HAL
open science

Conception, réalisation et évaluation d'interfaces en EIAO : l'exemple de PÉPITE

Stéphanie Jean, Elisabeth Delozanne, Pierre Jacoboni, Brigitte Grugeon

To cite this version:

Stéphanie Jean, Elisabeth Delozanne, Pierre Jacoboni, Brigitte Grugeon. Conception, réalisation et évaluation d'interfaces en EIAO : l'exemple de PÉPITE. Actes des 5èmes journées EIAO de Cachan, 1997, Cachan, France. pp.37–48. hal-01437184

HAL Id: hal-01437184

https://hal.science/hal-01437184

Submitted on 17 Jan 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception, réalisation et évaluation d'interface en EIAO, l'exemple de PÉPITE.

Stéphanie Jean, Élisabeth Delozanne, Pierre Jacoboni
LIUM (Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine)
Avenue Olivier Messiaen
72085 LE MANS cedex 9, France
jean@lium.univ-lemans.fr

Brigitte Grugeon
DIDIREM - Paris VII
2 place Jussieu
75 251 PARIS Cedex 05, France

RÉSUMÉ : Le travail présenté ici s'insère dans un projet pluridisciplinaire, le projet PÉPITE, dont le but est de construire un système de diagnostic qui établit des profils d'élèves à partir d'une grille d'analyse multidimensionnelle des compétences en algèbre élémentaire. Cet article s'intéresse à la conception, la réalisation et l'évaluation d'interface en EIAO. Nous y présentons la méthode adoptée pour la mise en œuvre d'un logiciel de test qui propose des tâches aux élèves et recueille des observables pour le module de diagnostic.

Nous abordons ici, du point de vue de concepteurs d'interface, les problèmes liés à la réutilisation d'une expertise didactique menée sur des tâches papier - crayon et, en particulier, celui du transfert de ces tâches sur machine. L'accent est mis sur la méthode de conception adoptée et la détermination des critères d'évaluation du logiciel PÉPITEST.

1. Introduction

Les travaux en ergonomie des Interfaces Homme - Machine (IHM) mettent en évidence que l'utilisateur d'un dispositif technique est confronté à un double problème : celui du transfert de ses connaissances du travail, et celui de l'apprentissage du fonctionnement du système [SEN 93]. En EIAO, ces problèmes de transfert de sens pour les élèves sont repérés par les didacticiens sous le terme de transposition informatique [BAL 94] [ART 95] : les contraintes techniques et matérielles affectent les connaissances tant au niveau de la représentation, qu'au niveau des actions et de la perception de leurs effets.

Cet article traite des problèmes rencontrés par les concepteurs d'interface pour des EIAO lors du transfert de tâches papier - crayon en tâches machine. L'usage de l'ordinateur en éducation ne se limite pas à des activités de ce type, cependant la

réutilisation par des EIAO de travaux pédagogiques prévus pour un environnement papier - crayon nous semble présenter un intérêt certain.

Dans cet article nous abordons ces problèmes en nous appuyant sur un logiciel réalisé dans le cadre du projet PÉPITE. L'accent est mis sur la méthode de conception adoptée et la détermination des critères d'évaluation du logiciel de test. Nous présentons tout d'abord l'analyse des tâches papier - crayon à transférer ainsi que les objectifs du système (analyse des besoins et analyse de la tâche). Puis, nous évoquons la conception des tâches sur machine en nous référant à ce que nous voulons observer dans les productions des élèves. Nous présentons enfin l'expérimentation menée auprès des utilisateurs.

2. Les fondements du projet PÉPITE

Le projet PÉPITE[1] a pour objectif de construire un environnement informatique capable de modéliser le fonctionnement cognitif des élèves du secondaire en algèbre élémentaire. Le projet LINGOT qui lui fera suite s'appuiera sur cette modélisation pour proposer aux élèves des situations d'apprentissage susceptibles de favoriser une évolution de leurs connaissances. Le principe est d'aller trouver dans le fonctionnement des élèves les granules de connaissances (les pépites) sur lesquels s'appuyer pour leur permettre de construire des connaissances nouvelles.

