

SITUATIONS D'INTERACTION EN EIAO : LE SYSTEME REPERES

Xavier DUBOURG¹,
Elisabeth DELOZANNE¹,
Brigitte GRUGEON².

Résumé : REPERES est un projet pluridisciplinaire dont l'objectif est la conception et la réalisation d'un EIAO destiné à faire travailler des élèves sur les équations de droites à la fois dans le registre algébrique et le registre graphique. La problématique de ce travail est la modélisation de l'interaction personne-machine dans les environnements d'apprentissage et la création d'outils informatiques pour produire des EIAO utilisables par des élèves dans des contextes scolaires. Dans cet article, après avoir présenté le logiciel que nous avons élaboré, nous définissons le modèle de l'interaction sur lequel repose la conception pluridisciplinaire de REPERES. Ce modèle s'articule autour de la notion de situation d'interaction et est décrit à niveau connaissance. Nous présentons ensuite le modèle informatique que nous avons mis en œuvre pour gérer dynamiquement les interactions. Ce modèle s'appuie sur des événements logiciel pour réifier le comportement des élèves et sur des plans d'intervention pour représenter les réactions du système aux actions des élèves. Enfin, nous discutons les apports et les limites de l'approche que nous proposons.

Mots-clés : modélisation de l'interaction, outils de conception, EIAO, intelligence artificielle, didactique des mathématiques.

¹ Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine, B.P. 535, 72027 Le Mans Cedex.

² DIDIREM, Université Paris VII, 2 Place Jussieu, 75251 Paris Cedex 5.

1. Introduction

REPERES est un projet pluridisciplinaire³ dont l'objectif est la conception et la réalisation d'un EIAO destiné à faire travailler des élèves des classes de mathématiques du secondaire sur les équations de droites à la fois dans le registre algébrique et le registre graphique. Ce projet s'inscrit dans le cadre des recherches menées au LIUM⁴ pour la conception d'EIAO utilisables par des élèves, des étudiants ou des stagiaires, en situation scolaire, universitaire ou en formation professionnelle. Ces recherches⁵ adoptent une démarche de conception qui spécifie les outils à partir de la prise en compte du contexte d'usage. Dans ce cadre, la problématique du travail de recherche mené autour de REPERES est la modélisation de l'interaction personne-machine dans les EIAO et la création d'outils informatiques pour gérer cette interaction.

Le projet ELISE [DELOZANNE 92] avait amené à définir la notion de situation d'interaction comme outil de spécification des interactions logiciel/élève/savoir par une équipe pluridisciplinaire. Le projet REPERES, d'une part reprend cet outil pour l'appliquer à un autre domaine et à un public différent, et, d'autre part, l'enrichit sur deux points essentiels. Premièrement, la possibilité pour l'enseignant d'adapter facilement un EIAO à ses objectifs est une des caractéristiques mentionnées par de nombreux auteurs comme importante pour faciliter l'appropriation des logiciels par les enseignants [VIVET 91, GRANDBASTIEN 90, GUIN 91]. REPERES permet aux enseignants de définir par des paramétrages une famille de situations à partir de trois activités proposées. L'enseignant peut ainsi adapter finement l'utilisation du logiciel à ses objectifs et au niveau des élèves. Deuxièmement, dans les logiciels concernant le domaine des équations de droites comme GRAPHER [SCHOENFELD 90] ou MON EQUATION [DAGHER 93] ou même dans ELISE, les interactions sont gérées de façon statique, c'est-à-dire, qu'à une action de l'utilisateur correspond une réaction du système indépendamment de l'historique de la session ou du contexte de l'action. REPERES, lui, calcule ses réactions et propose des outils informatiques pour gérer dynamiquement les interactions.

Dans cet article, après avoir présenté le logiciel, nous définissons le modèle de l'interaction sur lequel repose la conception pluridisciplinaire de REPERES. Ce modèle s'articule autour de la

³ Le système REPERES constitue le travail de Xavier DUBOURG en thèse d'informatique au Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine sous la direction de Martial VIVET et l'encadrement scientifique d'Elisabeth DELOZANNE. Brigitte GRUGEON, didacticienne et enseignante de mathématiques participe à la conception et à la réalisation du projet depuis le début.

⁴ Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine dirigé par M. Vivet.

⁵ [BRUILLARD et VIVET 94, DELOZANNE 94, CHEVALLIER 94, TEUTSCH 94, JACOBONI 93, HILEM et al 93, LEROUX 93, RITTER 93].

notion de situation d'interaction et est décrit à niveau connaissance . Nous précisons ensuite le modèle informatique que nous avons mis en œuvre pour gérer dynamiquement ces interactions. Ce modèle s'appuie sur des événements logiciel permettant de réifier le comportement des élèves et sur des plans d'intervention permettant de représenter les réactions du système aux actions des élèves. Enfin, nous discutons les apports et les limites de l'approche que nous proposons.

2. Le logiciel REPERES

Dans cette section, REPERES est rapidement décrit. Un problème d'enseignement que le logiciel tente de résoudre est présenté ainsi que les trois activités proposées aux élèves. Puis un exemple d'utilisation supposée de REPERES⁶ est introduit. Cet exemple est repris par la suite dans le reste de l'article pour en faciliter la compréhension. Enfin sont définis les paramètres sur lesquels l'enseignant peut jouer pour insérer le logiciel dans son dispositif d'enseignement.

2.1. Un problème d'enseignement

Le domaine d'études de REPERES est celui des équations de droites et de la résolution de systèmes de deux équations à deux inconnues. Dans l'enseignement secondaire français, les équations de droites sont enseignées en deux temps : les équations réduites en classe de troisième (élèves de 14 ans environ) et les équations cartésiennes en classe de seconde, l'année suivante. Certains élèves éprouvent des difficultés pour acquérir et manipuler ces concepts. Ces difficultés ont été étudiées de façon assez précise par des travaux en didactique des mathématiques [DUVAL 88, SCHOENFELD 90, DAGHER 93] et certains de ces chercheurs estiment que l'un des moyens de les surmonter consiste à apprendre les règles de correspondance entre les registres graphique et algébrique : "L'ensemble tracé/axes forme une image qui représente un "objet" décrit par une expression algébrique. Toute modification de cette image qui entraîne une modification dans l'écriture de l'expression algébrique correspondante détermine une variable visuelle pertinente pour l'interprétation du graphique. Il est donc important (...) de voir les modifications conjointes de l'image et de la forme de son écriture algébrique" [DUVAL 88, p. 237].

L'outil informatique nous a semblé pertinent pour tenter de répondre à ce problème d'enseignement puisqu'il permet de modifier des valeurs dans un registre et d'observer immédiatement les modifications dans l'autre. De plus, en tant que concepteurs d'EIAO, ce domaine nous intéresse pour deux raisons. Premièrement les concepts sont bien définis, les connaissances en jeu sont clairement identifiées, et donc, la représentation symbolique de ces connaissances en

⁶ Cet exemple relève de l'analyse didactique a priori. Des séances de test de REPERES auprès des élèves sont prévues pour le printemps 1995.

machine est facilitée. Deuxièmement, l'existence de travaux en didactique sur ce domaine permet de se fixer un objectif d'utilisation réelle du logiciel dans un contexte scolaire.

