has been tested by thirty students and eight teachers.

In this text the research objectives and the methodology for designing the software are presented. Then are described the acitivities ELISE proposes to the students in order to train them to a problem solving method specific of the domain. The interaction is structured by "interacting situations" related to the task and to the students' and system's respective goals. The last section deals with explanation in ICAL systems taking in account the results of the tests by students and teachers.

RESUMEN :

A partir de la colaboración entre Inteligencia Artificial y Didáctica que se experimentó en el proyecto ELISE, este texto intenta de extraer puntos de convergencia y aportaciones reciprocas de estas dos disciplinas para conducir investigación in SIEAO (Sistema Inteligente de Enseñanza Asistida por Ordenador).

El proyecto ELISE se propone de construir un ambiente de aprendizaje utilizando una base de conocimientos para estudiantes científicos en el dominio de calculo. Una maqueta del sistema fué aprobada con treinta estudiantes y ocho profesores.

En este texto se presentan primero los objetivos de la investigación y la metodología para construir el sistema. Luego describimos las actividades que ELISE propone a los estudiantes. La interacción sistema-estudiantes es estructurada por "situaciones de interacción" que estan relacionadas con la taréa y los respetivos objetivos del sistema y de los estudiantes. En la ultima parte se trata de la explicación en sistemas de SIEAO a la luz de los resultados de los experimentos con estudiantes y profesores.

RESUME :

A partir de l'expérience de collaboration IA/Didactique que nous avons menée au sein du projet ELISE, nous tentons de dégager les points de convergence et les apports réciproques de ces deux disciplines sur lesquels peut s'appuyer un travail commun en EIAO.

ELISE est un projet pluridisciplinaire dont l'objectif est la conception d'un logiciel à base de connaissances pour permettre à des étudiants de l'enseignement scientifique d'acquérir des savoir-faire sur le calcul des primitives, par la résolution de problèmes et les explications. Une maquette a été testée auprès de trente étudiants et huit enseignants.

Dans ce texte ELISE est d'abord globalement située par rapport aux problématiques de

¹ Maître de conférences à l'Université du Maine

l'IA et de la Didactique, puis la méthodologie adoptée pour sa conception est exposée. Ensuite l'interaction étudiant/logiciel mise au point et testée auprès des utilisateurs est présentée. Elle est structurée par ce que nous appelons des "situations d'interaction" qui sont liées à la tâche et aux objectifs respectifs du système et des utilisateurs. Enfin nous présentons les résultats des tests auprès des utilisateurs concernant les explications en EIAO.

INTRODUCTION

La nécessité d'un travail pluridisciplinaire en Intelligence Artificielle, en EIAO et sur les explications n'est plus à démontrer (par exemple (BARON 1982), (EIAO 1989, 1991), (EXPLICATIONS 1991,1992)). Cette collaboration que la communauté de chercheurs appelle de ses vœux n'est pas toujours aisée à mettre en œuvre du fait des différences dans les problématiques, les méthodologies, les concepts. Dans ce texte, à partir de l'expérience de collaboration IA/Didactique que nous avons menée au sein du projet ELISE, nous souhaitons dégager les points de convergence et les apports réciproques ces deux disciplines sur lesquels peut s'appuyer un travail commun en EIAO.

ELISE est un projet pluridisciplinaire dont l'objectif est la conception d'un logiciel à *base de connaissances* pour permettre à des étudiants de l'enseignement scientifique d'acquérir des *savoir-faire* sur le *calcul des primitives*, par la *résolution de problèmes* et les *explications*. Ce projet est né de la rencontre de deux équipes. Les informaticiens chercheurs en EIAO à l'Université du Maine, travaillent sur un logiciel à base de connaissances qui résout des problèmes de calcul de primitives et donne des explications sur sa résolution. Les chercheurs en Didactique des mathématiques s'intéressent à l'enseignement explicite de méthodes, en particulier pour le calcul de primitives¹.

Le paragraphe 2 situe ELISE par rapport aux problématiques IA et Didactique. Le paragraphe 3 définit la méthodologie adoptée pour la conception d'ELISE. Le paragraphe 4 présente l'interaction étudiant/logiciel mise au point et testée auprès des utilisateurs. Le paragraphe 5 analyse les résultats de ces tests concernant les explications.

I. PROBLEMATIQUES

ELISE se situe à l'intersection de deux courants de recherche :

- les recherches en Intelligence Artificielle sur les systèmes à base de connaissances et particulièrement les *systèmes experts explicatifs* et leurs

¹ Les participants directs au projet ELISE sont :

- Martial Vivet qui a conçu et réalisé CAMELIA, a dirigé ce travail de recherche du point de vue Intelligence Artificielle ; il dirige au LIUM une équipe de recherche sur les nouvelles technologies de l'éducation ;
- Marc Rogalski (professeur à l'Université de Lille) qui a fourni l'analyse du domaine et a dirigé ce travail du point de vue de la didactique des mathématiques
- Elisabeth Carrière (LIUM) qui travaille sur la base de connaissances et le résolveur de problèmes ;
- Elisabeth Delozanne (LIUM) qui a conçu et réalisé les maquettes et les outils correspondants, organisé les séances de tests auprès des usagers et le dépouillement des résultats, proposé une analyse de ces résultats qui a ensuite été discutée par l'équipe, et enfin précisé les spécifications du système à partir de cette analyse remaniée ;
Plus ponctuellement, nous avons bénéficié des avis de d'Aline Robert (IREM de Paris 7) et de la réflexion des membres du groupe de travail Math et Méta (DIDIREM, LAFORIA, LIUM, LRI).

- applications à l'enseignement,
- les recherches en Psychologie Cognitive et en Didactique portant sur l'apprentissage des mathématiques par la résolution de problèmes, et particulièrement sur *l'enseignement explicite de méthodes*.

Dans ce paragraphe nous précisons les points de convergence entre ces courants sur lesquels s'appuie la collaboration pluridisciplinaire pour la conception d'ELISE.

1. Systèmes experts explicatifs

La problématique d'ELISE concernant les explications dans les systèmes experts, est issue d'un premier travail pour un DEA d'Intelligence Artificielle. Il s'agissait de doter le résolveur de problèmes CAMELIA (VIVET 1984) d'outils d'explications afin de l'utiliser comme module expert du tuteur intelligent AMALIA¹. Nous présentons d'abord ce travail, puis les différentes approches pour produire des explications dans les systèmes experts, avant d'exposer celle qui a été retenue pour le projet ELISE.

1) Produire des explications avec CAMELIA

CAMELIA est un résolveur de problèmes de calcul algébrique conçu pour établir des preuves et conduire des calculs symboliques en faisant appel à des algorithmes et à des heuristiques. Dans le cadre d'une utilisation pédagogique de CAMELIA, des outils d'explications ont été développés pour permettre au système de répondre à certaines questions de l'élève sur la résolution proposée par la machine. Ces outils travaillent sur la trace de résolution du système et fonctionnent en deux temps.

Le premier temps consiste à filtrer l'arbre de résolution en utilisant trois critères :

- le type de l'explication : *exposer la solution* (présenter la branche succès), *commenter la résolution* (présenter le brouillon, c'est-à-dire la démarche de recherche, y compris les tentatives infructueuses), et *justifier* (expliciter les raisons des choix effectués) ;
- le degré de détail souhaité : pas à pas ou les grandes étapes ;
- les thèmes à détailler ou à ne pas détailler.

Le deuxième temps consiste à traduire l'arbre compacté en langage "clair" pour l'élève.

¹ Cf. (VIVET 1987), (VIVET et al 1988), (CARRIERE et al 1990)

| | | |
|---|--|-------|
| CALCUL DE | $\text{prim}(x * \cos x) dx$ | |
| ESSAI DE | : INTEGRATION DE U*U' | ECHEC |
| APPLICATION DE : Produit d'un monôme et d'une fonction log, expo ou trigo | | |
| | x est un monôme en x | |
| | cos x est une fonction trigonométrique de x | |
| CALCUL DE | intégrer-par-parties (x* cos x) dx | |
| APPLICATION DE | : PRIM UV' = UV - PRIM U'V | |
| 1- | poser u = x et calculer sa dérivée u' | |
| | la dérivée de x est 1 | |
| 2- | poser v' = cos x et calculer sa primitive | |
| | $\text{prim}(\cos x) dx = \sin x$ | |
| 3- | chercher la primitive de u'v | |
| | $\text{prim}(\sin x) dx = -\cos x$ | |
| 4- | $uv - \text{prim} u'v = (\cos x) + x*(\sin x)$ | |
| RESULTAT | | |
| | $\text{integrer-par-parties}(x * \cos x) dx = (\cos x) + x * (\sin x)$ | |
| RESULTAT | | |
| | $\text{prim} x*(\cos x) dx = (\cos x) + x*(\sin x)$ | |

figure 1 : Exemple de résolution commentée par CAMELIA (copie d'écran)

Dans CAMELIA, les explications sont conçues comme des réponses apportées par le système à des questions de type "Comment ?" et "Pourquoi ?" posées par un élève après une résolution proposée par le système. Le raisonnement explicatif repose donc d'une part, sur les connaissances du système dans le domaine (trace de résolution et base de connaissance), et, d'autre part, sur des informations concernant l'élève et la session fournies au système explicateur par un (futur) module pédagogique.

Les limites de cette démarche sont de deux natures différentes (CARRIERE et al 1990) :

- la première concerne la représentation des connaissances du domaine pour obtenir un système expert explicatif,
- la deuxième concerne la pertinence des explications dans l'interaction.

2) Deux problématiques

La première de ces limitations est un problème bien repéré dans les recherches sur les systèmes experts explicatifs. De nombreux chercheurs en Intelligence Artificielle estiment que l'ajout d'un module d'explication à un système expert existant est un travail quasi impossible si la tâche d'explication (a fortiori d'enseignement) n'a pas été prise en compte dès la phase de conception du résolveur de problèmes.

Une difficulté particulière consiste à *identifier les connaissances stratégiques de résolution*, celles qui permettent qu'un système expert "raisonne sur son raisonnement" et en particulier les *métaconnaissances* qui permettent d'évoquer les connaissances, de faire des choix raisonnés et donc de justifier ces choix. En effet on ne trouve ces connaissances dans les manuels que de façons éparses et ponctuelles, et les experts du domaine les mentionnent incidemment en cours de résolution mais ne les énoncent pas spontanément et systématiquement. Or la qualité, la variété et l'organisation de ces connaissances sont tout à fait cruciales pour un système dont l'objectif est de s'expliquer et/ou d'enseigner. Les écueils à éviter dans la représentation de ces

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

connaissances pour un système expert explicatif sont de plusieurs ordres :

- éviter les critères informatiques qui n'expliquent rien à un humain,
- éviter les règles ad hoc trop spécifiques qui peuvent conduire à des généralisations abusives,
- éviter les heuristiques trop générales pour être utilisables.

Ces préoccupations de concepteurs de base de connaissances à la recherche de connaissances stratégiques nécessaires à l'explication¹, sont très voisines des préoccupations des didacticiens s'intéressant à l'enseignement explicite de méthodes².