D'après [BAR 95], « le problème général du diagnostic automatique dans un EIAO est d'inférer les informations du modèle de l'apprenant à partir de ce qui est perçu du comportement de celui-ci, c'est-à-dire d'effectuer une analyse et une interprétation des données recueillies au cours de l'interaction ». Dans le projet PÉPITE, nous nous appuyons sur une étude didactique et cognitive rigoureuse validée sur le plan académique, sur le plan institutionnel et sur le plan expérimental [GRU 95]. Dans cette partie, nous exposons les fondements du projet : l'analyse didactique et les outils papier - crayon de diagnostic mis au point par Brigitte Grugeon. Nous présentons ensuite l'architecture générale du projet PÉPITE.

2.1. L'analyse didactique

Cette recherche en didactique des mathématiques[2] part de l'hypothèse de construction des connaissances : les élèves ont construit des connaissances parfois différentes des connaissances de référence. Les productions des élèves présentent de ce fait des cohérences, des régularités qui reflètent leurs connaissances. Un des résultats de ce travail[3] est un outil permettant d'interpréter les productions des élèves afin de trouver les points d'appui pour faire évoluer leurs connaissances. Cet outil est composé d'une série de tâches papier - crayon et d'une grille d'analyse

---

[1] Rassemblant, en informatique, Martial Vivet, Élisabeth Delozanne, Pierre Jacoboni et Stéphanie Jean du LIUM et, en didactique des mathématiques, Michèle Artigue et Brigitte Grugeon du laboratoire DIDIREM de Paris VII.

[2] Ce travail s'appuie sur de nombreux travaux en didactique des mathématiques parmi lesquels [CHE 89] [DOU 86] [DUV 88] [NIC 94] [SFA 91] [VER 87].

[3] Cette thèse comporte en outre une étude des rapports institutionnels des élèves à l'algèbre qui est hors de propos ici.

multidimensionnelle permettant d'interpréter les productions des élèves pour établir leur profil en algèbre élémentaire.

2.1.1.Les tâches - papier - crayon

Trois types d'exercices papier - crayon sont proposés aux élèves lors du test :
– **les exercices techniques** dont le but est de déterminer les procédures de calcul numérique et de manipulation formelle mises en œuvre par l'élève,
– **les exercices de reconnaissance** qui visent à établir comment l'élève identifie et interprète les expressions algébriques dans le registre des écritures algébriques ou en liaison avec d'autres registres sémiotiques,
– **les exercices de mathématisation** dont l'objectif est d'identifier si l'élève utilise le type de traitement algébrique attendu, comment il traduit des problèmes dans le cadre algébrique et met en œuvre les outils adaptés à la résolution.

Les réponses des élèves aux exercices sont, dans ce travail didactique, analysées *manuellement* par les enseignants à l'aide de la grille d'analyse multidimensionnelle.

2.1.2.La grille d'analyse multidimensionnelle

Cette grille comporte six composantes [GRU 95, p 11] :
– le **traitement algébrique** permet de déterminer en termes de réussite / échec la compétence algébrique de l'élève par rapport à des types de traitements attendus,
– le **rapport arithmétique / algèbre** permet de préciser le sens accordé par l'élève à la démarche algébrique et de le situer par rapport à la démarche arithmétique,
– la **gestion dans le registre des écritures algébriques** vise à étudier la façon dont l'élève gère les expressions algébriques,
– l'**articulation entre les différents registres** permet d'identifier des formes privilégiées de gestion et d'articulation entre les différents registres sémiotiques,
– la **fonction de l'algèbre** a pour rôle de décrire les rapports de l'élève à l'algèbre,
– la **rationalité algébrique** permet d'identifier l'utilisation de l'algèbre par l'élève comme outil de généralisation et de preuve.

À chacune de ces composantes d'analyse sont associés des critères. Lors de la correction des tests, les enseignants attribuent à chaque réponse de l'élève des valeurs globales aux différents critères des composantes d'analyse de la grille. Certaines valeurs globales sont précisées par des valeurs locales liées à l'exercice.

L'exercice suivant (cf. figure 1) concerne en particulier pour la composante *articulation entre les différents registres* le critère *type de conversion*. Ce critère a pour valeurs globales possibles *correct*, *identifiable* et *non identifiable*. La valeur globale *identifiable* est détaillée dans cet exercice par les valeurs locales *confusion inverse/opposé, confusion double/carré* et *inversion des opérations*, ce qui permet de préciser le type de conversion utilisé dans le contexte de l'exercice. Pour ce critère, le diagnostic attribue à l'élève la valeur locale *confusion inverse / opposé*.