2.2. Présentation des activités dans REPERES

REPERES propose actuellement trois types d'activités : trouver la représentation graphique d'une droite connaissant une de ses équations, l'activité inverse (plus difficile) et la résolution de systèmes de deux équations à deux inconnues. Dans chacune des activités, les élèves ont une tâche à remplir et disposent à cette fin d'un ensemble d'outils leur permettant d'une part de créer et de manipuler des objets mathématiques (par exemple des points, des équations), et d'autre part, de contrôler leur travail (par exemple en consultant des rappels de cours ou des aides actives, Cf. paragraphe 3.3.). REPERES a pour objectifs d'enseignement de développer les mécanismes d'auto-contrôle et d'auto-correction chez les élèves et de favoriser la corrélation entre les variables visuelles du registre graphique et les unités symboliques significatives de l'écriture algébrique.

2.3. Un exemple d'utilisation prévue

Cet exemple est fictif et relève de l'analyse didactique a priori. Des séances de test de REPERES auprès des élèves sont prévues pour le printemps 1995. En exercice de renforcement, des élèves de troisième travaillant en binôme, ont pour consigne de trouver l'équation réduite d'une droite dont le logiciel donne la représentation graphique dans un repère. Pour exécuter cette tâche, les élèves créent plus de deux points sur la droite. REPERES associe ce comportement à une démarche qualifiée de "pointage" par R. Duval et A. Dagher. Selon eux, la représentation graphique est alors perçue par les élèves comme un ensemble de points isolés, les points étant associés à un couple de nombres (les coordonnées), et cette démarche détourne l'attention des variables visuelles pertinentes nécessaires à une interprétation globale du tracé. La réaction de REPERES est alors de proposer un outil (dit aide active, Cf. figure n° 5) permettant de relier le sens d'inclinaison d'une droite (variable visuelle du registre graphique) avec le coefficient directeur de son équation réduite (unité significative de l'écriture algébrique).

2.4. Le paramétrage de REPERES par l'enseignant

REPERES permet de définir trois familles de situations à partir des trois activités proposées. L'enseignant modifie les connaissances en jeu dans une activité en fixant la valeur de différents paramètres. Une situation est ainsi associée à une activité pour des valeurs données des paramètres. Les paramètres fixés par l'enseignant sont les suivants :

- la valeur des coefficients des équations,
- le type des systèmes d'équations (solution unique, sans solution ou infinité de solutions),
- le format des nombres (entier, décimal ou fractionnaire),
- le format des équations (équation réduite ou équation cartésienne),
- le type du repère graphique (avec ou sans quadrillage),
- les outils à la disposition des élèves,

- le mode de fonctionnement des outils (textuel ou graphique),
- le type de suivi (réactions immédiates, réactions différées, réactions à la demande),
- le niveau scolaire (classe de seconde ou de troisième),
- l'objectif de la séance (initiation, renforcement ou test).

Une interface pour l'enseignant est développée afin de l'aider dans le paramétrage et la définition des exercices. Cette interface regroupe des paramètres et positionne des valeurs par défaut. Par exemple, un niveau scolaire classe de troisième détermine le format des équations (réduit), le type de système d'équations (une solution unique), le type du repère (avec quadrillage).

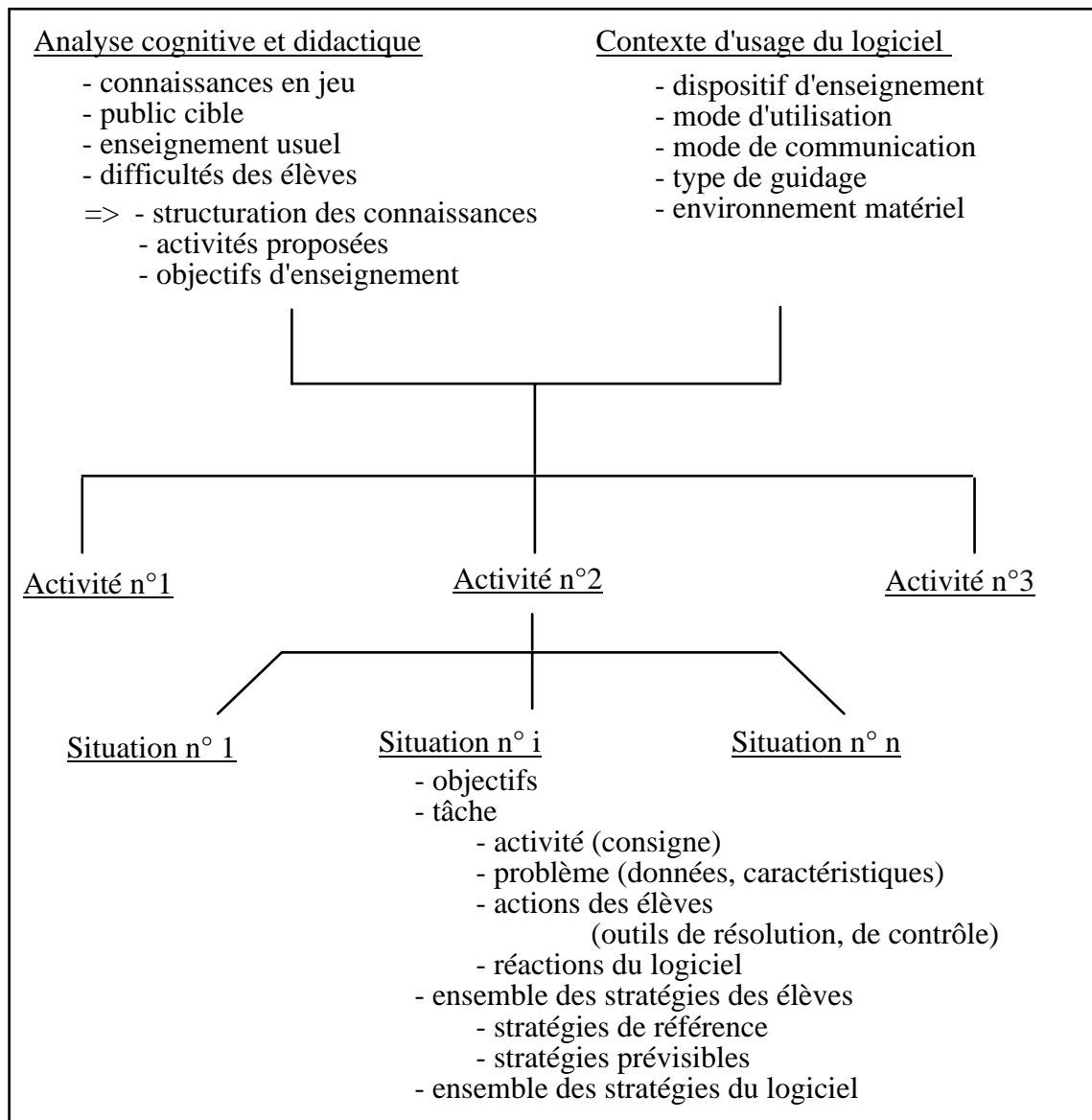


Figure n° 1 : Modèle des situations d'interaction.