La deuxième limitation se rapporte à la *pertinence des explications dans l'interaction homme-machine* en général et dans l'interaction avec un logiciel d'EIAO en particulier.

Dans les recherches sur les systèmes experts explicatifs, la préoccupation première a été de s'intéresser aux connaissances nécessaires pour produire des explications, à leur explicitation et à leur représentation, c'est-à-dire à développer les capacités d'explication des systèmes à base de connaissances. Depuis quelques années une préoccupation nouvelle retient l'attention des chercheurs : les utilisateurs, en particulier industriels, n'utilisent pas (ou utilisent très peu) les fonctionnalités explicatives des systèmes à base de connaissances. On peut envisager plusieurs raisons à ce comportement :

- les ordinateurs n'ont pas la réputation d'être conviviaux, et les utilisateurs ne demandent pas ce qu'ils ne pensent pas trouver,
- l'interaction avec une machine est dirigée vers des commandes plus que vers des explications,
- les explications présentées par les logiciels ne sont pas suffisamment pertinentes par rapport aux attentes de l'utilisateur.

Dans les recherches récentes, on s'intéresse maintenant beaucoup à la pertinence des explications, c'est-à-dire aux besoins des utilisateurs en matière d'explication. L'explication n'est plus conçue comme une réponse ponctuelle à des questions "Comment ?" et "Pourquoi ?" de l'utilisateur mais comme un discours du système, un dialogue entre deux systèmes de connaissances ou comme un processus émergent de l'interaction homme-machine lors de l'exécution d'une tâche commune (EXPLICATION 1991, 1992). Des études en collaboration avec des linguistes, des ergonomes et des psychologues sont menées pour modéliser les dialogues explicatifs, les stratégies de discours, étudier la place des explications dans l'interface. Mais on est encore très loin d'une théorie de l'explication.

Dans cette problématique, l'explication est ainsi située dans le cadre plus général de l'interaction homme-machine.

3) *ELISE, conception d'un système explicatif*

Le premier travail que nous avons mené pour construire des outils d'explication autour du résolveur de problèmes CAMELIA, nous a fait retenir trois points essentiels pour concevoir un système utilisable à des fins d'enseignement :

¹ Cf. (CLANCEY 1983), (KASSEL 1986), (VIVET 1987), (CARRIERE et DELOZANNE 1989), (CAUZINILLE 1991), (BRUILLARD 1991), (AUSSENAC 1989), (JIMENEZ 1990), (BOURI et al 1990)

² Cf. (SCHOENFELD 1985), (ROBERT et al 1987), (ROGALSKI 1989)

- 1/ prendre en compte la tâche d'explication dès la phase d'acquisition des connaissances,
- 2/ insérer les explications données par le système dans des scénarios d'interaction qui leur assurent une pertinence par rapport aux objectifs du système et de l'utilisateur.

Sur ces deux points un travail en commun didacticiens/informaticien nous est apparu comme une nécessité incontournable, et nous a amené à nous intéresser à l'apprentissage par la résolution de problèmes.

2. Apprentissage par la résolution de problèmes

Ainsi, le deuxième courant de recherche auquel se rattache ELISE, s'intéresse à l'apprentissage par la résolution de problèmes, et plus particulièrement à l'enseignement de méthodes.

1) Enseignement explicite de méthodes

Souvent en mathématiques, les étudiants sont censés apprendre en faisant de nombreux exercices d'application. Dans ces exercices, l'enseignant indique au passage les théorèmes à appliquer, la démarche à suivre, ponctuellement, il peut expliquer pourquoi ça marche, mais généralement, c'est à l'étudiant de le deviner.

"Pourquoi ne pas enseigner explicitement les méthodes qui, dans chaque domaine relativement limité, permettent d'amorcer la résolution de problèmes de ce domaine ? Ne serait-ce pas un moyen de combler un manque évident de l'enseignement, de le rendre plus efficace, de mieux dominer les concepts mathématiques en montrant explicitement comment ils servent ? " (ROGALSKI 1990).

Mais qu'est-ce qu'une méthode?

"Une méthode ou un ensemble de méthodes sur un champ donné est la description d'un ensemble d'activités du sujet, portant sur l'analyse et le classement de problèmes à résoudre dans un domaine assez précis, l'utilisation des outils et techniques disponibles, les stratégies et tactiques possibles, la gestion dans le temps des choix des stratégies et de leur déroulement, la conscience de ces choix, les moyens de contrôle et de retour en arrière pour procéder à d'autres choix...

Un algorithme produit une réponse, une méthode fournit des questions : quoi, pourquoi, comment, par quels moyens... et donne des outils pour générer et contrôler la recherche des réponses" (ROGALSKI 1990).

2) ELISE, un logiciel pour donner des leçons de méthodes

Une méthode est ainsi *un outil d'organisation du travail de résolution* basée sur un *classement des problèmes* et sur un *classement des outils de résolution*, ce classement étant justifié par les propriétés des objets manipulés.

A ce titre, une méthode nous intéresse, nous concepteurs de logiciel d'EIAO, pour *la construction d'une base de connaissances plus explicative* :

- le domaine est structuré par la méthode,
- la méthode contient de nombreuses informations pour évoquer les outils et les évaluer sans passer par des évaluations numériques difficilement explicables,
- la méthode exprime les connaissances stratégiques propres au domaine ; en particulier elle explicite les classes de problèmes et propose des justifications -basées sur les propriétés des objets manipulées- pour les démarches de résolution associées.

Or l'explicitation de ces métaconnaissances est essentielle pour les explications

(Cf. § 2.1) et constitue ainsi une préoccupation commune aux deux disciplines IA et Didactique. Mais, l'enseignement explicite de méthodes nous intéresse également comme *stratégie d'enseignement adaptée au domaine et au public cible*. Dans le domaine qui nous concerne, l'enseignement explicite de méthodes nous fournit les analyses didactiques préalables à la conception du logiciel :

- analyse cognitive et didactique des connaissances de référence (la méthode)
- analyse du public cible et des difficultés usuelles (difficultés liées au contrôle de la résolution davantage que difficultés sur les techniques),
- analyses des connaissances prérequis (connaissances de base et connaissances techniques),
- définition des objectifs d'enseignement qui sont ceux de l'enseignement explicite de méthodes (Cf. (ROBERT et al 1987), (ROGALSKI 1990)) et plus précisément
 - entraîner à la méthode (pas au calcul),
 - rendre opérationnelles des connaissances étudiées en cours sur des exercices pas trop simples (différence avec le rituel des exercices d'application),
 - inciter à anticiper,
 - susciter un questionnement.

Cette stratégie définit un contexte d'utilisation intéressant pour un logiciel d'EIAO qui permet de dépasser les limites des logiciels "exerciceurs" qui entraînent les apprenants à appliquer localement des techniques. Le rôle du logiciel est de *donner des leçons de méthodes* c'est-à-dire d'*inciter à la réflexion sur les choix* faits et à faire au cours d'une résolution, de *guider cette réflexion* par des *principes de classification des problèmes et des outils*. Pour la définition des interactions étudiants/logiciel, on peut résumer le point de vue des didacticiens de l'équipe en quatre slogans :

- donnez aux étudiants l'occasion d'agir,
- incitez-les à anticiper, à se poser des questions, à appliquer la méthode,
- ne donnez pas trop de détails,
- ne résolvez pas le problème à la place des étudiants.

3) Pertinence des explications

Dans le cadre d'une interaction avec un logiciel d'EIAO, il faut s'interroger sur le rôle des explications dans l'apprentissage par la résolution de problèmes. Or, il apparaît que peu de didacticiens se sont intéressés à l'heure actuelle aux explications¹. Pire, ils sont très méfiants quant aux explications : tout enseignant a pu constater que "montrer" une explication aussi bonne soit-elle, à un élève qui la "reçoit", ne suffit pas pour "transmettre" une connaissance à cet élève. Cette conception de l'apprentissage sur un modèle transmission-réception est considérée comme assez souvent inefficace par les chercheurs en Didactique et en sciences de l'éducation qui lui préfèrent une conception où les activités de l'apprenant sont déterminantes.

Dans cette optique, pour construire un logiciel qui enseigne à partir d'explications, il faut répondre à des questions portant sur le rôle des explications dans l'apprentissage :

- Quelle est l'activité de l'élève quand le système "expose", "commente" ou

¹ Suite à un questionnaire de l'EIAO, se penchent actuellement sur ce problème des didacticiens des Mathématiques (Nicolas Balacheff (BALACHEFF 1990 a et b) et Marc ROGALSKI) et de la Physique (Marie-Geneviève Séré et Annick Weil Barais (Explication 1990))

"justifie" ses propres résolutions ?

- Pour l'élève, regarder une solution détaillée, regarder un système chercher, regarder une justification, est-ce source d'apprentissage ?
- Un logiciel qui résout les exercices à la place des étudiants est-il beaucoup plus utile qu'un livre d'exercices corrigés, et si oui à quelles conditions ?

Cette problématique place l'interaction au cœur de l'apprentissage et les explications ne sont alors pertinentes que si elles interviennent dans le cadre de scénarios d'interaction précis (de "situations didactiques?") mis au point pour faciliter l'apprentissage d'un champ de connaissance donné dans un contexte précis.

Sur ce point encore, on retrouve une certaine convergence entre les problématiques de certains chercheurs en IA et en Didactique.

Nous avons ainsi structuré les interactions logiciel/étudiants autour de ce que nous avons appelé des "**situations d'interaction**" qui sont caractérisées par les objectifs respectifs du système et des étudiants, une tâche, des stratégies à mobiliser pour effectuer cette tâche, des actions des étudiants à l'interface pour mettre en œuvre ces stratégies ou demander de l'aide, enfin, les rétroactions du système (dont des interventions explicatives). Pour reprendre la terminologie d'E. Cauzinille (CAUZINILLE 1991), les situations d'interaction mettent en œuvre une *stratégie d'appropriation* par l'apprenant des connaissances à expliquer et pas seulement une *stratégie de présentation* de ces connaissances. Marc Rogalski (ROGALSKI 1992) parle de "situations explicatives" ou de "moments explicatifs d'une situation didactique donnée".

Les situations d'interaction mises au point dans ELISE sont présentées au §4. Ces situations sont spécifiques à ELISE, mais la conception de l'explication comme processus émergent de l'interaction entre l'apprenant et des situations spécialement conçues pour favoriser un apprentissage donné, nous semble une conception assez générale pour être transposables à d'autres systèmes en EIAO.

II. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

De notre point de vue, d'une part la collaboration pluridisciplinaire et, d'autre part l'absence de théorie de l'interaction en EIAO imposent une démarche itérative de conception. La figure 2 représente les différentes étapes de cette démarche. Nous présentons les modalités de collaboration que nous avons adoptées pour le projet ELISE, en précisant, à chaque étape de la démarche de conception, le rôle de chaque discipline et en insistant sur les résultats concernant la base de connaissances et les explications.

La collaboration s'est organisée autour de quatre axes :

- un système à base de connaissances résolvant les problèmes sur le domaine, CAMELIA qui a servi de premier prototype au projet¹,
- un cours polycopié qui expose aux étudiants une méthode de résolution de problèmes du domaine,

¹ CAMELIA résout les problèmes du domaine mais sans appliquer systématiquement la méthode.