Complète le tableau en écrivant une phrase traduisant chaque étape du programme de calcul en face de l'expression algébrique correspondante.

Etape 1	*Soit un nombre de départ désigné par x*	*x*

Etape 2	Ajouter 3 à l'inverse du nombre de départ.....	$-x+3$
Etape 3	Mettre le tout au carré.....	$(-x+3)^2$
Etape 4	Ajouter 4 et diviser 1 par le nouveau nombre.....	$\frac{1}{(-x+3)^2+4}$

Figure 1 : Exemple de tâche papier - crayon.

2.1.3.Les profils d'élèves

L'application de la grille d'analyse aux productions d'un élève sur les tâches papier - crayon produit un ensemble de valeurs de critères pour chaque tâche. Ce résultat qui nécessite une analyse didactique importante est appelé *codage* des productions des élèves. Cette description très fine du comportement est trop détaillée pour être utilisée sous cette forme par les enseignants (ou par un système). Une analyse transversale des résultats de la grille permet d'établir une description de plus haut niveau, le *profil cognitif* de l'élève, utilisable pour comprendre et faire évoluer son fonctionnement et donc pour agir contre l'échec.

Ces profils comportent trois niveaux de description (cf. annexe):

– une **description quantitative des compétences algébriques** en terme de taux de réussite pour les exercices techniques et les exercices de mathématisation,

– une **description qualitative des cohérences de fonctionnement**, composante par composante, en terme de *modalités* de fonctionnement obtenues par recoupement des valeurs de certains critères sur l'ensemble des exercices,

– une **description de la flexibilité entre les registres** (entre le registre algébrique et les autres registres sémiotiques), représentée par un diagramme.

Cet outil de diagnostic papier - crayon (cf. figure 2) a fait l'objet de plusieurs expérimentations, il a en particulier été testé en juin 1996 sur 600 élèves de collège. Les copies des élèves provenant de cette expérimentation ont servi de corpus pour la conception du logiciel de test des élèves du projet PÉPITE.

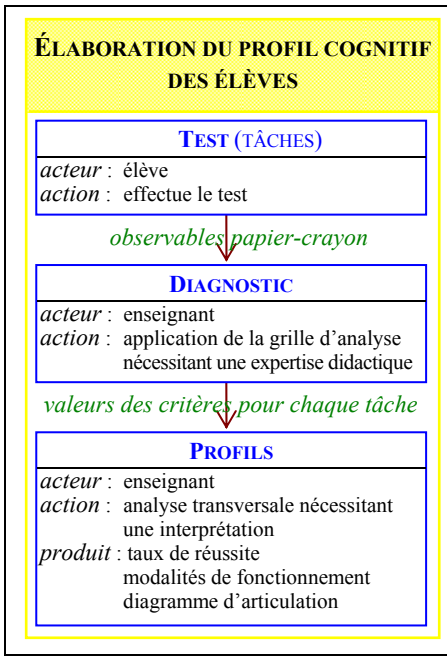
2.2. Le diagnostic dans PÉPITE

Le projet PÉPITE vise à automatiser l'outil de diagnostic papier-crayon mis au point par Brigitte Grugeon. L'architecture de PÉPITE comporte trois modules :

– PÉPITEST qui propose aux élèves une adaptation des tâches papier - crayon au support informatique et qui recueille leurs réponses. Ce logiciel est réalisé, il a fait l'objet d'une première expérimentation en octobre 1996. C'est ce travail qui est présenté et discuté dans la suite de l'article.

– PÉPIDIAG qui interprète et code les productions des élèves, à partir des observables fournis par PÉPITEST selon la grille d'analyse multidimensionnelle, en attribuant des valeurs aux critères mis en jeu par l'exercice. La recherche sur cette partie centrale du projet est en cours, ce module n'est pas réalisé.

– PÉPIPROFIL qui, à partir du codage précédent, établit les profils des élèves et les présente aux utilisateurs (enseignants ou chercheurs). Le calcul des profils, à partir des résultats du diagnostic, est fondé sur des fonctions d'évaluation assez élémentaires [GRU 95]. Ce module est réalisé mais n'est pas détaillé ici.



