

Modélisation cognitive en algèbre élémentaire : une conception itérative

Dominique Prévité^{1,2}, Elisabeth Delozanne³, Brigitte Grugeon^{4,5}

¹LIUM, Avenue Olivier Maessian, 72085 LE MANS Cedex 09, France

²IUFM de Bretagne 153, rue de Saint-Malo CS 54310 35043 RENNES Cedex,

dominique.previt@bretagne.iufm.fr

³CRIP5, Université René Descartes, 45 rue des Saint Pères, 75270 PARIS Cedex 6

elisabeth.delozanne@math-info.univ-paris5.fr

⁴DIDIREM - Paris VII, 2, Place Jussieu, 75 251 PARIS Cedex05, France

⁵IUFM d'Amiens 49, boulevard de Châteaudun 80044 AMIENS CEDEX

Brigitte.Grugeon@amiens.iufm.fr

Résumé

Dans cet article, nous montrons en quoi les expérimentations menées sur un premier prototype de logiciel de diagnostic de compétences en algèbre élémentaire ont fait évoluer le projet Pépite. Elles nous ont conduit d'abord à affiner le module de diagnostic automatique, puis à imaginer des scénarios d'utilisation plus réalistes et plus divers que les scénarios initiaux. Enfin, pour faciliter l'exploitation de ces modèles dans différents contextes, nous décrivons la redéfinition complète de l'architecture du système et des différents niveaux de modélisation cognitive.

Mots-clé

Modèle cognitif, bilan de compétences, dispositifs et usages, formation d'enseignants.

Abstract

In this paper we show how the different test of a prototype give new challenges to the Pépite project, a project to build software to model students' competencies in algebra. First we sketch the whole project and we sum up the important results of testing. After we present how we improve the diagnosis module. Then we describe some scenarii of use imagined by potential users and give indications how those scenarii would help to define a new system..

Key words

Cognitive model, performance appraisal, applications and uses, teachers training.

Introduction

« Pour beaucoup d'étudiants les mathématiques et particulièrement l'algèbre est le verrou d'accès à l'enseignement supérieur scientifique » (Chick et al 2001). Cette affirmation de chercheurs australiens s'applique aux élèves de l'enseignement secondaire français mais aussi aux populations d'adultes qui souhaitent aborder des formations professionnelles.

Le projet Pépite est le volet diagnostic d'un projet plus large, le projet Lingot, projet pluridisciplinaire regroupant des chercheurs (informaticiens, didacticiens des mathématiques, psychologues ergonomes), des enseignants de mathématiques et des formateurs. L'objectif est de concevoir des logiciels qui secondent les enseignants et les formateurs dans la régulation des apprentissages en algèbre, c'est-à-dire de concevoir des outils qui leur permettent de prendre en compte la diversité cognitive des apprenants afin de gérer à la fois le groupe et les apprentissages individuels. Ce projet repose sur l'hypothèse que les réponses des apprenants à un ensemble de problèmes bien choisis révèlent des cohérences dans leurs raisonnements. La compréhension de ces cohérences devrait aider les enseignants et les formateurs à réguler les situations d'apprentissage. Dans notre approche, les réponses des apprenants ne sont pas analysées seulement en terme d'erreurs ou d'absence de savoir (ou de savoir-faire) mais comme des indicateurs de conceptions plus générales. Elles témoignent du développement de leur pensée algébrique mais, parfois, font obstacle à l'apprentissage. Détecter ces cohérences est une tâche très difficile pour laquelle les enseignants ne sont pas formés et, surtout, ne sont pas « outillés ». De nombreux enseignants ont mis au point des grilles de compétences qu'ils gèrent à la main pour suivre individuellement la progression des apprenants. Mais la lourdeur de cette gestion rend cette pratique difficile à maintenir dans le temps. Nous faisons l'hypothèse que des logiciels pourraient « outiller » ou « instrumenter » leur activité. D'une part, ils permettraient de rendre ces pratiques « d'enseignement sur mesure » écologiquement viables et, d'autre part, dans le cadre de formations en ligne, de tels logiciels faciliteraient à la fois la vérification des prérequis et la personnalisation des formations. Le point clé est de permettre au formateur de mettre en œuvre des stratégies d'apprentissage différenciées ce qui est très important, spécialement pour des adultes en difficulté en algèbre. La métaphore est de rechercher dans le fonctionnement des apprenants les granules de connaissances (« les pépites ») sur lesquels s'appuyer pour leur permettre de construire des connaissances nouvelles (« les lingots »).