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

- des maquettes simulant le comportement du logiciel à construire pour mettre au point les interactions et expliciter les connaissances nécessaires,
- des séances de tests auprès des utilisateurs.

Les paragraphes qui suivent présentent les trois derniers axes, sans revenir sur le travail pour CAMELIA qui a servi à définir la problématique d'ELISE.(§ 2.2.1).

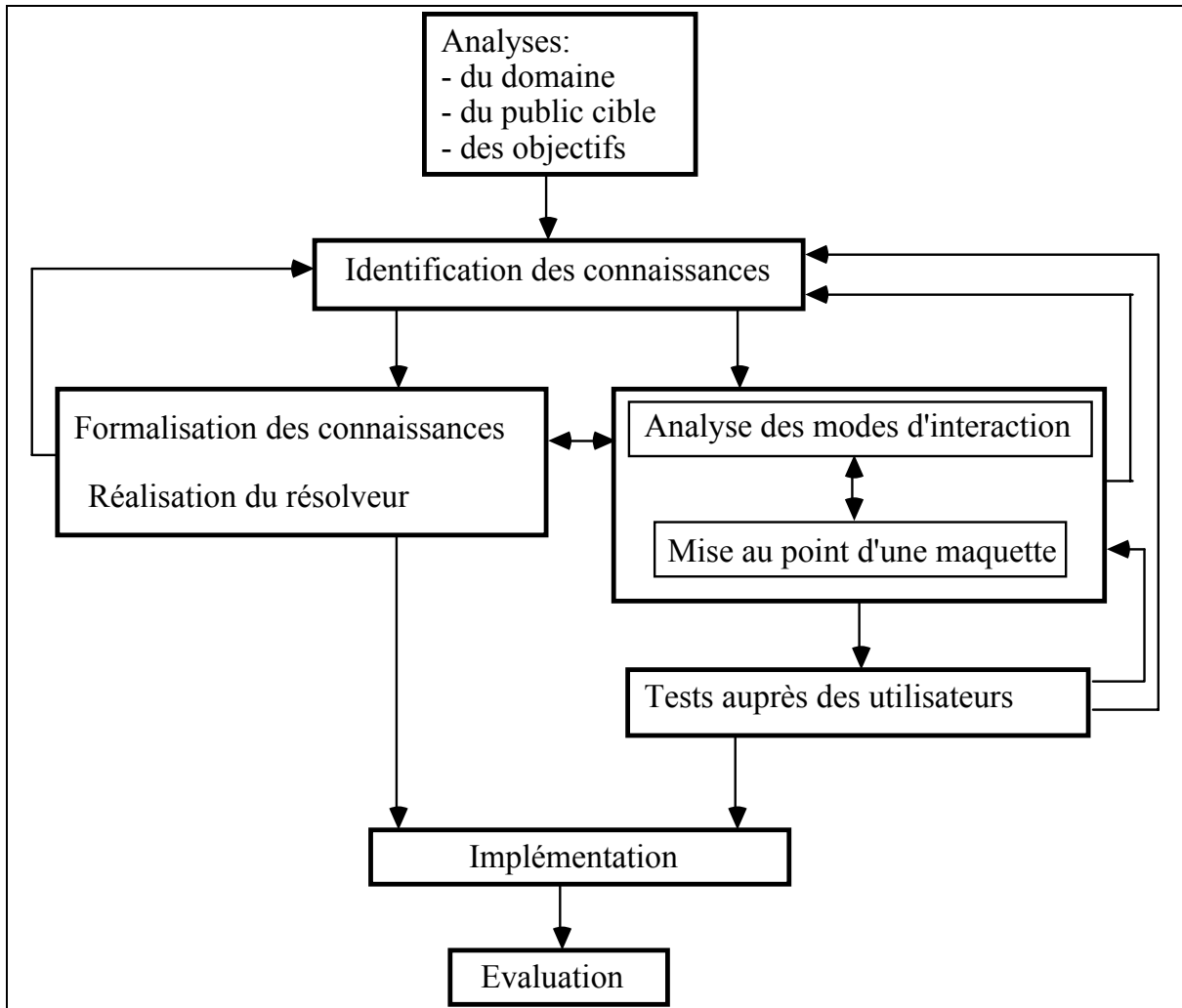


figure 2 : Démarche de conception d'ELISE

1. La méthode de recherche de primitives

La connaissance de référence figure dans un *cours photocopié* qui expose à un public étudiant, une méthode pour rechercher des primitives. Cette méthode, mise au point par Marc Rogalski (ROGALSKI 1988), est enseignée depuis quelques années à des étudiants de première année de l'enseignement universitaire scientifique (DEUG A). Elle s'inspire en partie d'une méthode utilisée par Schoenfeld (SCHOENFELD 1985). Cette méthode structure les connaissances pour résoudre des problèmes du domaine en stratégies, tactiques, techniques et résultats connus.

Recherches en Didactique des Mathématiques

La méthode propose trois **stratégies** :

- la *simplification* reposant sur un classement des outils,
- la *classification* reposant sur un classement des problèmes,
- des *stratégies complémentaires* (récurrence ou identification polynomiale) proposant des techniques spécifiques pour certaines classes de problèmes.

Chaque stratégie donne lieu à plusieurs **tactiques** suggérant des démarches de résolution à tenter dans certaines situations. Ces tactiques s'appuient sur trois **techniques** principales de calcul qui sont l'intégration par parties, le changement de variable et la décomposition des fractions rationnelles. Enfin, il est essentiel de **savoir par coeur** les primitives d'un certain nombre de fonctions usuelles.

Par exemple :

dans la *stratégie de classification*, à la *classe de problèmes (tactique)* "Fractions rationnelles en sin, cos, tg", est associée une *démarche de résolution* (changement de variable $t = \text{tg } x/2$) et un *objectif* (pour se ramener à une fraction rationnelle). La tactique précise que, sur certains cas particuliers, on peut utiliser des changements de variable ($t = \text{tg } x$, $t = \cos x$, $t = \sin x$) qui donnent lieu à des calculs plus simples.

A partir de ce polycopié et du travail sur CAMELIA, nous avons élaboré une base de connaissances (papier) organisée en quatre niveaux (CARRIERE et DELOZANNE 1990), (DELOZANNE 1992) :

- niveau 1, *les connaissances de base* (les résultats connus et les connaissances de calcul algébrique),
- niveau 2, *les connaissances opératoires*, c'est-à-dire les connaissances techniques de la méthode (intégration par parties, changement de variable, décomposition d'une fraction rationnelle en éléments simples),
- niveau 3, *les connaissances stratégiques propres au domaine*, c'est-à-dire les tactiques de la méthode (démarche type associées à des classes de fonctions, conditions favorables pour l'utilisation des techniques),
- niveau 4, *les connaissances générales de contrôle* de la résolution (par exemple, privilégier une démarche sûre, ne pas défaire ce que l'on vient de faire).

Cette base de connaissances papier est une première formalisation en amont de la représentation informatique. Elle sert de base de référence pour la mise au point des situations d'interaction et la mise au point des situations d'interaction pesant sur un résolveur de problèmes informatique qui mettrait en œuvre la méthode et qui reste à construire.

Connaissances de niveau 3

STRATEGIE : simplification
TACTIQUE : simplifier un produit de fonctions dissemblables par Intégration par Parties

UTILISATION1 : (objectif : se ramener à une primitive plus simple ...)

UTILISATION2 :
OBJECTIF : Retrouver la fonction de départ
PRINCIPE :
Avec des sin ou cos ou sh ou ch, on peut retrouver la fonction de départ après 2 IPP, et trouver une relation vérifiée par la primitive cherchée

JUSTIFICATION :
On joue sur le fait que sin et cos, sh, ch sont stables par 2 dérivations ou intégrations (à une constante multiplicative près)

CONTROLE

ENTREE :

CONDITIONS : produit dont un facteur est sin, cos, ch, sh
DEMARCHE : 2 IPP successives
SORTIE : une relation permettant de calculer la primitive de départ
SURETE : démarche sûre avec des sin et cos; dépend des coefficients avec des sh et ch

EXEMPLES : $\int \sin x \cdot e^x dx$, $\int \operatorname{ch} 2x \cdot \cos x dx$, $\int \operatorname{sh} 3x \cdot e^x dx$, $\int \operatorname{ch} 2x \cdot \operatorname{sh} x dx$
CONTRE-EXEMPLES : $\int \operatorname{sh} x \cdot e^x dx$, $\int \operatorname{ch} x \cdot \operatorname{sh} x dx$
...

figure 3 : extrait de la base de connaissances

2. La réalisation de maquettes

La construction de *maquettes successives*, simulant le fonctionnement d'ELISE à partir des spécifications obtenues à l'étape précédente permet de définir des situations d'interaction pour atteindre les objectifs d'enseignement déterminés avec les didacticiens.

Le rôle de ces maquettes est très important dans la collaboration interdisciplinaire. Elles aident à une meilleure compréhension entre les informaticiens et les didacticiens en concrétisant les différents points de vue, et en leur permettant d'évoluer. Les informaticiens proposent des maquettes, les didacticiens les font fonctionner, les étudient, les discutent, proposent des idées.

En ce qui concerne la construction des scénarios d'interaction, les didacticiens dans la démarche d'"*ingénierie didactique*" (ARTIGUE 1988) sont habitués à spécifier des situations, mais pas de façon aussi détaillée que ne l'exige un cahier des charges informatique. De plus, l'utilisation pédagogique de l'informatique étant encore embryonnaire, les didacticiens ne disposent ni de la théorie ni de l'expérience pour définir a priori des scénarios d'interaction avec un logiciel. La construction de maquettes est ainsi un moyen "d'élucider" les connaissances des didacticiens en matière d'interaction explicative.

C'est donc au concepteur informaticien de proposer de tels scénarios, les méthodologies d'ingénierie mises au point par les didacticiens servant de guide à leur conception.

3. L'organisation de tests auprès des utilisateurs

L'interaction entre un système informatique et un utilisateur est encore un domaine de recherche. En l'absence de théorie, *les séances de tests auprès des utilisateurs sont une nécessité dans la phase d'étude et de mise au point d'un logiciel* (COUTAZ 1991), (DIENG 1990), (PAQUETTE 1991), (ROGALSKI 1992).

En ce qui concerne le projet ELISE, la maquette de l'interface qui a été testée, a été réalisée sur HyperCard. Elle a été appelée HYPER-ELISE et tourne sur Macintosh.

Pour la conception des séances de tests, le recueil des données et leur exploitation, là encore, les concepts, les méthodes et l'expérience des didacticiens ont servi de guide, en particulier les conseils de "vigilance indispensable à garder pour ne pas oublier de relativiser les résultats compte tenu des conditions de production (des données) (ROBERT 1992)". Sur ce terrain à nouveau, la Didactique apporte un questionnement et un savoir-faire fructueux pour l'EIAO.

Pour le projet ELISE, ces séances avaient pour objectifs :

- d'analyser le fonctionnement des étudiants dans les situations,
- de mettre au point les aides et explications,
- de corriger les défauts flagrants,
- de pointer les distorsions, les difficultés rencontrées par les utilisateurs,
- d'étudier et définir les paramétrages à prévoir.