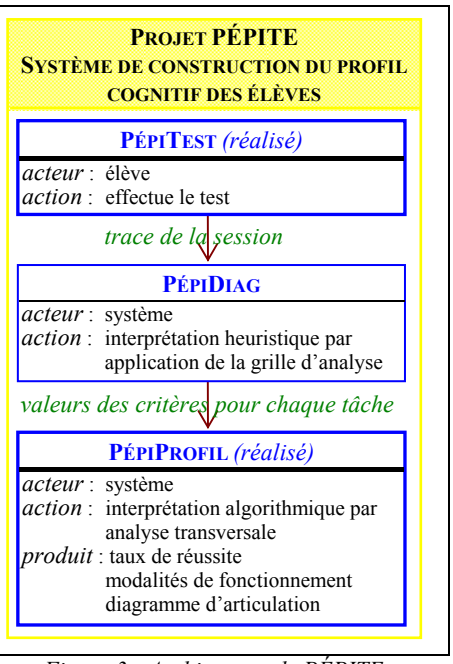


Figure 2 : L'outil de diagnostic papier - crayon. *Figure 3 : Architecture de PÉPITE.*

3. Conception de PÉPITEST

Dans ce paragraphe nous présentons, dans un premier temps, la démarche de conception retenue pour mettre au point PÉPITEST. Nous précisons en particulier les dimensions, objectifs et méthodes d'évaluation du logiciel. Dans un second temps, nous dissocions les problèmes ergonomiques d'utilisation, de ceux liés au transfert des tâches de l'environnement papier-crayon à l'environnement informatique[4].

3.1. Démarche de conception

De nombreux ouvrages traitant de l'ergonomie des interfaces recommandent de considérer l'évaluation comme un *état d'esprit* [KOL 93] qui doit se manifester tout au long de la conception d'un système. Cette préoccupation de valider les choix de conception et de détecter de façon précoce les éventuels problèmes d'utilisation se traduit souvent par l'adoption d'une démarche itérative de conception fondée sur la réalisation de maquettes et de prototypes qui sont évalués puis éventuellement modifiés. Le prototypage permet d'atteindre les objectifs de la conception centrée - utilisateur, à savoir créer un système facile à apprendre et à utiliser [PRE 94]. Un des bénéfices supplémentaires du prototypage est de favoriser la communication autour du projet avec les clients et au sein de l'équipe pluridisciplinaire de conception [KRI 92], [VAN 96] par exemple.

[4] Cette distinction est introduite pour la commodité de l'exposé, l'ergonomie s'intéressant elle aussi aux problèmes de tâches et non seulement à l'aspect superficiel de l'interface.

Cette démarche impose le recensement précoce des critères et méthodes d'évaluation. Senach distingue deux dimensions principales pour l'évaluation, l'utilité du produit et son utilisabilité [SEN 93]. L'utilité s'intéresse à l'adéquation du logiciel aux objectifs de haut niveau du client. L'utilisabilité concerne la capacité du logiciel à permettre à l'utilisateur d'atteindre facilement ses objectifs.

En ce qui concerne PÉPITEST, l'utilisateur est l'élève dont l'objectif est de résoudre les exercices en obtenant la meilleure note possible. Le client est la personne ou le système informatique chargé d'effectuer le diagnostic sur les productions des élèves. L'utilisabilité du logiciel concerne la qualité de l'interface que nous évaluons à l'aune des critères et recommandations ergonomiques [par exemple BAS 93]. L'utilité concerne la capacité du logiciel à rendre compte du comportement de l'élève pour établir le diagnostic. Du point de vue du concepteur, le problème consiste à définir des tâches sur machine qui déterminent des observables *équivalents* à ceux du test papier-crayon. De ce point de vue, l'évaluation consiste à préciser cette équivalence.

3.2. Utilisabilité de PÉPITEST

Les méthodes d'évaluation que nous avons retenues pour la dimension utilisabilité sont les méthodes classiques utilisées pour la conception d'IHM : adapter les recommandations ergonomiques à notre problème, soumettre nos prototypes à des jugements d'experts, à des tests informels d'acceptabilité auprès d'utilisateurs hors contexte d'utilisation, et enfin à une expérimentation contrôlée dans une classe de lycée.