3. Les situations d'interaction

Dans le projet ELISE, les situations d'interaction ont été introduites pour spécifier l'interaction homme-machine dans le cadre de la conception pluridisciplinaire d'un logiciel destiné à favoriser les apprentissages. Pour spécifier REPERES, les trois niveaux de description proposés dans ELISE ont été repris et enrichis. Dans cette section, nous présentons les descripteurs

correspondant à l'analyse cognitive et didactique, au contexte d'usage du logiciel et à la description spécifique de la situation (Cf. figure n° 1).

3.1. Analyse cognitive et didactique

Ce niveau concerne les analyses préalables à la conception du logiciel. Il contient la description des connaissances en jeu et de leur structuration, du public cible, de l'enseignement usuel et des difficultés des élèves [ARTIGUE 88]. Ces analyses, en partie présentées au paragraphe 2.1, débouchent sur la formulation des objectifs d'enseignement et sur la définition des activités à proposer aux élèves.

Les connaissances en jeu sont structurées en trois niveaux :

- les objets mathématiques, par exemple les points et les droites,
- les règles de correspondance entre les deux registres (Cf. figure n° 2),
- les outils pour manipuler les objets et résoudre des problèmes.

Variables visuelles	Valeurs	Unités symboliques
- sens d'inclinaison	trait montant trait descendant	coefficient > 0 coefficient < 0 , signe -
- angles avec les axes	partage symétrique angle plus petit angle plus grand	coefficient = 1 coefficient < 1 coefficient > 1
- position sur l'axe y	coupe au dessus coupe au dessous coupe à l'origine	ajout d'une constante, signe + retrait d'une constante, signe - absence de constante

Figure n° 2 : Règles de correspondance
entre les registres graphique et algébrique, [DUVAL 88, p. 240].

3.2. Contexte d'usage de REPERES

Ce niveau décrit les choix généraux concernant l'interaction avec le logiciel dans son ensemble. Il regroupe des descripteurs communs à toutes les situations du logiciel : dispositif d'enseignement, mode d'utilisation et acteurs, mode de communication, type de guidage et environnement matériel.

L'utilisation de REPERES est envisagée dans un cadre scolaire, en complément de l'enseignement usuel sur les équations de droites. Dans de traditionnelles "séances informatiques", les élèves sont regroupés par deux autour d'un ordinateur en présence d'un enseignant. Les élèves travaillent à leur rythme (la seule limite de temps est la durée des séances). Les objectifs d'une "séance informatique" avec REPERES peuvent être :

- l'initiation pour prendre conscience de l'existence des correspondances entre les registres graphique et algébrique,

- le renforcement pour appliquer les règles de correspondance dans des situations diverses,
- le test pour vérifier que les élèves savent discriminer les variables visuelles significatives.

Le travail avec REPERES peut s'accompagner d'un travail papier/crayon (ou oral) pour certaines opérations qui ne sont pas réalisables avec le logiciel, comme par exemple les calculs numériques.

La communication avec le logiciel se fait soit par la manipulation directe avec la souris, soit par l'intermédiaire de menus et de boîtes de dialogues. Ces deux modes de communication permettent de faire fonctionner les outils proposés par REPERES dans les registres graphique et algébrique (Cf. 3.3).

Le rôle des élèves est d'accomplir une tâche proposée par le logiciel en utilisant les outils fournis. Le logiciel lui, exécute les commandes des élèves et réagit à leur actions en proposant des outils d'auto-contrôle.

Les séances informatiques ont lieu sur des micro-ordinateurs munis d'un écran et d'une souris. La présence d'une imprimante n'est pas indispensable. La présentation des objectifs de la séance et du maniement de REPERES peut être faite par l'enseignant oralement ou par une documentation écrite.

3.3. Niveau spécifique à la situation

Cette partie du modèle regroupe les descripteurs qui permettent, à partir d'une activité, de spécifier l'interaction élèves/logiciel/savoir et d'en assurer la cohérence en fonction des objectifs d'enseignement.

a) Les objectifs spécifiques d'enseignement

Ces objectifs dépendent de l'activité. Par exemple, pour l'activité de passage du registre algébrique au registre graphique, il s'agit de vérifier la compréhension de l'association entre un point et un couple de nombres, association limitée à des valeurs particulières et à des points marqués dans le plan repéré. Pour l'activité du passage du registre graphique au registre algébrique, l'objectif est de montrer que l'approche point par point est inadéquate et de mettre en place une démarche d'interprétation globale des propriétés figurales.

b) La tâche

La tâche est définie par une activité, par un problème décrit à l'aide de ses données et de ses caractéristiques pédagogiques, par les actions possibles des élèves et les connaissances en jeu, et enfin par les réactions du système.

Prenons un exemple où l'**activité** consiste à passer du registre graphique au registre algébrique et est matérialisée à l'écran par une consigne. La seule *donnée* du **problème** est le tracé d'une droite dans la fenêtre graphique de REPERES (Cf. figure n°3). *Pédagogiquement*, ce problème est caractérisé par le tracé oblique montant, par l'angle formé avec l'axe (oX) plus petit que celui formé avec l'axe (oY) et par le tracé coupant l'axe vertical au dessus de l'origine du repère.