Il s'agit donc d'une étude qualitative de l'interaction, pas d'études statistiques de l'influence du logiciel sur les performances des utilisateurs. Ces tests sont considérés comme une *évaluation formative* du logiciel et non comme une évaluation finale d'un produit. Les tests ont été organisés d'une part auprès des utilisateurs finaux d'ELISE que sont les étudiants et, d'autre part, auprès des responsables du contexte d'utilisation que sont les enseignants. Nous présentons ici la conception des séances de tests, le recueil des données et leur exploitation. Les résultats sont résumés lors de la présentation des situations au paragraphe 4.

1) Les contextes de l'expérimentation

Etant donné l'objectif du projet qui consiste à *spécifier un outil s'insérant dans un dispositif d'enseignement*, il nous semble important de tester le logiciel dans de réels contextes d'enseignement. L'expérimentation a été organisée, pendant les horaires usuels d'enseignement, sur 30 étudiants de DEUG A1 de deux universités différentes pour varier les contextes d'utilisation.

Les distinctions les plus significatives entre ces deux séances de tests portent sur l'enseignement préalable et le contrat de classe lors de ces tests.

Dans les deux cas, la maquette HYPER-ELISE a été testée après un cours :

- à Lille, le cours dispensé par Marc Rogalski se situe dans le cadre d'un enseignement explicite de méthodes et le polycopié qui a servi de base à la conception d'ELISE a été distribué aux étudiants une semaine auparavant ;
- au Mans, un polycopié sur le calcul de primitives a été distribué aux étudiants la veille de l'expérimentation ; le cours, suivi de sept heures de TD, portait sur les techniques et ne comprenait pas d'enseignement de méthodes.

Les différences de contrat ont masqué en grande partie les différences portant sur

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

le type d'enseignement précédent l'utilisation d'HYPER-ELISE :

- à Lille, les étudiants pensaient faire une séance ordinaire de TP de mathématiques sur ordinateur : ils ont peu exploré, peu posé de questions, ont donné l'impression de vouloir résoudre les exercices proposés et, pour certains, apprendre à partir de leurs résolutions ;
- au Mans, les étudiants ont accepté de se rendre exceptionnellement en salle d'informatique pendant un TD de mathématiques pour tester un logiciel : ils ont exploré, débogué, critiqué, donné leur avis, mais se sont (dans l'ensemble) peu engagés dans la résolution des exercices.

Pour cette raison quand nous nous intéressons au fonctionnement mathématique des étudiants sur les situations, nous nous appuyons surtout sur l'analyse des résultats des groupes de Lille.

2) *Le recueil et l'analyse des données*

Pour réaliser ces tests, nous avons retenu plusieurs capteurs d'informations.

a) *mémorisation des actions des étudiants à l'interface*

La maquette contient un "*mouchard*" qui garde la trace des actions des étudiants sur le logiciel. Cette trace permet de rejouer les sessions et donne des indications sur le temps passé entre deux actions. En analysant ces traces, on obtient donc les *scénarios d'utilisation du logiciel* par les différents groupes. L'analyse des traces est faite en partie automatiquement (élagage et reformulation en langage clair¹, calcul des temps passés sur chaque situation).

Par contre, les intentions des étudiants sont parfois difficiles ou impossibles à déterminer ou même à deviner en étudiant la seule trace. En particulier, on peut constater qu'ils ont rencontrés une difficulté, mais on ne comprend pas toujours laquelle. C'est un problème bien connu de toutes les personnes qui essaient de comprendre le comportement de l'utilisateur à partir d'une trace de ses actions ((PY 1991), (BALACHEFF 1991)). D'autres sources d'informations sont donc nécessaires.

b) *questionnaire*

Un *questionnaire* rempli par les étudiants en fin de séance contient des questions ouvertes et fermées. Ce questionnaire comporte deux parties :

- la première concerne l'utilisation du logiciel ; les questions portent sur l'ergonomie, le contenu mathématique, les difficultés rencontrées, la comparaison avec d'autres moyens d'enseignement (livre d'exercices, séance de travaux dirigés, leçon particulière), les points forts et points faibles du logiciel,
- la deuxième partie demande à l'étudiant des renseignements plus personnels concernant l'enseignement préalable sur le domaine, ou son degré de familiarisation avec l'informatique.

Les questionnaires sont un moyen d'obtenir des informations sur l'avis général des utilisateurs concernant le logiciel et son utilisation. C'est un moyen économique (ils sont faciles et rapides à dépouiller) pour établir des *comparaisons entre les*

¹ Enfin presque !

groupes, en particulier par l'intermédiaire des réponses aux questions fermées. Les questions ouvertes peuvent apporter des informations plus précises, mais les réponses sont parfois lapidaires ou difficiles à interpréter.

c) enregistrement audio

Les étudiants ont été placés *par groupe de deux* afin de pouvoir *enregistrer leurs réactions verbales sur cassette audio* ¹. Au niveau du décryptage des cassettes, nous avons rencontré une difficulté ² : souvent, on ne peut pas distinguer les voix des intervenants. Nous ne pouvons donc mettre en évidence les tours de parole, et, dans l'analyse des corpus, nous considérons les deux étudiants comme un binôme. Cet inconvénient pourrait être évité en enregistrant un groupe mixte.

Ces enregistrements donnent une idée plus précise sur les réactions des étudiants aux explications et aux différents types d'interaction (et même au questionnaire). *Ils permettent de mieux comprendre les parcours des étudiants, les difficultés qu'ils ont rencontrées et même leur façon d'utiliser le logiciel.*

Nous avons enregistré deux groupes d'étudiants à Lille. Nous regrettons a posteriori de ne pas en avoir enregistré davantage, spécialement pour l'étude de l'impact des explications. Ceci aurait cependant posé d'autres problèmes : décrypter une cassette et analyser les enregistrements sont des activités extrêmement coûteuses en temps. De plus la grille d'analyse des enregistrements est extrêmement difficile à mettre au point ((ROBERT 1992), (CAUZINILLE et MELOT 1992)). Après des essais infructueux de codage, nous nous sommes intéressées, dans les corpus, aux difficultés rencontrées par les étudiants, à leurs demandes d'explication, aux réactions aux explications imposées, et à tout ce qui avant ou après permet de proposer une (ou plusieurs) interprétation(s) du fonctionnement des étudiants qui colle avec les difficultés rencontrées ou avec les réactions étudiées. C'est un exercice qui sort de la compétence des informaticiens mais qui demande de la part des didacticiens une excellente connaissance du logiciel et des problèmes de communication homme/machine. Ce travail nécessite de plus des discussions pour valider les interprétations proposées. Il est donc nécessairement pluridisciplinaire.

d) post-test

Un post-test sur des exercices comparables a permis d'évaluer le niveau des étudiants et d'étudier leurs difficultés éventuelles. Ces post-tests ne sont pas conçus pour discerner l'influence du travail avec la maquette sur les performances des étudiants. Rappelons que les tests ont pour objectif la conception du logiciel, pas son évaluation.

e) observateurs

Des observateurs ont assisté aux séances. On sait que le rôle des observateurs peut être déterminant sur le résultat des tests. Dans les expérimentations que nous avons menées, leur rôle a varié selon le contrat passé avec les étudiants. Ils ont été très sollicités au Mans pour recueillir l'avis des étudiants qui testaient le logiciel et très peu

¹ Par ailleurs, le travail par groupe de deux, fonctionnement habituel dans les séances de travaux pratiques, paraît être un facteur de discussion, de confrontation des savoirs et donc favorise l'apprentissage.

² Cette difficulté est également mentionnée par Isabelle Tenaud (TENAUD 1991)

à Lille où les étudiants travaillaient sur un TP de Math.

f) grilles d'analyse

Deux grilles d'analyse ont été adoptées pour étudier les résultats, une grille longitudinale qui consiste à suivre chacun des groupes d'étudiants, et une grille transversale qui consiste à comparer les différents groupes. Pour chacune des deux grilles, les informations provenant de l'analyse du mouchard (M) sont complétées par des informations provenant de l'enregistrement audio (K7), du questionnaire (Q), de l'observation (O) ou du post-test (T).

3) Tests auprès des enseignants

Les objectifs de ces tests étaient :

- d'observer éventuellement des phénomènes de rejet d'une méthode élaborée par un autre enseignant et de les étudier,
- de recueillir des avis, d'effectuer les corrections et mises au point en prenant l'avis d'un autre groupe d'utilisateurs,
- d'étudier les possibilités d'utilisation réelle dans l'enseignement

La maquette a été diffusée auprès d'une vingtaine d'enseignants du premier cycle universitaire, en joignant un document présentant le projet, un mode d'emploi et d'installation de la maquette ainsi qu'un questionnaire voisin de celui adressé aux étudiants. Huit réponses nous sont parvenues. Une des réponses contient un "journal de bord" qui a été rédigé spontanément et donne des indications précieuses sur les difficultés rencontrées et les réactions de cette enseignante-didacticienne aux explications affichées.

4. Répartition des rôles

Le dépouillement des résultats des tests a été effectué par les informaticiens qui en ont proposé une analyse. Cette analyse a été ensuite discutée et reprise avec les didacticiens.

Pour résumer, dans cette collaboration interdisciplinaire, le rôle des didacticiens consiste à fournir l'analyse cognitive du domaine, les objectifs d'enseignement, des méthodes et une expérience pour l'organisation et l'analyse des tests et enfin un questionnement sur la pertinence des situations proposées, conçues, réalisées par les informaticiens.

III. LES SITUATIONS D'INTERACTION

Les analyses préalables ont conduit à faire des choix concernant le type de logiciel et le mode de communication (Cf. (DELOZANNE 1992)). En résumé, les options suivantes ont été retenues :

- ELISE est un environnement d'apprentissage où les étudiants, *par groupe de deux, ont une assez grande autonomie de travail et l'initiative de l'interaction* ; ce n'est pas un tuteur qui décide de ce que l'étudiant doit faire ou ne pas faire, mais un outil aux mains des étudiants ; *le logiciel offre des fonctionnalités aux étudiants qui choisissent de les utiliser ou de ne pas les utiliser* ;
- son utilisation est associée à tout un contexte d'enseignement ; pour s'assurer des prérequis nécessaires, il doit être utilisé après un cours, après avoir travaillé en TD pour acquérir les habiletés techniques, et après avoir étudié un minimum le

- polycopié ; ce n'est donc pas un kit d'autoformation, mais *un outil complémentaire qui apporte un plus par rapport à l'enseignement usuel* ;
- une part du travail avec ELISE se fait oralement avec le co-apprenant ou sur papier et ceci sans aucun contrôle du système ;
 - sur les exercices, les *étudiants ont la charge du contrôle de la résolution* et le *logiciel celui des calculs* ;
 - le mode de communication consiste pour les étudiants à faire des *choix dans des menus* ; ELISE affiche du texte en langue naturelle, du texte mathématique, des graphiques et des menus.