Certaines recommandations ergonomiques sont particulièrement importantes dans le cas de PÉPITEST. Le guidage est primordial. En effet, chaque élève fait le test une seule fois, il ne peut donc pas y avoir de séance de prise en main du logiciel. L'élève est guidé par les consignes, par la structuration de l'écran, sa cohérence et son homogénéité. L'objectif d'utilisation étant le diagnostic et non l'apprentissage, l'élève exerce un contrôle explicite sur le système. Comme dans l'environnement papier - crayon l'élève peut changer d'exercice et modifier ses réponses quand il le souhaite, sauter des questions et revenir en arrière.

3.3. Utilité de PÉPITEST

Pour évaluer la dimension utilité, nous nous appuyons sur les méthodes issues de la didactique des mathématiques [ROB 92] [ART 90]. L'activité de l'élève sur les tâches PÉPITEST doit fournir des observables permettant à un didacticien (et plus tard au logiciel PÉPIDIAG) d'appliquer la grille d'analyse. Notons que cette grille nous sert à la fois à établir le diagnostic et à évaluer les tâches PÉPITEST. Ceci n'est pas un hasard, puisque ce travail didactique est utilisé par ailleurs [GRU 95] pour le diagnostic et aussi pour étudier les cahiers d'élèves et évaluer les tâches proposées aux élèves dans l'enseignement usuel. En phase de conception de PÉPITEST, nous retenons comme critère de validation la possibilité pour les didacticiens d'effectuer le codage des observables obtenus lors d'une expérimentation en classe et d'obtenir ainsi des profils confirmés par l'enseignante de la classe.

A priori, les tâches papier - crayon de type QCM ne posent pas de problèmes de transfert. Par contre les tâches qui nécessitent la production par les élèves de phrases

en français ou d'expressions mathématiques (en particulier les exercices de mathématisation) sont problématiques. En effet on peut craindre que les utilisateurs simplifient tellement leur syntaxe en saisissant des phrases au clavier que cela ne masque leur propos. Mais, on constate déjà le même phénomène de simplification en comparant des corpus papier - crayon recueillis en situation de test en classe à ceux recueillis en situation de devoir à la maison. En ce qui concerne les expressions mathématiques, différents auteurs [dont ART 95] ont relevé par exemple que le passage pour les fractions ou les racines carrées d'une écriture spatiale (papier - crayon) à une écriture linéaire (le clavier ne dispose que d'une barre de fraction) perturbe les élèves. Dans notre méthodologie de conception l'un des buts de l'expérimentation est de fournir des corpus pour étudier dans quelle mesure ces contraintes d'expression modifient les observables et biaisent le diagnostic.

En fait, chaque tâche pose des difficultés particulières liées à la nature des activités cognitives mises en jeu et précisée dans la grille d'analyse. L'étude détaillée de chacune de ces tâches sort du cadre de cet article [JEA 96]. Nous nous limitons ici à présenter un exemple.

3.4. Exemple de transfert de tâche

Cet exercice (cf. figure 1) cherche à identifier chez l'élève les règles de conversion utilisées pour passer du registre algébrique au registre du langage naturel. Dans le corpus papier - crayon, nous avons relevé seulement deux cas : soit les élèves n'ont pas traité la question, soit ils ont utilisé un nombre très limité de termes, dont nous avons établi la liste exhaustive. Nous avons choisi de transférer cet exercice en proposant une palette de termes pour construire les phrases (cf. figure 4). L'ensemble de ces termes est suffisant à la construction des phrases correctes, mais permet également un certain nombre d'erreurs attendues ou non. Cet outil modifie l'activité proposée : c'est incontestablement une aide fournie aux élèves, aide qui ne donne cependant pas d'indication sur la réponse. L'exercice mis en place peut permettre de *débloquer* certains élèves sans pour autant les empêcher de donner des réponses erronées. A priori, nous nous attendons à plus de réponses à cet exercice dans sa version informatisée que dans sa version papier - crayon.

Figure 4 : Un exemple de tâche dans PÉPITEST.