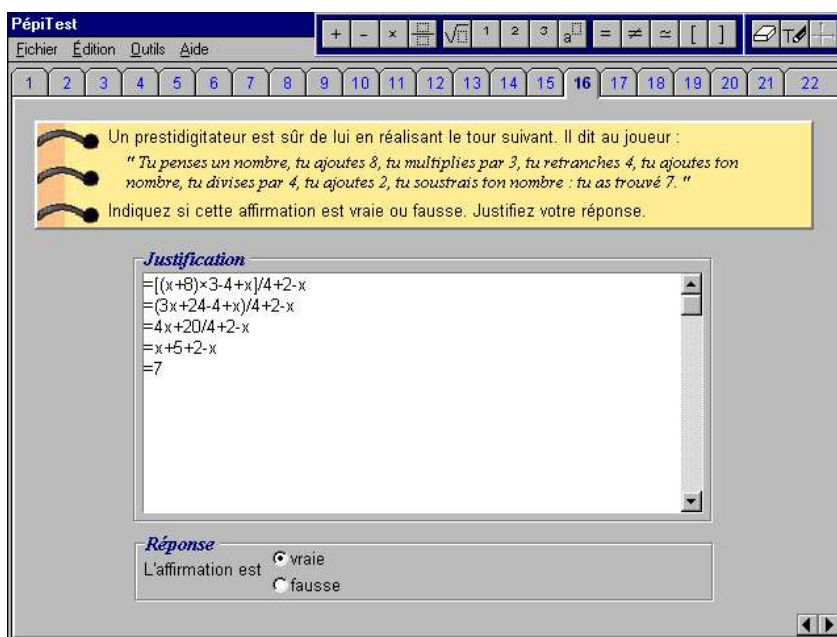


Figure 1 : Les réponses de Laurent à un exercice de PepiTest

Le fondement des projets Pépite et Lingot est un modèle multidimensionnel de la compétence en algèbre élémentaire (Grugeon 1995) qui permet de mettre en relation les différentes compétences (adéquates ou non) qu'un apprenant a construites avec les compétences attendues par l'institution de formation. La problématique du projet Pépite est une problématique de modélisation cognitive. Il s'agit de mettre en œuvre des batteries de tests qui permettent d'obtenir des profils cognitifs d'apprenants en algèbre. Un premier outil de diagnostic papier-crayon a été construit par (Grugeon 1997). Puis (Jean-Daubias 2002) a montré qu'il était possible d'automatiser au moins partiellement cet outil papier-crayon. Un premier prototype, le logiciel Pépite a été mis au point puis expérimenté. Il est téléchargeable gratuitement (site Pépite). Par rapport à d'autres logiciels d'évaluation (par exemple (Arroyo et al. 2001), (Labat 2002)), ce logiciel a deux caractéristiques principales. D'une part, fondé sur une recherche en didactique il donne une description qualitative des compétences des apprenants et ne se réduit pas à une analyse en terme de réussite/échec ou de listes d'erreurs. D'autre part, si l'analyse de réponses porte en partie sur des questions fermées (QCM), elle traite un grand nombre de réponses à des questions ouvertes. Nous résumons ici les éléments nécessaires à la compréhension de ce qui suit. Pépite est formé de trois modules :

- un module de travail pour l'apprenant appelé PépiTest. Il propose aux apprenants une série de 22 exercices tests et recueille leurs réponses (Cf. Figure1),
- un module de diagnostic PépiDiag. Il analyse automatiquement une grande partie des réponses exercice par exercice,
- un module de travail pour l'enseignant PépiProf. Dans ce module les enseignants peuvent compléter, vérifier, corriger le diagnostic établi par le logiciel (Cf. Figure 2). Ils ont la possibilité

d'avoir une vue globale (le profil cognitif de l'apprenant) ou détaillée (exercice par exercice) du diagnostic et d'analyser les réponses des apprenants compétence par compétence (Figure 3, 4).