Nous avons distingué trois situations d'interaction : résolution en mode plan, résolution en mode pas-à-pas, et une vue générale sur les solutions "raisonnables" (c'est-à-dire qui correspondent à des tactiques de la méthode). Les deux premières situations proposent des *modes de résolution* de l'exercice ; la troisième propose un *bilan* sur l'exercice. C'est l'interaction avec ces trois situations sur plusieurs exercices qui fait entrer les étudiants dans un processus explicatif où ils ont un rôle actif.

Les paragraphes qui suivent décrivent les trois situations en donnant une présentation puis des observations suscitées chez les utilisateurs et les concepteurs, et enfin les spécifications que nous retenons pour le système ELISE.

1. Le mode Plan

a) présentation

Les *objectifs* sont ici d'inciter les étudiants à anticiper, à mettre en œuvre la méthode. La *tâche* proposée aux étudiants est d'établir un plan de résolution. Dans le langage proposé, un plan est une séquence de techniques.

The screenshot shows a software window titled 'Problème : Calculer $F(x) = \int (x^2 - 3x + 7) e^{-2x} dx$ '. On the left, under the heading 'Indiquez la première technique de votre plan', there is a list of seven techniques, each with a radio button: 'Intégration par parties', 'Changement de Variable', 'Linéarité de l'intégrale', 'Transformation', 'Equation', 'Identification', and 'Résultat Connu'. Below this list are two buttons: 'Fin' and 'Annuler le choix précédent'. On the right, under the heading 'Votre plan:', there is a large empty rectangular box for the student to write their plan. At the bottom of the window is a navigation bar with several icons: a printer, a stop sign, a hand cursor, an open book labeled 'Sommaire', a question mark, a left arrow, a page number '1' labeled 'lière page', a sun icon, and a hand cursor.

figure 4 : Résolution en mode plan

Pour effectuer la tâche les étudiants peuvent employer les *stratégies* suivantes :

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

- mettre en œuvre une des tactiques de la méthode, *anticiper* et traduire la tactique dans le langage ELISE,
- résoudre l'exercice sur papier et *résumer* leur résolution dans le langage proposé en dégagant les articulations importantes.

Les *actions des étudiants* sur le logiciel consistent à choisir les techniques dans l'ordre où elles doivent être appliquées pour résoudre l'exercice. Ils peuvent également demander de l'aide.

Les *réactions* du système consistent :

- à proposer, en cas de demande, une aide mathématique,
- à afficher - dans le tableau intitulé : votre plan - à chaque choix des étudiants, le numéro de l'étape et le nom de la technique choisie,
- à évaluer le choix des étudiants (sommairement),
- à éditer un commentaire sur la tactique envisagée.

L'aide mathématique (ou "*coups de pouce*") est conçue pour répondre à la question "comment démarrer?". L'objectif n'est pas de donner la solution mais d'amener les étudiants à un questionnement.

En cas de "mauvais" plan le commentaire est laconique : les étudiants sont invités à le corriger eux-mêmes en passant au mode pas-à-pas. En cas de succès, le commentaire donne le "principe" du plan : l'objectif est de conforter la tactique mise en jeu par les étudiants, d'en donner une formulation dans les termes du savoir de référence (fig. 5).

Problème : Calculer $F(x) = \int (x^2 - 3x + 7) e^{-2x} dx$

| | |
|--|--|
| <p>En effet, c'est un bon plan.</p> <p>On applique 2 Intégrations par parties successives pour</p> <ul style="list-style-type: none">- faire disparaître le polynôme par dérivation- se ramener au résultat connu: $\int e^{-2x} dx$ | <p>Votre plan:</p> <ol style="list-style-type: none">1) Intégration par parties2) Intégration par parties3) Résultat Connu |
|--|--|

STOP Sommaire ? 1 lière page

figure 5 : exemple de commentaires associés à un bon plan

b) observations

Cette situation offre un mode de résolution inhabituel en papier crayon et oblige à prendre du recul par rapport à l'application des techniques. Pendant les séances de tests, elle a été bien acceptée par les étudiants qui avaient une maîtrise suffisante des

techniques, et rejetée ou inutilisée par les étudiants dont le niveau était insuffisant. Elle a été utilisée par les étudiants de deux façons : pour résoudre l'exercice dans les grandes lignes en anticipant, ou bien pour résumer et avoir une correction après une résolution papier. Elle suscite un questionnement chez les étudiants qui l'ont utilisée. Elle semble donc *intéressante par rapport aux objectifs d'enseignement*.

Les "coups de pouce" n'ont jamais été utilisés, soit parce que les étudiants n'ont pas repéré cette fonctionnalité, soit qu'ils n'ont pas ressenti la nécessité de l'utiliser. En effet la situation permet de mettre en œuvre facilement une stratégie essais-erreurs en passant en mode pas-à-pas. Si, en fonction des objectifs d'enseignement, on estime intéressant que les étudiants consultent les coups de pouce, *il faut les inciter à les demander en modifiant la situation*.

Les difficultés rencontrées concernent le vocabulaire et l'expression des plans (Cf. (DELOZANNE 1992) pour une analyse détaillée). Les améliorations à apporter portent sur trois points :

- accepter des plans partiels et favoriser les allers retours entre le mode de résolution pas-à-pas et le mode plan,
- accepter plusieurs niveaux de granularité dans la description du plan,
- proposer des coups de pouce méthodiques en cas d'erreur.

c) spécifications pour ELISE

La situation de résolution en mode plan nécessite des connaissances complexes et peu fréquemment représentées dans les systèmes experts,

- *capacités de résolution* :

- anticiper la forme du résultat en utilisant des connaissances sur les outils et sur les objets manipulés,
- choisir entre les tactiques applicables avec des critères de choix explicites (et proches des critères humains),

- *capacités d'explication* :

- synthétiser un raisonnement pour n'en retenir que les étapes importantes (synthétiser),
- évaluer le choix d'une tactique (commenter),
- présenter les raisons qui guident cette évaluation (justifier par les traits caractéristiques de la classe de problèmes),
- donner la raison ou le principe de la démarche associée à la tactique (justifier par les propriétés des outils et des objets manipulés),
- donner des indices qui permettent aux humains de penser au(x) bon(s) choix et au système de les évoquer (coup de pouce).

2. Le mode Pas-à-pas

a) présentation

Les *objectifs* sont ici d'inciter à des choix raisonnés et de donner une correction de l'exercice. La *tâche à accomplir* est de choisir la technique applicable au problème courant (déterminer le prochain pas de résolution).

Pour effectuer la tâche les étudiants peuvent utiliser les *stratégies* suivantes :

- mettre en œuvre une des tactiques de la méthode, anticiper (raisonnement global) ;

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

- penser à une technique (vérification de ses conditions d'application) et
 - vouloir l'appliquer (voir ce que ça donne, raisonnement local) ;
 - vouloir un commentaire du système sur leur choix (évaluation de son intérêt, ou confirmation de l'évaluation de l'étudiant) ;
- poursuivre l'application d'une tactique qu'ils ont commencé à mettre en œuvre à une étape précédente (raisonnement global) ;
- résoudre l'exercice sur papier et vérifier leur résolution dans le langage proposé (correction) ;
- tester un plan refusé par le système pour obtenir des commentaires sur chacune des étapes (correction) ;
- essayer au hasard (par jeu, par incompetence ou par indifférence).

Les actions des étudiants consistent à choisir la technique retenue, ou, éventuellement, à demander de l'aide (de même type que pour le mode plan). Les réactions du système sont :

- proposer un coup de pouce en cas de demande,
- évaluer la réponse des étudiants,
- éditer un commentaire (sur demande),
- appliquer le choix (s'il est applicable) pour passer à l'étape suivante, ou demander un choix complémentaire.

Problème : **Calculer $F(x) = \int \sin(\text{Log } x) dx$**

*Considérons le **changement de variable**

$t = \text{Log } x$ donc $dt = 1/x dx$,

soit $x = e^t$ donc $dx = x dt = e^t dt$

∴ donc $F(x) = \int e^t \cdot \sin t dt$, avec $t = \text{Log } x$

** Sous-problème **Calculer $G(t) = \int e^t \sin t dt$**

Choisissez une technique

- Intégration par parties
- Changement de Variable
- Linéarité de l'intégrale
- Transformation
- Equation
- Identification
- Résultat Connu




figure 6 : mode de résolution pas-à-pas (choix d'une technique)

Les commentaires portant sur un bon choix de techniques présentent la tactique de la méthode qui recommande ce choix (Cf. annexe 1). Les commentaires portant sur un mauvais choix sont en général laconiques (par exemple : "Ne s'applique pas ici"); quelques fois, ils interprètent l'erreur et la mettent en évidence.

b) observations

C'est le mode de résolution qui a été le plus utilisé. Il est apprécié des étudiants pour son rôle de correcteur. Il est proche du papier crayon avec le gros avantage que le logiciel fait les calculs permettant ainsi d'étudier de nombreuses tactiques en peu de temps. On constate que, dans l'utilisation qui en a été faite, le choix raisonné l'emporte de loin sur les essais-erreurs.

Comme pour le mode plan, il n'y a eu aucune demande de coup de pouce et assez peu de demandes de commentaires sur le choix. Plusieurs raisons expliquent ce peu d'intérêt pour les commentaires, la principale semble de l'ordre de l'interaction : l'enjeu de la situation est de trouver la (ou une) solution. *C'est, pour l'étudiant, le succès d'une démarche qui la justifie. Demander une justification d'un autre niveau (liée à la méthode, c'est-à-dire se rapportant à un classement des fonctions ou des outils) est une exigence qui n'est pas du tout naturelle et constitue un changement dans le contrat habituel de résolution.*

Les améliorations à apporter sont :

- inciter à revenir au mode plan après un bon début de résolution ;
- proposer des coups de pouce méthodiques en cas de mauvais choix à la place de commentaires négatifs parfois "hasardeux"¹ ;
- modifier le contrat de résolution
 - 1/ en annonçant explicitement les objectifs d'ELISE sur le premier écran et sur le mode d'emploi : entraîner à la méthode ; travailler sur un exercice avec ELISE n'est pas seulement trouver des solutions, mais aussi faire des choix raisonnés et s'entraîner à une méthode,
 - 2/ en faisant formuler certains commentaires par les étudiants, les commentaires du système ayant alors un rôle de correcteur ou de base de discussion avec le co-apprenant,
 - 3/ en présentant le principe de la tactique suivie à la fin d'une résolution et non seulement le corrigé-type.

c) spécifications pour ELISE

La situation de résolution pas-à-pas repose sur les capacités de résolution et d'explication "classiques " dans les systèmes explicatifs,

- capacités de résolution :
 - appliquer un outil à un problème pour le transformer en un (ou des) problème équivalent,
 - choisir parmi les outils applicables avec des critères de choix explicites (et proches des critères humains),
- capacités d'explication :
 - présenter une étape de la solution (exposer),
 - évaluer le choix de chacun des outils (commenter),
 - présenter les raisons qui guident cette évaluation (justifier),
 - donner des indices qui permettent aux humains de penser au(x) bon(s) choix et au système de les évoquer (coup de pouce) (cette dernière capacité n'étant

¹ Dans ce cas, l'interprétation par le concepteur de l'intention de l'utilisateur n'est pas toujours pertinente. En IA, les explications négatives (réponses à des questions Pourquoi Pas?) constituent un problème particulièrement difficile ((SAFAR 1987), (JIMENEZ 1990))

pas vraiment classique).