4. Expérimentation

PÉPITEST a fait l'objet d'une expérimentation qui avait pour objectifs :
– de valider l'interface du point de vue de son *utilisabilité*,
– de recueillir un corpus sur le test informatisé et de le comparer au corpus papier - crayon, en particulier pour les exercices de mathématisation et certains exercices dont la version informatisée est très différente de la version papier - crayon,
– de vérifier par une étude de cas que les productions des élèves sur les tâches PÉPITEST permettent aux didacticiens de construire *à la main* les profils d'élèves.

L'expérimentation s'est déroulée en octobre 1996 dans une classe de seconde de trente-deux élèves d'un lycée de la banlieue parisienne. La séance a duré 1h 45 sur l'horaire habituel d'un cours de mathématiques. Les élèves disposaient d'un poste chacun et étaient répartis en deux salles. Ces élèves étaient supposés être familiarisés à l'utilisation d'un ordinateur par le biais de cours de technologie au collège. Il était matériellement impossible d'organiser une séance préalable de prise en main du logiciel et de ses outils.

Nous avons recueilli les données suivantes :
– les traces de la session, qui mémorisent les réponses des élèves aux exercices (équivalent aux renseignements recueillis dans le test papier - crayon) ainsi que des informations sur l'utilisation des outils et le chronométrage,
– un questionnaire rempli par l'élève,
– les fiches remplies par les observateurs lors de l'expérimentation (trois

didacticiennes, deux informaticiennes et l'enseignante de la classe),
– les éventuels brouillons papier des élèves.

Nous présentons ici les résultats obtenus au regard des trois objectifs que nous nous étions fixés pour cette expérimentation : utilisabilité de l'interface, différences entre les deux types de corpus pour les exercices de mathématisation et possibilité de construire les profils cognitifs à partir des productions des élèves.

4.1. Utilisabilité du logiciel

Dès la fin de la première demi-heure, les questions portant sur l'utilisation du logiciel ont disparu. Les questions posées par les élèves durant cette période concernaient l'utilisation d'un ordinateur (clavier, retour à la ligne, glisser - lâcher, sélection des champs), l'utilisation des outils de PÉPITEST (la gomme), les mathématiques (parenthésage, calcul, terminologie) et les mathématiques avec PÉPITEST (saisie d'expressions mathématiques). Pour les deux derniers points, les difficultés ont évidement perduré pour certains élèves.

La prise en main du logiciel à travers la résolution d'exercices a donc nécessité moins d'une demi-heure. Globalement, le guidage mis en place (structuration de l'écran, curseurs, bulles d'aide) a bien fonctionné. Nous envisageons cependant de diminuer le temps d'apprentissage en proposant deux ou trois écrans présentant les quelques manipulations de base nécessaires à l'utilisation de PÉPITEST.

Notons enfin que comme l'ont déjà montré d'autres expérimentations [DEL 94] [SCH 92], les outils sophistiqués sont sous-utilisés.

4.2. Différences entre les corpus et construction « manuelle » des profils

Nous avons constaté, en observant les élèves pendant le test et en étudiant les traces des sessions, que les élèves se comportent globalement de façon similaire durant le test machine et durant le test papier - crayon : ils font le test de façon linéaire, le nombre d'exercices traités est du même ordre de grandeur.

Comme nous l'avions prévu, la saisie des expressions algébriques a posé des problèmes aux élèves sans toutefois les empêcher d'en écrire. Certains exercices peu traités en papier - crayon le sont davantage sur PÉPITEST, en particulier l'exercice présenté à la figure 4. Nous n'avons pas constaté le phénomène inverse.

Le résultat le plus intéressant de notre point de vue de concepteur est sans conteste que, sur les premières productions analysées, la didacticienne a pu appliquer la grille d'analyse et obtenir des profils cognitifs validés par l'enseignante de la classe.

Enfin, un élément inattendu est apparu : des études de cas semblent indiquer que les productions sur les exercices de mathématisation sont similaires et que dans les exercices atypiques PÉPITEST amplifie la déstabilisation de certains élèves ce qui met en relief les comportements que l'on cherche à identifier. Une étude didactique est en cours pour préciser la nature de ces perturbations.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté le logiciel PÉPITEST qui recueille des observables pour diagnostiquer les compétences des élèves en algèbre. PÉPITEST a été entièrement réalisé et a subi avec succès l'épreuve d'une expérimentation en classe, ce qui conclut le premier cycle de prototypage de la démarche itérative de conception [DEL 94] [VAN 96].