Dans cet article, nous nous situons dans une approche itérative de la conception des EIAH qui s'appuie sur les principes, méthodes et techniques de la conception centrée utilisateurs des systèmes interactifs (Kolski 2001, Schneiderman 1986, 2004, Bruillard et al 2000). Dans cette approche la conception d'EIAH est fondée sur l'analyse des besoins des usagers par le prototypage et la création de scénarios d'utilisations (Mackay 1997, Carroll et al. 2001). Nous montrons en quoi les expérimentations menées pendant deux ans avec un premier prototype dans différents contextes, nous ont conduit à infléchir nos perspectives de recherche : tout d'abord pour améliorer le premier prototype, puis pour imaginer des scénarios d'utilisation plus réalistes et plus divers que les scénarios initiaux et, enfin, pour définir l'architecture d'un nouveau système plus générique pour être plus adaptable par les utilisateurs à leurs besoins.

Les retours d'usage

Pendant deux ans nous avons observé l'utilisation de Pépite dans différents contextes. D'abord nous avons examiné PepiTest en laboratoire, enregistrant un apprenant en vidéo. Puis environ 200 élèves en fin de collège ont passé le test. Pépite a été utilisé en atelier par des chercheurs ou des formateurs, dans la formation initiale et continue des professeurs (IUFM de Créteil, Amiens, Paris, Rennes, Montpellier). Des sessions pilotes ont été menées avec des enseignants expérimentés volontaires. Enfin quelques enseignants nous ont rapporté des utilisations que nous n'avons pas observées. Ces tests montrent plusieurs résultats décrits dans (Delozanne et al. 2002) et que nous résumons ici.



Figure 2: PepiProf, l'interface de codage de l'enseignant

Malgré des difficultés attendues pour saisir les expressions algébriques, PépiTest permet de recueillir les réponses des apprenants, sans réduire le spectre des réponses prévues par l'analyse didactique a priori. De plus, des enseignants expérimentés identifient des cohérences de fonctionnement des apprenants comparables à celles identifiées avec l'outil papier-crayon. Enfin, dans les sessions pilotes et les utilisations spontanées, les enseignants ont repéré chez certains apprenants des compétences ou encore des fragilités qu'ils n'avaient pas remarquées auparavant. La raison principale est que PépiTest propose des exercices plus divers que ceux proposés habituellement dans les classes. C'est une des raisons pour laquelle les formateurs estiment que c'est un outil utile pour appréhender les différents aspects de la compétence algébrique.

Les utilisations de PépiDiag ont démontré quelques inconsistances dans la grille d'analyse lorsqu'elle est appliquée de façon systématique et sans discernement par le logiciel. Les chercheurs doivent compléter 25 % des réponses qui ne sont pas analysées et corriger environ 10 % du codage des réponses effectué par Pépite.