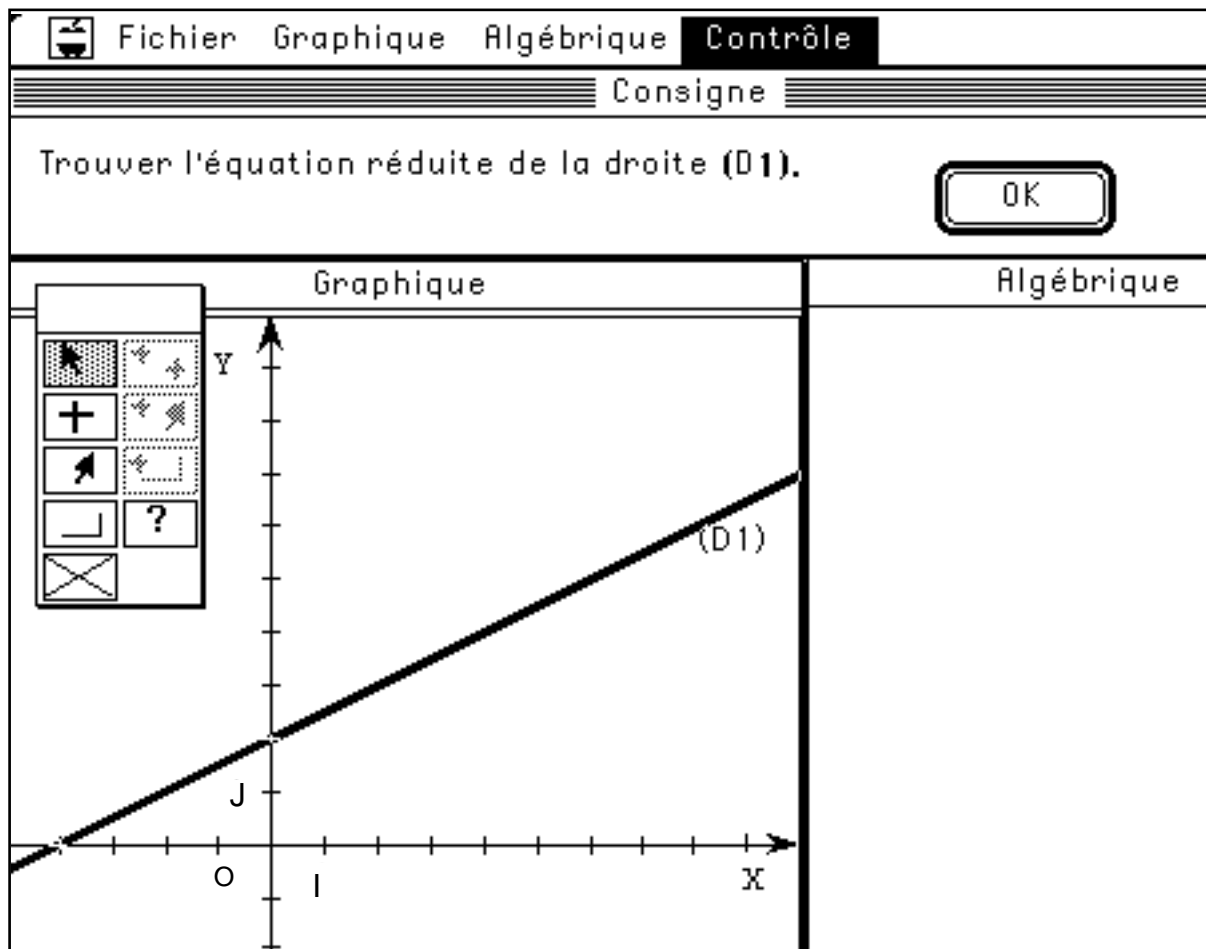


Figure n° 3 : Exemple de problème.

Les actions possibles des élèves consistent soit à utiliser les outils de résolution ou les outils de contrôle, soit à chercher au brouillon ou oralement entre eux.

Les outils de résolution permettent de manipuler (i.e. définir, modifier, visualiser, détruire) les objets du domaine (par exemple des points et des vecteurs). Les objets admettent deux représentations à l'interface dans les fenêtres algébrique et graphique de REPERES. Par exemple, une droite est représentée dans la fenêtre algébrique par son nom et une équation, et dans la fenêtre

graphique par son nom et un tracé. De même, les outils admettent deux modes de fonctionnement, un mode textuel et un mode graphique.

Par exemple :

1) pour créer une droite dans la fenêtre graphique, les élèves de troisième disposent de deux outils (droite passant par deux points ou droite définie par un point et un coefficient directeur) qu'ils peuvent utiliser en mode textuel ou en mode graphique.

- Pour créer une droite passant par deux points en mode textuel, il faut choisir dans le menu graphique l'item "droite passant par deux points", puis, dans une boîte de dialogue préciser le nom de la droite et celui des deux points.
- En mode graphique, on sélectionne l'outil "deux points" dans la palette, puis, on clique dans la fenêtre graphique sur la représentation de deux points déjà définis.

2) Dans la fenêtre algébrique, pour créer une droite, on choisit dans le menu algébrique le format de l'équation ($ax + by + c = 0$, $y = mx + p$ ou $x = a$), puis, dans une boîte de dialogue on précise le nom et la valeur des coefficients.

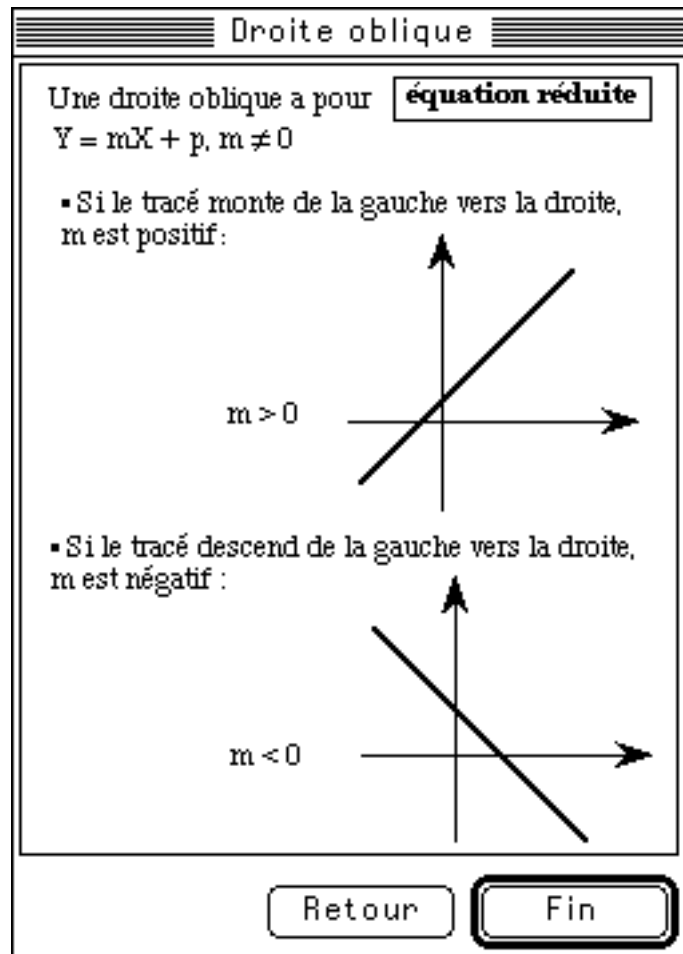


Figure n° 4 : Exemple de rappel de cours.

Les deux modes de fonctionnement des outils ne correspondent pas seulement à des facilités d'interface mais permettent de manipuler dans les deux registres les objets représentés graphiquement.

Les outils de contrôle donnent aux élèves les moyens d'évaluer leur travail. Ces outils sont fondés sur les liens entre les registres graphique et algébrique. Ils sont répartis en trois catégories accessibles en permanence par les menus "vérification", "savoir-faire" et "cours". Le contenu de ces menus est calculé dynamiquement en fonction de la situation et des actions effectuées par les élèves. Les outils des menus "savoir-faire" et "cours" correspondent à des fiches qui donnent des indications sur la démarche de résolution ou fournissent des rappels de cours (Cf. figure n°4). Les outils du menu "vérification" correspondent à des aides actives (Cf. figure n°5) ; ce sont des fenêtres dans lesquelles les élèves peuvent "pratiquer la démarche expérimentale la plus classique : faire varier une unité significative de l'écriture en gardant toutes les autres constantes et voir ce qui se passe dans l'autre registre, ou faire varier chaque variable visuelle en gardant les deux autres constantes et voir les modifications d'écriture" [DUVAL 88, p. 242].