3. Vue générale des solutions

a) présentation

Les *objectifs* ici sont :

- inciter à faire un bilan,
- prendre du recul par rapport à l'action,
- enrichir la panoplie de tactiques des étudiants,
- faire prendre conscience des choix effectués,
- permettre des comparaisons.

Les *données* consistent en un arbre présentant un résumé des différentes solutions "raisonnables". La *tâche à accomplir* est intellectuelle et implicite : c'est une tâche de réflexion. Les *actions* des étudiants sur le logiciel consistent en des demandes d'explications :

- demander des commentaires pour chacune des tactiques conduisant à une solution,
- demander un corrigé-type pour chacune de ces tactiques,
- demander des détails sur les résolutions en revenant au mode pas-à-pas sur une étape quelconque.

b) observations

Cette situation a été appréciée par les étudiants et par les enseignants. Elle est originale par rapport à l'enseignement usuel et intéressante par rapport aux objectifs d'enseignement. Les explications demandées concernent à une écrasante majorité chez les étudiants, les corrigés types et, chez les enseignants, les commentaires sur la tactique mise en œuvre.

Les améliorations à apporter visent d'une part à revoir la présentation de certains écrans (très chargés), et, d'autre part, dans l'optique de la modification du contrat de résolution (§ 4.2.b) à donner dans un premier temps le principe du plan comme correction de ce plan, le corrigé type n'étant accessible que dans un deuxième temps.

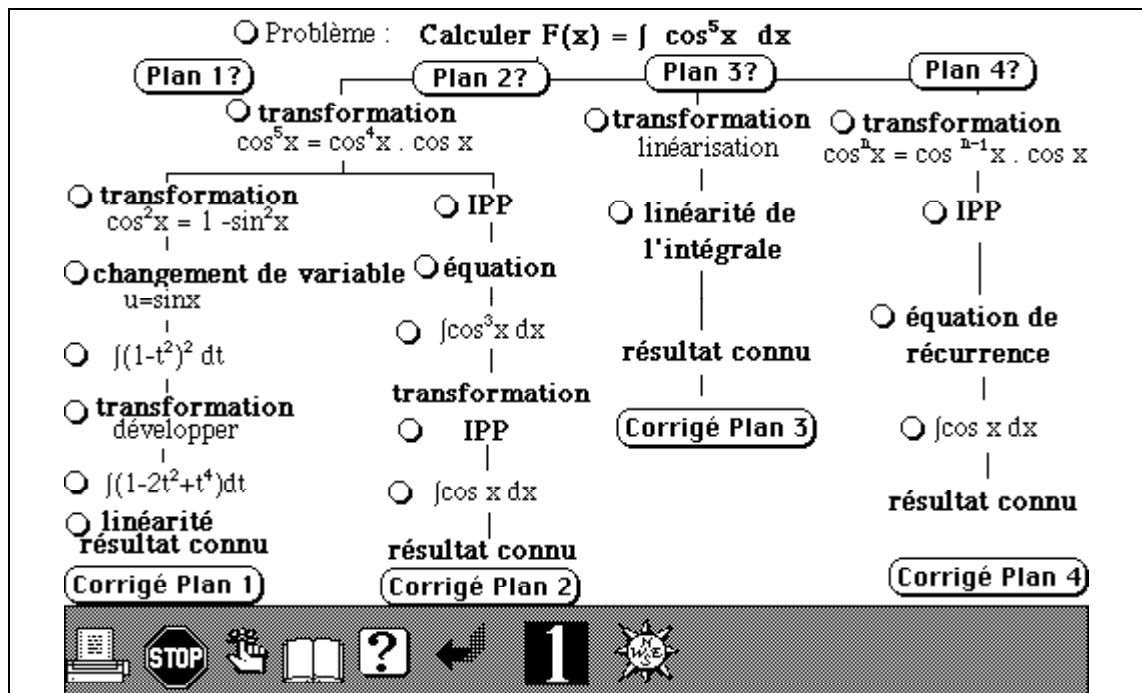


figure 7 : vue générale des solutions

c) spécifications pour ELISE

La situation *vue générale* nécessite, pour le résolveur de problèmes, les mêmes connaissances que le mode plan, mais une *capacité de résolution* supplémentaire : obtenir sur un même exercice plusieurs solutions raisonnables (i.e. obtenues par application de la méthode).

4. Scénarios d'utilisation et réactions générales

Les étudiants ont utilisé des scénarios très divers. Par exemple :

- 1) proposer un plan,
- 2) étudier le commentaire (en cas de réussite) ou le vérifier pas-à-pas (en cas d'échec),
- 3) étudier la vue générale sur les solutions,
- 4) étudier les corrigés types sur toutes les tactiques envisageables.

ou bien

- essayer un plan sur le premier exercice
- sur tous les autres
- 1) une solution pas-à-pas,
- 2) étudier vue générale
- 3) étudier des solutions différentes en pas-à-pas

Comme souvent dans ce genre d'expérience, les réactions des étudiants sont très favorables (pour une analyse plus détaillée, voir (DELOZANNE 1992)). Les points faibles signalés sont le nombre trop restreint d'exercices proposés et des problèmes de vocabulaire et d'expression. Les points forts du logiciel sont :

- le caractère "agréable" du travail sur le logiciel,
- la qualité des explications qu'il fournit,

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

- la clarté et le fait de présenter plusieurs solutions,
- le fait de pouvoir aborder un exercice de plusieurs façons et de donner des méthodes (à Lille seulement).

Quant aux enseignants, aucun ne rejette la méthode de référence qui est assez classique. Les enseignants souhaiteraient pouvoir utiliser HYPER-ELISE à condition qu'il soit développé et à condition que les étudiants puissent disposer du matériel informatique adéquat, ce qui semble rarement être le cas.

IV. BILAN SUR LES EXPLICATIONS

Les tests semblent valider l'hypothèse de considérer *l'explication en EIAO comme un processus explicatif défini par les situations d'interaction*. Les étudiants dans le questionnaire, ont massivement écrit qu'ils ont apprécié les "explications" de la maquette HYPER-ELISE. Pourtant ils ont semble-t-il peu regardé les messages explicatifs mis à leur disposition. On peut ainsi considérer que c'est bien l'ensemble de l'interaction qui est explicative, et non pas le seul contenu des messages explicatifs ponctuels. Enfin, *si l'on veut qu'un message soit considéré par l'utilisateur, il faut que son contenu soit un enjeu de l'interaction*. Dans le cas contraire, le message risque fort de ne pas être pris en considération par l'utilisateur.

Les paragraphes précédents ont décrit les situations d'interaction dans lesquelles interviennent les interventions explicatives, nous présentons dans les paragraphes suivants les résultats obtenus concernant les messages explicatifs.

1. Types d'explications

Dans les maquettes, en l'absence de résolveur, le concepteur a écrit au clavier toutes les résolutions et les messages explicatifs en s'inspirant "au maximum" du photocopié de référence. Différents *modes explicatifs*, liés aux objectifs d'enseignement ont été mis en évidence : *exposer une solution, commenter des choix, justifier des choix, évaluer des démarches, commenter des démarches, justifier des démarches, synthétiser un raisonnement, donner des indices pour démarrer*. Puis l'analyse de chaque message explicatif affiché a permis de déterminer et de typer la *nature des informations* qui le constituent. Ensuite, un retour sur la base de connaissances papier a été nécessaire pour typer ses éléments de la même façon, pour s'assurer que les informations affichées y sont présentes et pour éventuellement la compléter.

2. Formulation du message explicatif

On peut ainsi formuler les messages explicatifs (du type de ceux de la figure 8) de la même façon que ce qui a été implémenté pour CAMELIA, à partir :

- des informations sur la résolution (provenant de l'arbre de résolution),
- des caractéristiques du message souhaité correspondant aux attributs des objets de la base de connaissances,
- des valeurs des attributs de la base de connaissances.

Les mêmes informations peuvent être formulées différemment et seront peut-être perçues différemment. Nous ne nous sommes pas préoccupés de ce problème en nous contentant de définir des schémas de formulation pour chacun des types de messages répertoriés (voir Annexe 2).

| sur le sous-problème $\int e^t \sin t \, dt$, en mode pas-à-pas, sur le choix de l'intégration par parties le commentaire affiché peut être | |
|---|--|
| <i>le message</i> | <i>type de l'information</i> |
| "sur cette classe de fonctions en appliquant 2 fois l'intégration par parties on peut espérer retrouver la fonction de départ" | stratégie ou nature de la tactique plan associé à la tactique degré de certitude objectif |
| "on joue sur le fait que sin et exponentielle sont stables par deux dérivations et intégrations en appliquant 2 fois l'intégration par parties on peut espérer retrouver la fonction de départ " | principe de la tactique plan associé à la tactique degré de certitude objectif |

figure 8 : contenus possibles des messages explicatifs

3. Choix du message explicatif

Enfin, pour chacune des situations, nous avons défini des *contextes d'explication* caractérisés par :

- des informations sur l'étape de résolution (mode de résolution, profondeur de l'étape, type du sous-problème),
- le type du choix (bon, mauvais, bof¹)
- des informations sur le comportement des étudiants (parcours du logiciel déjà effectué...).

A partir des différentes formulations envisagées, nous avons essayé de définir des *stratégies d'explication* permettant de choisir parmi ces messages. Mais nous n'avons pas toujours su trouver des critères de choix (annexe 2).

Nous avons également étudié très attentivement les deux protocoles d'interaction enregistrés sur cassette audio pour essayer d'analyser les demandes d'explication et les effets des messages explicatifs sur les étudiants. Sur chacun des deux enregistrements nous ne disposions que d'une seule demande d'explication de la part des étudiants (les autres sont à l'initiative du système). Dans ces deux cas, les demandes surviennent à la suite d'une difficulté rencontrée par les étudiants et, ceux-ci trouvent dans le commentaire standard les informations qui leur permettent de surmonter leur difficulté. La compréhension automatique de ces difficultés nous semble hors de portée actuellement et ce pour plusieurs raisons :

¹ Un "bof choix" correspond à une technique localement applicable mais un ou plusieurs autres choix sont préconisés par la méthode.

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

- une étude attentive de l'enregistrement audio sur les minutes qui précèdent et qui suivent la question permet de comprendre la difficulté rencontrée ce que ne permet pas l'analyse de la seule trace des interactions obtenues à l'aide du mouchard ;
- si les didacticiens proposent des méthodes d'analyse de corpus, on ne dispose cependant pas d'expertise de diagnostic.

Ainsi, cette question du choix du message et des stratégies d'explication reste très ouverte.

4. Perspectives

Il serait souhaitable de faire une nouvelle expérimentation centrée sur les messages explicatifs. Plusieurs variantes expérimentales peuvent être envisagées (en particulier demander aux étudiants de formuler eux-mêmes les justifications), les objectifs de recherche étant :

- de recueillir des corpus plus nombreux pour analyser l'effet (à court terme) des explications sur les étudiants,
- d'essayer de cerner les principales préoccupations au moment où est donnée l'explication (mettre en évidence des questions standard dans certains contextes),
- d'étudier les auto-explications des étudiants pour tenter de dégager des profils d'utilisateurs
- définir des stratégies d'explication et des conditions d'application, en particulier enrichir les schémas explicatifs pour choisir quand donner l'explication ou quand proposer un changement de situation (étude d'un autre exercice ou passer en mode plan...).