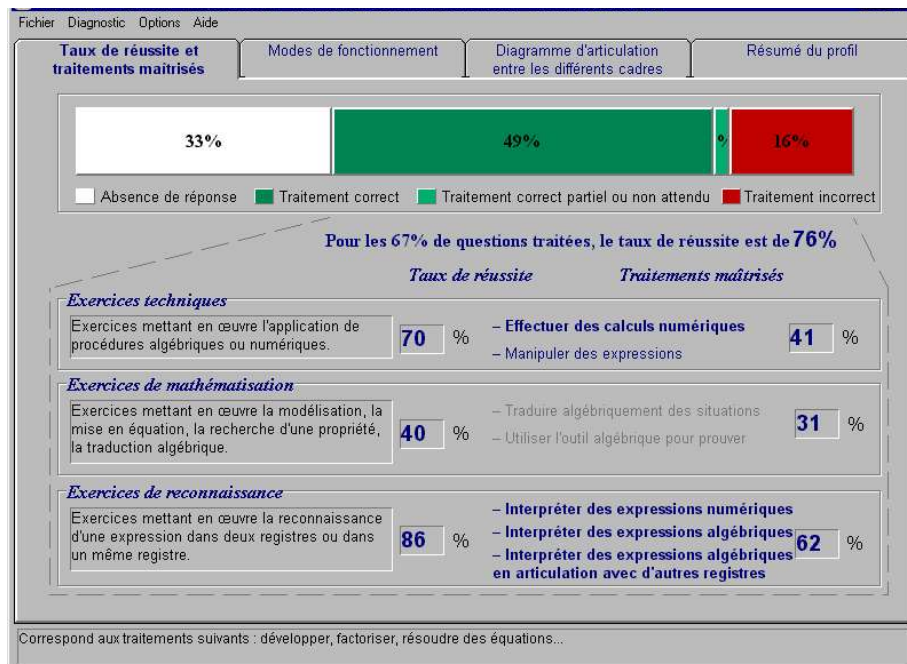
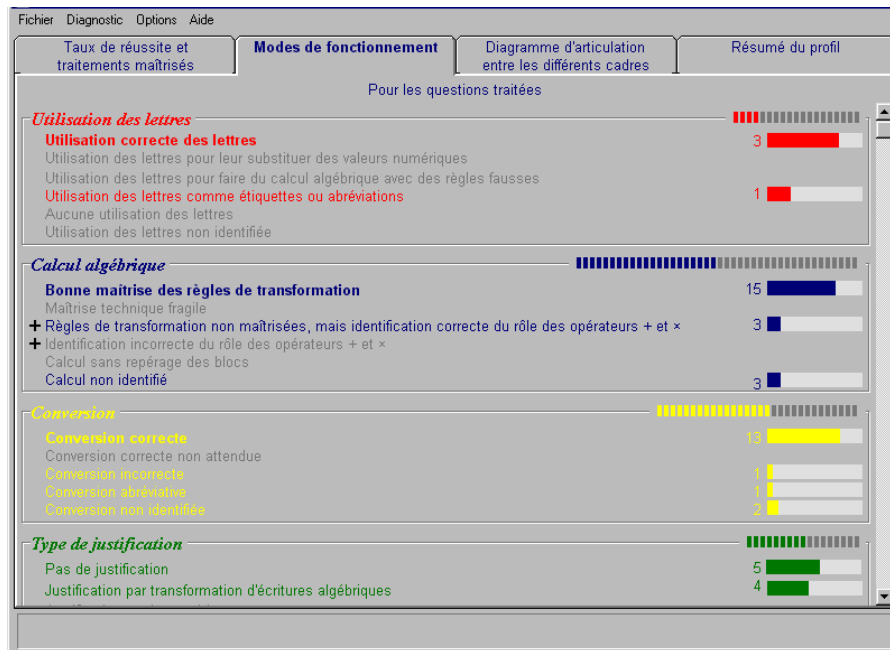
PépiProf, logiciel pour travailler sur le profil de l'apprenant a été utilisé avec satisfaction par les chercheurs et en formation professionnelle. Dans ces contextes, les utilisateurs apprécient particulièrement d'accéder aux items du diagnostic de différentes manières : à partir des réponses des apprenants, des items courants, de la liste de questions liées à ces items. Mais cette interface soulève des difficultés pour les enseignants, particulièrement pour les enseignants expérimentés :

- Ils ont des difficultés pour comprendre les items du diagnostic quand ils ne sont pas

présentés en contexte (dans un exercice avec les réponses des apprenants).

- Cette interface met en oeuvre une expertise didactique qui peut être en contradiction avec des pratiques spontanées de diagnostic.
- Dans l'état actuel du développement du logiciel, aucune stratégie d'apprentissage n'est proposée pour faire évoluer le profil cognitif. Les enseignants ne sont donc pas motivés pour s'approprier un modèle cognitif complexe et qu'ils ne savent pas comment exploiter.

Les questionnaires remplis par les enseignants, nous ont apporté diverses suggestions. Comme outil d'évaluation, les enseignants pensent que Pépite est beaucoup trop coûteux en temps. Ils voudraient pouvoir choisir les exercices. Ils demandent plusieurs tests avec différents niveaux pour pouvoir évaluer l'évolution des apprentissages. La plupart d'entre eux demandent une rétroaction du logiciel aux apprenants, parce qu'il leur est impossible de fournir une rétroaction personnelle à chaque apprenant et ceci est vrai aussi bien en présentiel qu'en formation à distance. Certains d'entre eux demandent un profil cognitif de la classe, de groupes d'étudiants au lieu de profils personnels pour organiser les apprentissages en début d'année ou pour créer des groupes de travail. La plupart d'entre eux souhaitent que le logiciel leur propose des stratégies d'enseignement pour remédier aux difficultés diagnostiquées. Toutes ces observations nous ont amenées à travailler principalement dans trois directions : tout d'abord pour fiabiliser le diagnostic automatique, puis pour étudier comment un tel logiciel peut-être exploité et s'intégrer dans des contextes de formation et enfin pour définir les spécifications d'un logiciel plus utilisable.