Les réactions de REPERES consistent soit à proposer l'utilisation de l'un des outils de contrôle, soit à afficher dans l'autre registre la solution proposée par les élèves, soit à proposer le recours à une aide extérieure. La fréquence et le choix des réactions du système sont calculés à partir du paramètre "type de suivi" et de l'historique de session.

c) Ensemble des stratégies des élèves

Cette section étudie l'enchaînement des actions des élèves. Elle est organisée en deux parties, les stratégies de référence et les stratégies prévisibles. Les stratégies de référence expriment les démarches de résolution et sont décrites par les outils de contrôle de la catégorie "savoir-faire". Les stratégies prévisibles sont obtenues à partir de l'analyse didactique et des expériences déjà réalisées dans l'utilisation d'environnements informatiques [DAGHER 93, SCHOENFELD 90]. Par exemple, certains élèves ne savent que trouver les coordonnées des points ; cette stratégie qualifiée de "pointage" bloque leur apprentissage.

d) Ensemble des stratégies de REPERES

Cette section étudie l'enchaînement des réactions du système et en assure la cohérence. Les stratégies de REPERES correspondent aux trois types de suivi : réaction immédiate, réaction différée et réaction à la demande. Par exemple, en réaction immédiate REPERES contraint les élèves à utiliser un outil de contrôle, en réaction différée, il conseille aux élèves de l'utiliser.

3.4. Conclusion

Ce travail de modélisation à niveau connaissance de l'interaction constitue le cœur du travail pluridisciplinaire au sein du projet. Le modèle contient une partie descriptive et une partie prédictive. La partie descriptive permet de spécifier le logiciel et de contrôler a priori la pertinence des activités proposées par rapport aux objectifs d'enseignement. La partie prédictive (les stratégies des élèves) fournit une grille qui pourra être utilisée dans la phase d'évaluation du système [ROBERT 92]. La mise en œuvre informatique des situations d'interaction est décrite par "un modèle conceptuel exprimant à niveau connaissance les objets, les inférences, les tâches et les stratégies du système" [NICAUD 94, p. 73]. Ce modèle est présenté dans la section suivante.

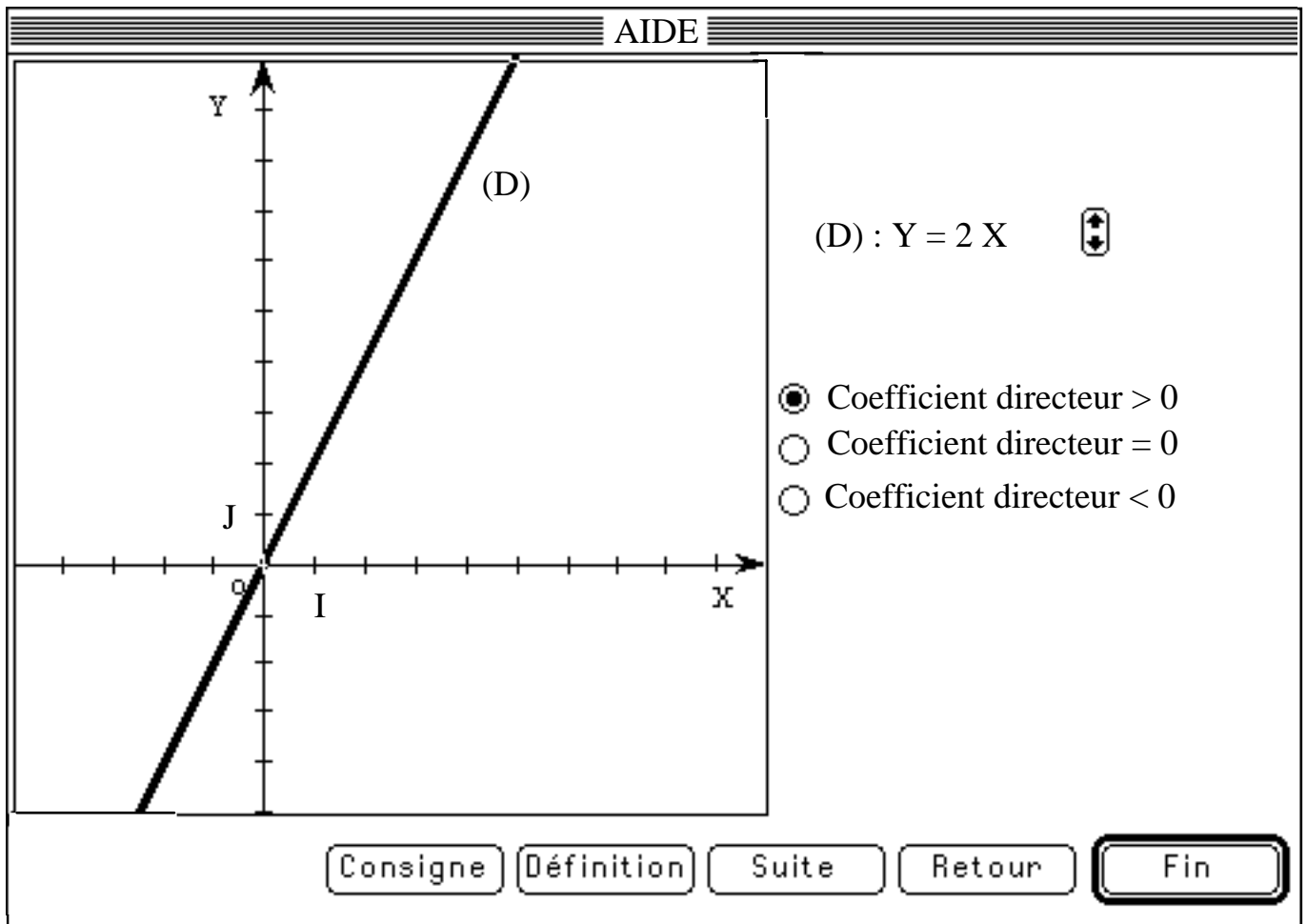


Figure n° 5 : Exemple d'aide active (outil "vérification" du menu "contrôle").

4. Mise en œuvre informatique

Afin de gérer dynamiquement les situations d'interaction, nous avons développé une architecture logicielle fondée d'une part sur la programmation par événements pour modéliser le comportement des élèves, et d'autre part, sur l'interprétation de plans d'intervention pour modéliser les stratégies de réactions de Repères aux actions des élèves. Dans cette section nous définissons la notion d'événement logiciel, introduite comme unité élémentaire observable pour appréhender le comportement des utilisateurs. Nous présentons ensuite les plans d'intervention du système. Les conditions d'application de ces plans contiennent une interprétation de ce comportement par le système et leurs actions mettent en œuvre les stratégies d'intervention abordées en 3.5. Enfin nous expliquons le fonctionnement du moteur qui interprète les plans.

4.1. Modélisation des actions de l'élève

Un utilisateur communique avec un système informatique en créant des événements système (par exemple, frappe d'une touche au clavier, clic sur le bouton de la souris). La première réaction d'un système à ces événements est de marquer des changements au niveau de l'interface⁷. Mais pour gérer les situations d'interaction, les événements système sont des observables de trop bas niveau. Nous avons donc défini les événements logiciel comme des séquences d'événements système correspondant à une action significative pour la situation d'interaction. Prenons un exemple : si l'utilisateur clique dans la palette sur l'outil permettant de créer des points, puis clique dans la fenêtre graphique, la série d'événements système associée à ces actions crée un événement logiciel "création de point" (Cf. Figures n°6 et 7). Les classes d'événements logiciel correspondent ainsi aux actions de création, modification, destruction, visualisation d'objets mathématiques (au sens de REPERES) et aux actions sur les outils de contrôle.