Nous avons insisté sur les problèmes de conception et d'évaluation de l'interface en nous appuyant sur des travaux en EIAO et en ergonomie des interfaces. Nous nous sommes attachés à définir les critères d'évaluation de PÉPITEST à savoir préciser l'équivalence entre les observables déterminés à partir des tâches papier - crayon et ceux de PÉPITEST.

En se référant au modèle de l'élève proposé par Nicolas Balacheff [BAL 94], PÉPITEST fournit dans sa trace un ensemble d'observables qui forme un *modèle comportemental*. La phase de diagnostic correspond à une interprétation de ces observables, en ce sens, le résultat de l'application de la grille constitue un type de *modèle épistémique*. On peut considérer qu'il s'agit d'un *modèle procédural*, puisqu'on interprète les productions des élèves en leur associant un type de fonctionnement algébrique. Quant aux profils calculés par PÉPIPROFIL, ils constituent le second type de modèle épistémique, un *modèle conceptuel*. En effet, une analyse transversale des résultats de l'application de la grille d'analyse permet d'établir le profil des élèves, reflet de leurs conceptions. Plus précisément, les profils sont la conception qu'a le didacticien (ou le système) des conceptions des élèves.

Notre critère de validation de PÉPITEST qui consiste à vérifier que les observables obtenus à partir du logiciel permettent de construire des profils équivalents aux profils papier - crayon correspond à un *homomorphisme de comportement* entre les modèles comportementaux papier - crayon et machine. La validation du projet PÉPITE consiste à démontrer *l'épistémomorphisme* puisqu'elle « permet de mettre en évidence que le modèle épistémique construit par la machine rend compte des propriétés conceptuelles et structurelles décrites par la conception attribuée par ailleurs à l'élève au terme de l'analyse didactique » [BAL 94, p 27].

6. Références bibliographiques

[ART 90] Artigue M : *Ingénierie didactique*. RDM, Vol. 9, N°3, 1990, p 281-308.

[ART 95] Artigue M : *Une approche didactique de l'intégration des EIAO à l'enseignement*. EIAO, Tome 2, Eyrolles, Paris, 1995, p 17-28.

[BAL 94] Balacheff N : *Didactique et intelligence artificielle*. in N. Balacheff et M. Vivet, Didactique et intelligence artificielle, La pensée sauvage, 1994, p 7-42.

[BAR 95] Baron M et Vivet M : *Modélisation de connaissances pour des environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur*. Actes des 5èmes journées nationales du PRC-GDR IA, Teknea, 1995.

[BAS 93] Bastien C et Scapin D : *Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces*. RT n°156, INRIA, juin 1993.