V CONCLUSION

Ce texte présente le travail pluridisciplinaire qui a conduit à la conception d'Elise en mettant l'accent sur les apports de chaque discipline au sein de ce projet.

Au niveau de la base de connaissances du résolveur de problèmes, nous devons acquérir des connaissances complexes auprès d'experts. Nous avons mené un travail primordial d'élicitation des connaissances, mais la mise en œuvre informatique de la méthode reste à réaliser et nous n'en minimisons pas la difficulté (CARRIERE et DELOZANNE 1990). Au niveau des explications, nous avons mené une analyse des besoins des utilisateurs en travaillant sur des corpus recueillis dans le cadre d'une interaction homme-machine.

Le premier apport de ce travail est ainsi d'avoir entièrement spécifié un logiciel utilisable dans un réel contexte d'enseignement puisque les tests ont montré que les situations d'interaction mises au point étaient pertinentes par rapport aux objectifs d'enseignement.

Les situations d'interaction mises au point pour le projet ELISE sont spécifiques au champ de connaissances, mais la notion de situation d'interaction liée à la tâche et aux objectifs respectifs du système et de l'utilisateur nous semble un cadre assez général pour mettre au point une interaction homme/machine pertinente en EIAO.

Enfin la méthodologie de conception adoptée reposant sur l'élaboration de maquettes et sur l'analyse de tests auprès d'utilisateurs, nous semble intéressante, d'une

part comme outil de collaboration pluridisciplinaire, et d'autre part pour créer des systèmes d'EIAO utilisables dans des contextes d'enseignement réels.

BIBLIOGRAPHIE

- ARTIGUE M. (1988) *Ingénierie didactique*, Recherche en Didactique des Mathématiques, vol 9, n°2, p. 281-308, Grenoble, La Pensée Sauvage.
- AUSSENAC N. (1989) *Conception d'une méthodologie et d'un outil d'acquisition de connaissances expertes*, Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, Oct. 1989.
- BALACHEFF N. (1990a) *Problèmes de la construction d'une explication : aspects conceptuels et langagiers*, Revue d'Intelligence Artificielle, Revue d'Intelligence Artificielle, vol 4, n°2/1990, édition Hermès p. 149-160.
- BALACHEFF N. (1990b) *Nature et objet du raisonnement explicatif*, Actes du colloque : L'explication dans l'enseignement et l'EIAO, éditions Paris Onze, p 97-127.
- BALACHEFF N. (1991) *Contribution de la didactique et de l'épistémologie aux recherches en EIAO*, Actes des XIII^e Journées Francophones sur l'Informatique, Grenoble, IMAG p. 1-37.
- BARON M. (1982) *Un système pour exprimer et mettre en oeuvre des connaissances en manipulation formelle d'expressions*, Thèse de 3^{ème} cycle, Paris 6, Décembre 1982.
- BOURI M., DIENG R., KASSEL G., SAFAR B. (1990) *Vers des systèmes experts plus explicatifs*, Actes des 3^{èmes} journées nationales du PRC IA, Hermès, PARIS 1990, 340-355.
- BRUILLARD E. (1991) *EIAO et Mathématiques : une vision hypertexte des environnements d'apprentissage*, Thèse de l'Université du Maine.
- CARRIERE E. (1988) *Contribution à l'explication du raisonnement dans le système expert CAMELIA*, Rapport de DEA IARFARG, Université Paris 6.
- CARRIERE E., DELOZANNE E. (1989) *Niveaux de connaissances et phases d'apprentissage dans un tuteur intelligent*, Colloque d'Intelligence sur la Métaconnaissance, Le Mans, Septembre 1989, Cahier du Laforia n°77, p. 241-256.
- CARRIERE E., DELOZANNE E., VIVET M. (1990) *Des connaissances pour produire des explications dans un Tuteur Intelligent*, Revue d'Intelligence Artificielle, vol 4, n°2/1990, édition Hermès, p.113-124.
- CARRIERE E., DELOZANNE E. (1991a) *Modélisation des connaissances dans ELISE: tenir compte des objectifs d'enseignement*, Actes des Journées EIAO, PRC-IA, Editions de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, p. 105-120.
- CAUZINILLE-MARMECHE E. (1991) *Explications, guidages cognitifs et méta-cognitifs*, Actes du colloque : L'explication dans l'enseignement et l'EIAO, éditions Paris Onze p. 69-94.
- CAUZINILLE-MARMECHE E., MELOT A.-M. (1992) *Explications et apprentissage : l'analyse d'un dialogue tutoriel*, Actes des Deuxièmes Journées Explication du PRC-GDR-IA du CNRS, Sophia-Antipolis, juin 1992, p. 43-64.
- CHEVALLIER R. (1992) *Studia : mise en oeuvre d'un modèle dynamique de dialogue dans un Tuteur Intelligent*, Thèse de l'Université du Maine, Janvier 1992.
- Commission Inter-Irem Université, (1990) rédacteurs : ARTIGUE M., AUTHIER H., BESSOT D., DELALE A., GERMAIN G., JARRAUD P., LANIER D., LE GOFF J.P., LEGRAND M., ROBERT A., ROBINET J., ROGALSKI M., SACRE C., *Enseigner autrement les mathématiques en DEUG A première année*, bulletin Inter-Irem, 323 p.
- CLANCEY W.J. (1983) *The epistemology of a ruled-based expert system : a framework for explanation*, Artificial Intelligence, vol 20, 1983, p. 215-251.
- COUTAZ J. (1991) *Interfaces Homme-Machine un regard critique*, TSI, vol. 10, n°1.

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

- DELOZANNE E. (1988) *Des Outils d'explication en temps différé pour le système AMALIA*, Rapport de DEA IARFAG, Université Paris 6.
- DELOZANNE E., CARRIERE E. (1989) *Niveaux de connaissances dans un tuteur intelligent*, Actes des Journées EIAO, PRC-IA, Cachan, Décembre 1989, p. 89-98.
- DELOZANNE E., CARRIERE E. (1992) *Définir un processus explicatif, une étude de cas : la conception d'ELISE*, Actes des Deuxièmes Journées Explications du PRC-IA du CNRS, Sophia-Antipolis, Juin 1992, p. 185-208.
- DELOZANNE E. (1992) *Explications en EIAO Etude à partir d'ELISE, un logiciel pour s'entraîner à une méthode de calcul de primitives*, Thèse de l'Université du Maine, Janvier 1992.
- DIENG R. (1990) *Méthodes et outils d'acquisition des connaissances*, ERGO-IA '90, Biarritz.
- EIAO (1989), rédacteurs BARON M., NICAUD J.-F., Actes des premières journées EIAO de Cachan, Rapport du LAFORIA n° 31/90, Institut Blaise Pascal des universités Paris VI, Paris VII et CNRS, 340 p.
- EIAO (1991), rédacteurs BARON M., GRAS R., NICAUD J.-F., Actes des deuxièmes journées EIAO de Cachan, Les Editions de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 262 p.
- EXPLICATION (1991) rédacteurs SERE M.- G., WEIL-BARAIS A., Actes du colloque Esprit *L'explication dans l'enseignement et l'EIAO*, Edition Paris Onze, 260 p.
- EXPLICATION (1992) Actes des Deuxièmes Journées Explication du PRC-GDR-IA du CNRS, Sophia-Antipolis, juin 1992
- JIMENEZ C. (1990) *Sur l'explication dans les systèmes à base de règles : le système PROSE*, Thèse de l'Université Paris VI.
- KASSEL G. (1986) , *Le système d'explication CQFE, une forme de méta-raisonnement intégrant règles et objets*, Thèse de l'Université Paris XI.
- PAQUETTE G. (1991) *Métaconnaissance dans les environnements d'apprentissage*, Thèse de l'Université du Maine, Le Mans, Octobre 1991.
- PY D. (1991) *L'exploration de la démonstration dans le projet MENTONIEZH*, Actes des Journées EIAO, PRC-IA, Editions de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, p. 19-32.
- ROBERT A., ROGALSKI J., SAMURCAY R. (1987) *Enseigner des méthodes*, Cahier de Didactique des Mathématiques n° 38, Irem, Université Paris 7.
- ROBERT A. (1992) *Problèmes méthodologiques en didactique des mathématiques*, Recherches en Didactique des Mathématiques, vol. 12, n° 1, p.33-58.
- ROGALSKI Marc (1988) *Comment chercher une primitive? Question de méthode...*, Polycopié DEUG A1, Université des Sciences et Techniques de Lille.
- ROGALSKI Marc (1990) *Enseigner des méthodes en mathématiques.*, In Commission Inter-Irem Université, Enseigner autrement les mathématiques en DEUG A première année, bulletin Inter-Irem, p. 65-79.
- ROGALSKI Marc (1992) , ce numéro.
- SAFAR B. (1987) *Le problème des explications négatives dans les systèmes experts : le système POURQUOI-PAS?*, Thèse de l'Université Paris XI, Orsay, décembre 1987.
- SCHOENFELD A.H. (1985) *Mathematical Problem Solving*, Academic Press.
- SCHOENFELD A.H. (1991) SMITH P, ARCAVI A., *Learning*, In R. Glaser (Ed.), *Advances in Instructional Psychology* (Vol. 4), Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- TENAUD I. (1991) *Une expérience d'enseignement de la géométrie en Terminale C : enseignement de méthode et travail en petits groupes*, Thèse de l'Université Paris VII.
- VIVET M. (1984) *Expertise mathématique et informatique : CAMELIA, un logiciel pour raisonner et calculer*, Thèse d'Etat, Université Paris 6.

Recherches en Didactique des Mathématiques

VIVET M. (1987) *Systèmes experts pour enseigner : métaconnaissances et explications*, COGNITIVA 87.

VIVET M., DELOZANNE E., CARRIERE E. (1988) *Presentation of different aspects of AMALIA : a knowledge based tutor of mathematics*, Actes de l'Université Européenne sur les Tuteurs Intelligents, Le Mans, p. 155-170.

ANNEXE 1 : UN EXEMPLE DE DEMANDE DE COMMENTAIRE

1. Contexte (lié à la session)

Les étudiants ont fait une première résolution pas-à-pas en employant la tactique "changement de variable pour simplifier une fonction composée"(10 min). Puis ils ont demandé l'écran vue générale (1 min 40) où ils ont remarqué l'existence d'une solution par intégration par parties à laquelle ils n'avaient pas pensé. Ils décident de l'essayer pas-à-pas (4 min).

2. Extraits du corpus

Problème : Calculer $F(x) = \int \sin(\text{Log } x) dx$

1) L'intégration par parties s'applique si l'on considère l'intégrande sous la forme du produit de 1 et de $\sin(\text{Log } x)$.

2) en l'appliquant 2 fois de suite on peut espérer retrouver la fonction de départ .