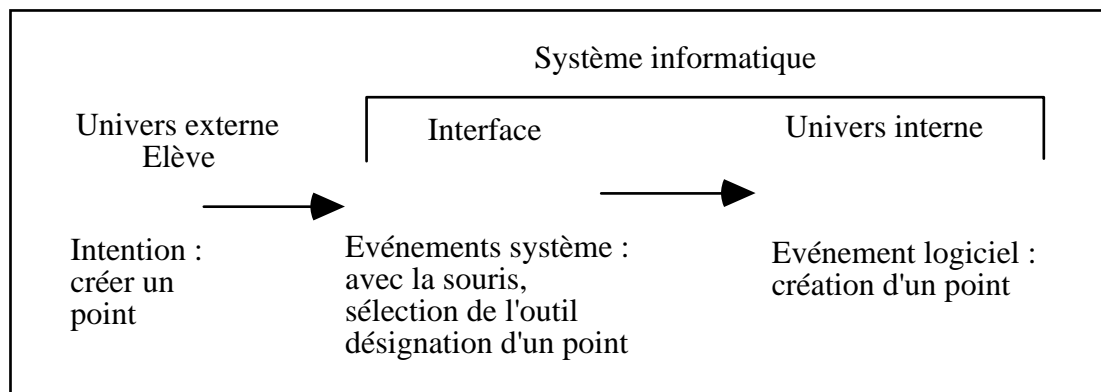


Figure n° 6 : Modélisation des actions des élèves par des événements logiciel.

En adoptant la terminologie de la représentation objet [ADAM 87], les événements logiciel réifient les actions significatives de l'utilisateur et en donnent une description formelle.

En adoptant la terminologie de N. Balacheff, la succession des événements logiciel recueillis au cours d'une session définit le modèle comportemental de l'élève : "Pour une session donnée, correspondant à un problème ou à une classe de problèmes, la construction d'un modèle comportemental à partir de la saisie d'événements à l'interface du dispositif résulte d'un traitement qui consiste pour l'essentiel soit à ignorer des événements qui ne seraient pas pertinents, soit à remplacer certaines séquences d'événements par un descripteur dans un langage de plus haut niveau" [BALACHEFF 91].

⁷ Dans cet article, nous ne décrivons pas la gestion des événements système, ni les problèmes liés à la représentation des objets et des actions à l'interface [DUBOURG 95, thèse en préparation].

event-cree-point115	; nom de l'événement
precedent : event-cree-point114	; lien avec l'événement précédent
objet : point-a	;
action : création-point	; type de l'événement
quand : 3/11/9 11h47	; date de l'événement
valeur : X = 1; Y = -2	; valeur de création

Figure n° 7 : Structure de l'événement logiciel définition d'un point.

4.2. Modélisation des interventions du système

Les travaux de M. Vivet et de son équipe [VIVET et al 88] autour du moteur KEPLER ont montré qu'on pouvait représenter l'expertise pédagogique dans un EIAO par des plans. Ces plans KEPLER se composent de deux parties. La première partie permet de décrire le contexte d'application du plan. La deuxième partie décrit l'enchaînement des actions à réaliser pour appliquer le plan.

Déclencheur : <classe_événement>
Variables : <liste_de_variables>
Conditions : (Exercice (<champs> <valeur>) (<champs> <valeur>) ...)
(Étape (<champs> <valeur>) (<champs> <valeur>) ...)
(Événement (<champs> <valeur>) (<champs> <valeur>) ...)
Actions : <liste_d_actions>

Figure n° 8 : Structure des plans KEPLER-REPERES

Dans le cas de REPERES, le contexte permet de déterminer s'il est pertinent ou non d'intervenir dans la situation. Ce contexte est composé de deux descripteurs principaux : le déclencheur et les conditions. Le déclencheur correspond à la classe d'un événement logiciel (résultat d'une action des élèves) qui, par réflexes, active le plan (Cf. paragraphe 4.3.). Les conditions portent sur la situation d'interaction (par exemple, le type d'activité, les connaissances en jeu, les objectifs de la situation) et sur l'historique des événements logiciel résultant des actions passées des élèves.

Lorsque le plan est déclenché, les actions sont exécutées séquentiellement. Des structures de contrôle classiques (si alors sinon, tant que, répéter jusqu'à) permettent de définir des actions conditionnelles et des actions répétitives. Les actions consistent à modifier l'interface (au niveau des menus, des fenêtres graphique ou algébrique), à placer les élèves dans des activités de contrôle ou à modifier les situations en agissant sur le paramétrage.

[plans cree ()	; création du plan
	; type du déclencheur : création d'un point
	; variable locale du plan
	; conditions du plan
(activité (type al->gr))	; réaction immédiate du système
(nb-event (event-cree-point) >= 2))	; type d'activité algébrique vers graphique
	; créations de plus de deux points
	; actions du plans
(si ((event-aide ((objet it-verif7))))	; affichage d'un message
(activer it-cours8))	; recherche des outils déjà utilisés
(activer it-verif7)))	; lancement d'un outil de contrôle
)]	

Figure n° 9 : Plan KEPLER-REPERES correspondant à l'exemple du paragraphe 2.3.

Par exemple le plan de la figure n° 9 est applicable dans le contexte décrit au paragraphe 2.3. Les actions de ce plan consistent à afficher un message sur l'écran ("Etudions le lien entre équation et tracé") puis à activer un outil de contrôle que l'élève n'a pas déjà utilisé (par exemple, l'outil de vérification de la figure n°5 qui permet de faire le lien entre l'inclinaison du tracé et le signe du coefficient directeur).

4.3. Le fonctionnement de l'interpréteur de plans

Le moteur est "réveillé" par réflexe dès qu'un événement logiciel est créé. La détermination du plan à appliquer se fait en trois étapes (Cf. figure n°10). Première étape : les plans dont le déclencheur correspond à la classe de cet événement sont activés. Deuxième étape : le moteur obtient la liste des plans applicables en évaluant les conditions des plans actifs et en éliminant les plans dont les conditions ne sont pas vérifiées⁸. Troisième étape : des méta-règles permettent, parmi les plans applicables, de choisir celui qui sera appliqué. Ces méta-règles représentent les connaissances pour sélectionner la stratégie d'intervention à appliquer. Elles sont actuellement extrêmement rudimentaires (prendre le premier). Ceci constitue une des limites du travail présentées dans la section suivante.

⁸ La vérification des conditions des plans actifs par cette méthode peut paraître coûteuse en temps, mais il n'en est rien. Premièrement, les plans actifs sont peu nombreux (entre 0 et 15 plans suivant la classe du déclencheur) et pour chaque plan, dès qu'une condition est fautive le plan est éliminé. Deuxièmement, il est possible de compiler la base de plans pour optimiser la sélection des plans applicables [DUBOURG 90].