[CHE 89] Chevallard Y : *Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège - Deuxième partie. Perspectives curriculaires : la notion de modélisation*. Petit x, n°19, 1989, p 43-75.
[DEL 94] Delozanne E : *Un projet pluridisciplinaire : ÉLISE*. in N. Balacheff et M. Vivet, Didactique et intelligence artificielle, La pensée sauvage, 1994, p 211-249.
[DOU 86] Douady R : *Jeux de cadres et dialectique outil/objet*. RDM, Vol. 7.2, La pensée sauvage, 1986, p 5-32.
[DUV 88] Duval R : *Écarts sémantiques et cohérence mathématique : introduction aux problèmes de congruence.* Annales de Didactique et de Sciences Cognitives 1, IREM de Strasbourg, 1988.
[GRU 95] Grugeon B : *Étude des rapports institutionnels et des rapports personnels des élèves à l'algèbre élémentaire dans la transition entre deux cycles d'enseignement : BEP et Première G*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, 1995.
[JEA 96] Jean S : *PÉPITEST : un logiciel pour tester les connaissances des élèves en algèbre élémentaire*. Rapport interne du LIUM, Le Mans, 1996.
[KOL 93] Kolski C : *Ingénierie des interfaces homme - machine, conception et évaluation*. Hermès, 1993.
[KRI 92] Krief P : *Utilisation des langages objets pour le prototypage*. Études et recherches en Informatique, Masson, 1992.
[NIC 94] Nicaud J-F : *Modélisation en EIAO, les modèles d'APLUSIX*, Recherche en didactique des mathématiques, Vol. 14, n°1-2, pp. 67-112, 1994.
[PRE 94] Preece J, Rogers Y, Sharp H, Benyon D, Holland S, Carey T : *Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, 1994.
[ROB 92] Robert A : *Problèmes méthodologiques en didactique des mathématiques*. RDM, Vol. 12, n°1, 1992, p 33-58.
[SCA 93] Scapin D : *Situation et perspectives en ergonomie du logiciel*. L'ergonomie dans la conception des projets informatiques, Octares éditions, 1993, p 7-68.
[SEN 93] Senach B : *L'évaluation ergonomique des interfaces homme - machine*. L'ergonomie dans la conception des projets informatiques, Octares éditions, p 69-122, 1993.
[SFA 91] Sfard A : *On the Dual nature of mathematics conceptions : reflections on processes and objects as different side of the same coin*. Educational Studies in Mathematics, Vol. 22, p1-36, 1991.
[SHN 92] Shneiderman B *: Designing the user Interface*. Addison Wesley, 1992.
[VAN 96] Van-Heylen H, Hiraclides G : *GRAAL, En quête d'une démarche de développement d'interface utilisateur.* Angkor éditions scientifiques, 1996.
[VER 87] Vergnaud G , Cortès A, Favre-Artigue P : *Introduction de l'algèbre auprès de débutants faibles, problèmes épistémologiques et didactiques,* Actes du colloque de Sèvres : Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, 1987.

7. Annexe : un exemple de profil cognitif

	Exercices techniques	*Ex. de mathématisation*	*Ex. de reconnaissance*
①	40% Reproduction de tâches formelles non finalisées de niveau 1	42% Traduire algébriquement une relation dans un contexte fermé Utilisation de l'outil algébrique pour étudier d'autres notions	
②		Selon le contexte : du côté arithmétique ou du côté scientifique	Du côté scolaire / du côté scientifique
③	Écriture algébrique correcte parfois sans ( )	Manipulation formelle opératoire de niveau 0	
④		Produire une équation de droite Traduire algébriquement une rel.	
⑤		Rationalité pré-scientifique Preuves pragmatiques Appel au numérique	Rationalité scolaire/scientif. - règles au niveau opératoire - raisonnement élimination - utilisation de l'outil algébr.

① *: Traitement algébrique*
② *: Rapport arithmétique/algèbre*
③ *: Gestion dans le registre algébrique*
④ *: Fonction de l'algèbre*
⑤ *: Rationalité algébrique*

Tableau descriptif du profil d'un élève en termes de réussite / échec et de cohérences.

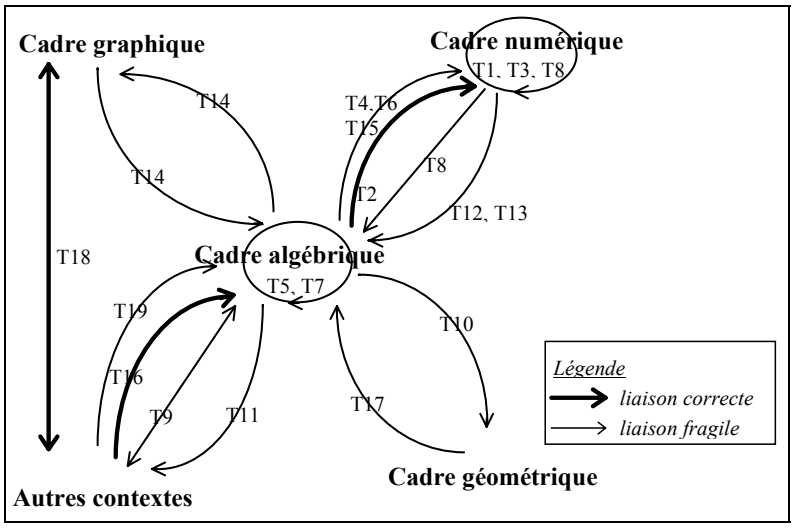


Diagramme d'articulation entre le registre algébrique et les autres registres sémiotiques.