- Intégration par parties
- Changement de Variable
- Linéarité de l'intégrale
- Transformation
- Equation
- Identification
- Résultat Connu

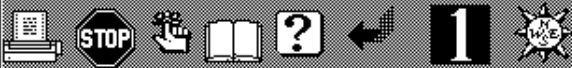
écran 1 : choix d'une technique en résolution pas-à-pas

- on va essayer en faisant l'autre¹
- tu n'es pas repassé par sommaire?
- alors intégration par parties
- (lecture) "En effet intégration par parties est envisageable ici voulez-vous l'appliquer?" oui
- un commentaire non?
- non attends
- on n'a qu'à prendre un commentaire
- commentaire, ouais
- (lecture) "L'intégration par parties s'applique si l'on considère l'intégrande sous la forme du produit de 1 et de $\sin(\text{Log } x)$ " de toutes façons on aurait fait ça hein?
(ne lisent, à haute voix tout au moins, que la première partie du commentaire)
- non, mais avec 1 il n'y a pas de problème
- ouais bon allez

¹ l'autre solution, celle à laquelle ils n'avaient pas pensé

Recherches en Didactique des Mathématiques

- (*lecture*) "intégration par parties..."

| |
|---|
| <p>Problème : Calculer $F(x) = \int \sin(\text{Log } x) dx$ * Posons: $\sin(\text{Log } x) = 1 \cdot \sin(\text{Log } x)$</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p>Pour appliquer l'intégration par parties, choisissez entre</p> <div style="border: 1px dashed black; border-radius: 15px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $u = 1$ et $dv = \sin(\text{Log } x)dx$ </div> <div style="border: 1px dashed black; border-radius: 15px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $u = \sin(\text{Log } x)$ et $dv = dx$ </div> </div> |
|  |
| <p><i>écran 2 : choix des facteurs d'une intégration par parties (pas-à-pas)</i></p> |

- pourquoi tu refais la même?
- alors intégration par parties on fait laquelle? on fait $= 1$ et $dv = \sin(\log x)$? ou...heu
- attends, alors $dv = 1$ (très bas, écrit en même temps?)
- ça c'est un bon truc n'empêche poser 1
- ouais, la première
- on prend 1, on prend $u = 1$,
- tu vas voir qu'on va se planter, vas-y
- non ils ont dit qu'il y avait des solutions
(lecture) "Réfléchissez, savez-vous calculer v ?"
- t'as vu tu t'es fait gauler! T'as vu dv l'expression que ça fait ? Je m'en doutais
- c'est la deuxième alors, clique!
- (marmonné) u en ce moment avec le commentaire e (rire)(????)
- c'est évident que l'autre choix il (marmonnements indistincts)
- ...

3. Interprétation

Demande d'explication suite à une difficulté rencontrée : il semble qu'ils n'ont pas compris *comment* l'intégration par parties est applicable puisque l'expression n'est pas écrite sous forme d'un produit.

Effet de l'explication : le message explicatif (écran 1) du système est en deux parties. La première partie répond à la question que se posent les étudiants et explique (en partie) **comment** appliquer l'intégration par parties. Les étudiants ne lisent pas la deuxième partie du message, ou en tout cas n'y prêtent pas attention. La suite (écran 2) prouve qu'ils n'ont pas compris pourquoi cette technique était intéressante. Il semble que la question ne se pose pas ("ils ont dit qu'il y avait des solutions", ce n'est pas leur solution, c'est celle du système). Par la suite, c'est seulement en choisissant le facteur de la deuxième intégration par parties (deux écrans plus loin) qu'ils mentionnent "on se retrouve avec $\sin(\text{Log } x)$ " et trouvent ainsi, a posteriori, la justification de cette tactique.

ANNEXE 2 : ELEMENTS POUR LE CHOIX D'UNE EXPLICATION

Contexte :

Rétroaction du système en cas de choix par les étudiants d'une "bonne" technique en résolution pas-à-pas

Stratégies possibles :

- 1- proposer à l'étudiant de résoudre en mode plan (quand la méthode propose un plan)
- 2- mode silencieux : i.e. pas de commentaire à l'initiative du système uniquement sur demande des étudiants
- 3- mode bavard : le système commente tous les choix importants des étudiants
- 4- mode question : le système demande aux étudiants de commenter tous leurs choix importants (ils peuvent comparer leur commentaire à celui du système)
- 5- si les étudiants ne sont pas satisfaits du commentaire du système en proposer un autre, ou leur donner la possibilité d'en composer un autre, ou renvoyer au cours ou au prof.

Informations contenues dans le commentaire

Le commentaire peut porter sur

- la stratégie,
- la désignation des classes de problèmes (tactiques),
- la démarche associée (plan plus ou moins détaillé)
- la justification ou le principe,
- le degré de fiabilité,
- l'objectif poursuivi.

Critères de choix des informations ???

- Privilégier l'objectif de la démarche qui est utile pour planifier/anticiper
- Ne pas donner le plan détaillé, si on le demande par la suite. le donner quand il y a eu beaucoup d'échecs
- En phase d'entraînement à la méthode, donner les justifications/principes
- En phase de révision, donner les descriptions des tactiques
- Si une solution a déjà été étudiée ou passage par vue générale, donner la justification de la nouvelle démarche et son objectif
- Quand la démarche ne comporte pas de justification explicite, donner la description de la classe de problème

Contenus possibles du commentaire sur un problème-père

1- STRATEGIE + PLAN + SURETE + OBJECTIF

variante : CHANGEMENT DE POINT DE VUE + STRATEGIE + PLAN + SURETE + OBJECTIF

-Deux *modalités* : démarche sûre "Permet(tent) de", heuristique : "on peut espérer"

Formulation du contenu 1

Faire successivement :

- 1) *si* présence de changement de point de vue *alors* écrire "en posant ", <chg de point

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

de vue>

2) si la stratégie est :

- classe de fonctions
- simplification
- identification
- récurrence

alors écrire :

"sur cette classe de fonctions, "

"pour simplifier, "

"l'identification en appliquant "

"la stratégie de récurrence descendante, en appliquant "

3) si la sûreté est :

- démarche sûre
- heuristique

alors écrire :

"le plan : ", <plan>," permet de ", <objectif du plan>

"en appliquant : ", <plan>," on peut espérer", <objectif>

avec pour <plan>, soit :

- le plan associé à la tactique ou à la classe de problème ou son action principale
- le plan associé aux heuristiques d'applications de la technique à laquelle renvoie le plan

et pour <objectif>, l'objectif lié au plan ou à son action principale

Degré de généralité : on peut instancier le plan et le point de vue, ou le donner de façon générale

Niveau de détail : on peut plus ou moins détailler le plan (choix de IPP, CV, transformation)

Exemples :

. pb1 : $\int (x^2 - 3x + 7) e^{-2x} dx$, choix de IPP

sur cette classe de fonctions,

le plan : 2 IPP (en dérivant le polynôme)

permet de se débarrasser du polynôme

. pb2 : $\int \sin(\ln x) dx$, choix de CV

remarque : 2 tactiques suggèrent le même CV

pour simplifier

en appliquant : CV , nouvelle variable : la fonction la plus intérieure

on peut espérer

obtenir un produit de fonctions plus simples ou simplifiable par IPP.

ou

pour simplifier

en appliquant : CV , nouvelle variable : la fonction réciproque compliquée

on peut espérer se débarrasser de cette fonction réciproque.

ou

même chose avec Ln pour la fonction réciproque (compliquée)

. pb2 : $\int \sin(\ln x) dx$, choix de IPP

remarque : IPP nécessite un changement de point de vue sur la fonction à intégrer

En posant $f=1$.

sur cette classe de fonctions

en appliquant : 2 IPP

on peut espérer retrouver la fonction de départ.

remarque : le plan associé à la classe de fonctions dit essayer IPP, et IPP avec un sin suggère 2IPP, ce n'est donc pas tout à fait le plan associé à la classe de problèmes, mais le plan lié à une heuristique d'utilisation d'IPP

Hiérarchie sur les tactiques (heuristiques plus faibles, prioritaires, plus ou moins laborieuses.....)

2- DESCRIPTION DE LA TACTIQUE (+ CONDITIONS D'ENTREE) + SURETE + OBJECTIF

-Deux *modalités* : démarche sûre "Permet(tent de)", heuristique : "on peut espérer"

- Remarque :

. le nom de la tactique décrit généralement les catégories de fonctions sur lesquelles cette tactique est intéressante : simplification des fonctions composées....;

. parfois il décrit l'objectif de la tactique : éliminer les fonctions réciproques compliquées

Formulation du contenu 2

1) *si* présence de changement de point de vue *alors* écrire "poser ", <chgt de point de vue>

2) *si la stratégie est :*

alors écrire :

- classe de fonctions

< nom de la classe>/<nom de la sous-classe>/

<conditions d'entrée>

- simplification, identification,

< nom de la tactique>

récurrence

3) *si la sûreté est :*

alors écrire :

- démarche sûre

<nom de la technique>, " permet de ", <objectif>

- heuristique

par <nom de la technique>, " on peut espérer", <objectif>

Degré de généralité : on peut instancier les conditions d'entrée et le point de vue, ou le donner de façon générale

Niveau de détail : on peut plus ou moins détailler la description de la tactique (conditions d'entrée, cas favorables)

Exemples :

. pb2 : $\int \sin(\ln x) dx$, choix de CV

remarque : 2 tactiques suggèrent le même CV

simplification d'une fonction composée ,

par CV on peut espérer obtenir un produit de fonctions plus simples ou simplifiable par IPP.

ou

éliminer une fonction réciproque compliquée :

par CV (ou IPP d'ailleurs), on peut espérer se débarrasser de la fonction réciproque

remarque 1 : la description de la tactique de simplification contient l'objectif

. pb2 : $\int \sin(\ln x) dx$, choix de IPP

remarque : IPP nécessite un changement de point de vue sur la fonction à intégrer

poser $f=1.f$,

produit de 2 fonctions dissemblables

(dont l'un des facteurs est sinus (ou cosinus ou sh ou ch))

par IPP, on peut espérer retrouver la fonction de départ

3- JUSTIFICATION/PRINCIPE + OBJECTIF

Un projet pluridisciplinaire : ELISE

pb : 1) le principe contient (souvent) l'objectif; 2) le principe est souvent implicite

Formulation du contenu 3 :

1) écrire le principe (s'il est explicite dans le poly)

2) écrire la justification (si elle est explicite dans le poly)

3) *si la sûreté est :*

alors écrire :

- démarche sûre

<nom de la technique>, " permet de ", <objectif>

- heuristique

par <nom de la technique>, " on peut espérer", <objectif>

Exemples :

. pb2 : $\int \sin(\ln x) dx$, choix de IPP

remarque : IPP nécessite un changement de point de vue sur la fonction à intégrer

on joue sur le fait que sin et cos sont stables par 2 dérivations ou intégrations

par IPP, on peut espérer retrouver la fonction de départ

Elisabeth Delozanne¹

Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine

BP 535, 72017 LE MANS CEDEX

e-mail : delozanne@lium.univ-lemans.fr

tél.: 43 83 32 21, télécopie : 43 83 33 66

¹ Maître de conférences à l'Université du Maine