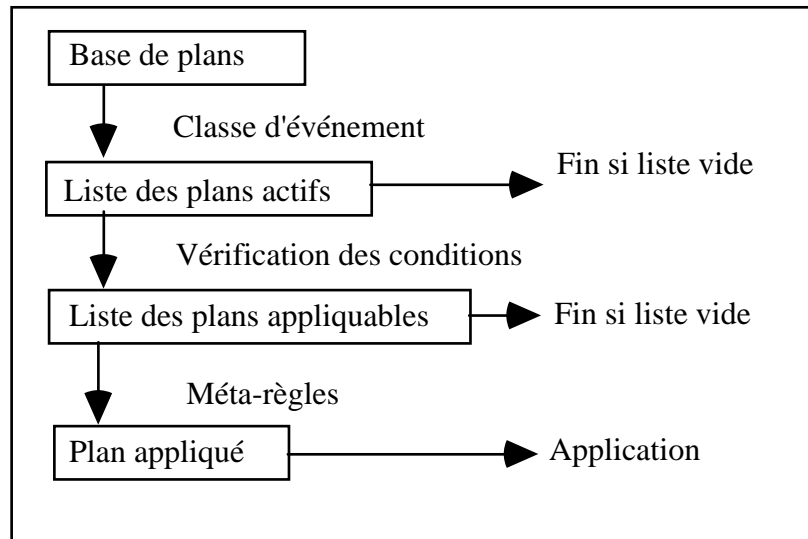


Figure n° 10 : Sélection d'un plan d'intervention.

5. Etat de développement, limites et perspectives

Repères est développé sur Macintosh en Airelle. Airelle est un langage à objets développé au Laboratoire d'Informatique de l'Université de Caen. Il s'agit d'une couche objet au dessus de Le Lisp [ADAM-NICOLLE 90]. Airelle a été choisi car c'est un langage qui permet d'exprimer et de gérer des connaissances de nature très hétérogène. De plus c'est un langage qui permet le prototypage rapide des modèles. Le génie logiciel utilise couramment ce moyen pour tester les logiciels en cours de conception, spécialement quand il s'agit de développer des interfaces utilisateur pour tester les logiciels en cours de conception [KRIEF 92, COUTAZ 90]. En EIAO, où les logiciels sont centrés sur l'utilisateur, il est fondamental de développer des prototypes que l'on puisse tester auprès des élèves mais aussi avec des chercheurs d'autres disciplines [BRUILLARD et VIVET 94, DELOZANNE 94].

Le logiciel représente actuellement 450 K de code dont une cinquantaine de plans d'intervention. Les situations définies à partir des trois activités décrites dans cet article sont mises au point et REPERES est actuellement en phase de test auprès d'enseignants. Il s'agit en particulier de s'assurer de la correction et de la pertinence de tous les textes des messages adressés aux élèves. Parallèlement nous développons l'interface enseignant afin de faciliter la création d'exercices. Une expérimentation du logiciel auprès d'élèves de seconde et de troisième est en préparation pour le printemps 1995. Cette étape est bien évidemment indispensable pour la validation de REPERES en tant qu'outil d'apprentissage.

Les principales limites et perspectives concernent le développement de nouvelles activités et la représentation des méta-connaissances.

Le projet REPERES a des objectifs d'enseignement très précis : permettre aux élèves d'associer les variables visuelles du registre graphique avec les unités significatives correspondantes de l'écriture algébrique. Pour atteindre cet objectif, le mode d'interaction contraint l'élève à exprimer sa résolution par l'intermédiaire de l'utilisation d'outils, et lui laisse ainsi un faible degré de liberté dans l'expression de sa démarche. Ces contraintes sont communes à de nombreux logiciels d'EIAO, ELISE [DELOZANNE 94], STUDIA [CHEVALLIER 94] entre autres. Dans le cas de REPERES, elles semblent a priori intéressantes pour franchir ce point de passage obligé que constitue la maîtrise des "règles de correspondance sémiotique entre le registre des représentations graphiques et celui de l'écriture algébrique" [DUVAL 88]. Mais l'utilisation de REPERES sera assez limitée dans le temps. Ce mode d'interaction peut aussi être pertinent pour d'autres activités ayant le même objectif, par exemple l'étude du parallélisme ou de la perpendicularité de deux droites. Par contre pour des activités où les élèves doivent pouvoir exprimer des démarches de résolution plus diversifiées, des modes d'interaction plus riches devront être recherchés.

Au plan de la représentation des connaissances, l'analyse des comportements d'élèves -qui correspond aux conditions d'application des plans d'intervention- nous semble être une approche de ce que N. Balacheff appelle le "modèle épistémique" [BALACHEFF 91]. Pour obtenir un modèle épistémique plus complet et pouvoir l'utiliser dans le calcul des interventions, il serait, semble-t-il, nécessaire d'introduire un niveau d'abstraction au-dessus des événements logiciel. Ces "méta-événements" interpréteraient les événements logiciel en démarche de résolution. Dans l'exemple du paragraphe 2.3, le méta-événement serait : création de plus de deux points dans le contexte du passage du tracé de la droite à son équation. Ceci est une piste de recherche mais la formulation de l'expertise pour définir les classes de méta-événements semble être une difficulté réelle.

La résolution des conflits par méta-règles est prévue dans REPERES, mais l'expertise correspondante est difficile à recueillir. La discrimination des plans est effectuée d'une part par la partie contexte des plans et d'autre part par les méta-règles. Les contextes sont obtenus par le concepteur informaticien à partir de l'analyse didactique. Or, pour le problème informatique qui nous occupe ici, l'expertise didactique est d'une part incomplète et d'autre part ad hoc. Dans certains cas, les conditions ne suffisent pas à déterminer la stratégie d'intervention à appliquer. L'objectif du prototypage du modèle est de poursuivre le travail d'explicitation des connaissances par les tests auprès des didacticiens et aussi auprès des enseignants et des élèves. Il est probable que ce travail nous conduira à restructurer la base de connaissances. En effet, les conditions des plans sont hétérogènes et contiennent elles-mêmes des méta-connaissances. Ceci est dû au caractère ad hoc de l'expertise. Ce problème de structuration des bases de connaissances a été bien repéré en IA [PITRAT 90].

6. Conclusion

L'interaction est devenue un des thèmes majeurs de recherche en EIAO. Dans ce cadre, différents paradigmes d'interaction peuvent être envisagés. Par exemple, pour P. Dillenbourg : "les concepteurs de systèmes interactifs devraient s'inspirer davantage des mécanismes par lesquels deux personnes construisent une compréhension partagée d'un phénomène. Ces mécanismes doivent être transposés dans le registre des interactions disponibles entre une personne et l'ordinateur" [DILLENBOURG 94, p. 47]. Dans REPERES, comme dans ELISE, nous avons retenu une approche plus "didactique", dans laquelle une équipe pluridisciplinaire met en scène des connaissances pour favoriser des apprentissages précis chez les élèves. Cette approche semble bien adaptée aux caractéristiques spécifiques des domaines (domaines bien délimités, connaissances explicitées par des analyses didactiques précises, résolution par application d'outils sur des objets). La validité de notre approche serait discutable si elle était appliquée à un domaine très ouvert.

Le travail de modélisation a conduit à proposer d'une part un modèle à niveau connaissance pour concevoir des situations d'interaction dans une équipe pluridisciplinaire et, d'autre part, un modèle computationnel pour gérer les interactions dans un environnement d'apprentissage. Ce modèle est fondé sur des événements logiciel pour représenter les actions des élèves et des plans d'intervention pour gérer dynamiquement les réactions du système. Ces deux modèles nous semblent assez généraux pour être utilisables dans le développement d'EIAO dans d'autres domaines.

Bibliographie

- [ADAM 87] : A. Adam-Nicolle, Représentation et utilisation des connaissances avec Airelle, Colloque Intelligence Artificielle de Caen, Cahier du LAFORIA, N°63, pp. 415-438.
- [ADAM 90] : A. Adam-Nicolle, Le métalangage AIRELLE, Les cahiers du LIUC, N° 90-5, Caen, avril 1990.
- [ARTIGUE 88] : M. Artigue, Ingénierie didactique, Recherche en Didactique des Mathématiques, Vol 9/2, pp. 281-308, Grenoble, La pensée Sauvage, 1988.
- [BALACHEFF 91] : N. Balacheff, Didactique et environnements d'apprentissage informatisés, un propos introductif, Actes de la VI^e Ecole d'été de didactique des mathématiques, 1991.
- [BARON et ROBERT 93] : M. Baron et A. Robert, Méta-connaissances en IA, en EIAO et en didactique des mathématiques, Cahier du LAFORIA 93/18, Cahier de DIDIREM, numéro spécial de Mai 1993.
- [BRUILLARD et VIVET 94] : E. Bruillard et M. Vivet, Concevoir des EIAO pour des situations scolaires, approche méthodologique, Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol 14/1.2, pp. 275-302, Grenoble, La Pensée Sauvage, 1994.
- [CHEVALLIER 92] : R. Chevallier, Gestion de dialogue en EIAO : le système tutoriel STUDIA, Sciences et Techniques Educatives, Vol 1/3, 1994, pp. 373-396.
- [COUTAZ 90] : J. Coutaz, Interfaces Homme-ordinateur, Conception et réalisation, Ed Dunod informatique, 1990.
- [DAGHER 93] : A. Dagher, Environnement informatique et apprentissage de l'articulation entre registres graphique et algébrique de représentation des fonctions, thèse de doctorat de l'Université Paris VII, Paris, 1993.
- [DELOZANNE 92] : E. Delozanne, Explications en EIAO : études à partir d'ELISE, un logiciel pour s'entraîner à une méthode de calcul de primitives, thèse de doctorat de l'Université du Maine, Le Mans, 1992.
- [DELOZANNE 94] : E. Delozanne, Un projet pluridisciplinaire : ELISE un logiciel pour donner des leçons de méthodes, Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol 14/1.2, pp. 211-249, Grenoble, La Pensée Sauvage, 1994.
- [DILLENBOURG 94] : P. Dillenbourg, Evolution épistémologique en EIAO, Sciences et techniques éducatives, Vol. 1 n°1/1994, pp. 39-52.
- [DOUADY 84] : R. Douady, Dialectique outil/objet et jeux de cadres, thèse d'état, université Paris VII, Paris, 1984.
- [DUBOURG 90] : X. Dubourg, Mise au point de bases de connaissances mathématiques pour CAMELIA, rapport de stage de DEA, Université du Maine, 1990.

- [DUBOURG 94] : X. Dubourg, Des événements logiciels pour modéliser des situations d'interactions en EIAO : le système REPERES, Actes des Secondes rencontres nationales des jeunes chercheurs en intelligence artificielle, Marseille, 1994.
- [DUBOURG 95] : X. Dubourg, La programmation par événements pour concevoir des EIAO : le système REPERES, Thèse de l'université de Caen, en préparation.
- [DUVAL 88] : R. Duval, Graphiques et équations. Annales de didactique et sciences cognitives, vol. I, pp. 235-253, IREM de Strasbourg.
- [GRANDBASTIEN90] : M. Grandbastien, Les technologies nouvelles dans l'enseignement général et technique, La Documentation Française, Paris, 1990.
- [GUIN 91] : D. Guin, Nécessité d'une spécification didactique des environnements informatiques d'apprentissage, Actes des Deuxièmes journées EIAO de Cachan, pp. 253-260, ENS de Cachan, 1991.
- [HILEM et al 94] : Y. Hilem, M. Fattersack, COMPANION : An Interactive Learning Environment based on the Cognitive Apprenticeship Paradigm for Design Engineers using numerical simulations, ED-MEDIA 94, Vancouver, 25-29 Juin 1994.
- [JACOBONI 93] : P. Jacoboni, DIADEME, Un système d'EIAO pour faire de l'évaluation Interactive Avec l'Ordinateur, Thèse de doctorat de l'Université du Maine, Le Mans, Janvier 1993.
- [KRIEF 92] : P. Krief, Utilisation des langages objets pour le prototypage, Etudes et Recherches en Informatique, 248 p., Masson édition, 1992.
- [LEROUX 93] : P. Leroux, ROBOTTEACH : un générateur de sessions pédagogiques, Actes du Quatrième Colloque International sur la Robotique Pédagogique, Liège, 5-8 Juillet 1993.
- [NICAUD 94] : J.F. Nicaud, Modélisation en EIAO, les modèles d'APLUSIX, Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol 14/1.2, pp. 68-112, Grenoble, La Pensée Sauvage, 1994.
- [RITTER 93] : C. Ritter, Simulateur et tuteur intelligent : l'exemple d'un environnement de "Découverte Guidée", Thèse de l'Université du Maine, Le Mans, Décembre 1993.
- [ROBERT 92] : A. Robert, Problèmes méthodologiques en didactique des mathématiques, Recherches en Didactique des Mathématiques, vol. 12, n° 1, p.33-58.
- [SCHOENFELD et al 90] : A.H. Schoenfeld, J.P. Smith III, A. Arcavi, Learning, In R. Glaser (Ed.), Advances in Instructional Psychology Vol 4, 112 p., 1990.
- [SELF 88] J. Self, Bypassing the intractable problem of student modelling, ITS 88, Montréal, Juin 1988, p. 18-24.
- [TEUTSCH 94] : P. Teutsch, Environnements Interactifs et Langues Etrangères, MARPLE : système d'évaluation et de suivi de formation, Thèse de doctorat de l'Université du Maine, Le Mans, Janvier 1994.

[VIVET et al 88] : M. Vivet, M. Fattersack, J.M. Labat, Métaconnaissance dans les tuteurs intelligents, Actes du congrès I.T.S., Montréal, 1988.

[VIVET 1991a] VIVET M., Usage des tuteurs intelligents : prise en compte du contexte, rôle du maître, Actes des Journées EIAO, PRC-IA, Editions de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 1991, p.247-252.