Amélioration du premier prototype

Un premier travail, conduit par la première auteure de cet article a consisté à fiabiliser le premier prototype pour rendre le logiciel plus utilisable.

- L'analyse des expressions algébriques a été revue et étendue afin d'analyser toutes les réponses algébriques (seules les réponses sur une ligne l'étaient dans la version 1).
- Un exercice de mathématisation très important pour le diagnostic et dont les réponses n'étaient pas analysées dans la première

version l'est maintenant : il s'agit de l'exercice du prestidigitateur (énoncé sur la Figure 1)

Les exemples qui suivent illustrent comment le diagnostic peut être exploité pour organiser la différenciation de la formation en s'appuyant sur les bilans de compétences. Puis nous expliquons, du point de vue informatique comment le logiciel établit le diagnostic sur cet exercice.

Quatre exemples

Les tableaux 1 et 2 présentent les réponses de quatre apprenants et le diagnostic effectué automatiquement par PériDiag sur cet exercice (ce que nous appelons le codage des réponses des élèves à un exercice). Les figures 1 à 4 présentent des écrans correspondants au test de Laurent.

Pépité ne construit pas un bilan sur un seul exercice mais sur un ensemble d'exercices représentatif de la compétence algébrique. Cependant à partir du diagnostic des réponses à cet exercice on peut émettre les hypothèses suivantes.

Khemarak n'est pas encore entré dans une démarche d'utilisation de l'algèbre pour prouver (preuve par l'exemple); cependant sa maîtrise des calculs numériques et sa façon d'appréhender de façon globale l'expression numérique et de la transformer par équivalence est un levier d'apprentissage qui devrait lui permettre d'entrer rapidement dans une démarche algébrique. Il faudrait vérifier sur d'autres exercices du test, mais il semble qu'il serait intéressant de le faire travailler avec le logiciel CIME que nous développons. Celui-ci reprend un logiciel développé par des chercheuses de l'Université de Montréal (site GRICEA). Il fait travailler les apprenants sur la mise en équation en leur faisant « boucher des trous » dans un texte de problème en français ou dans sa représentation sous forme d'équations.

| Khemarak | Nicolas |
|--|----------------------|
| Soit 5 un nombre | $3 + 8 = 11$ |
| $((5+8) \times 3 - 4 + 5) / 4 + 2 - 5 = 7 ?$ | $11 \times 3 = 33$ |
| $((13) \times 3 - 4 + 5) / 4 + 2 - 5 = 7 ?$ | $33 - 4 = 29$ |
| $(39 - 4 + 5) / 4 + 2 - 5 = 7 ?$ | $29 + 3 = 32$ |
| $10 + 2 - 5 = 7 ?$ | $32 / 4 = 8$ |
| $10 - 3 = 7 ?$ | $8 + 2 = 10$ |
| $7 = 7 ?$ | $10 - 3 = 7$ |
| Oui donc cela marche | |
| Preuve par l'exemple | Preuve par l'exemple |
| expression globale parenthésée | expression partielle |
| écritures correctes | écritures correctes |

Tableau 1 : solutions de Khemarak et Nicolas et leur analyse automatique par le logiciel PériDiag

Nicolas utilise lui aussi une preuve par l'exemple et maîtrise ces calculs simples. Par contre il utilise une démarche arithmétique en indiquant une suite de calculs où le signe égal « annonce » un résultat. Là encore il faudrait vérifier sur d'autres exercices, mais il semble nécessaire de le faire travailler sur les différentes écritures d'un même nombre. Par exemple avec la calculatrice défectueuse, logiciel aussi développé par l'équipe de l'université de Montréal.

Karine, bien qu'elle utilise la lettre x , sa réponse est considérée comme « justification par le formel scolaire » car elle utilise des règles fausses bien connues des enseignants et des chercheurs en didactique. Les apprenants comme Karine pour qui les mathématiques consistent à appliquer des règles vides de sens rencontrent beaucoup de difficultés. Pour les faire progresser il ne suffit pas de leur répéter les règles correctes. Un long travail est nécessaire, d'une part

pour déstabiliser les règles incorrectes, d'autre part pour donner du sens à l'usage des lettres, par exemple, en leur proposant de résoudre des exercices où l'algèbre est un outil de généralisation et de preuve ou bien des exercices où l'égalité est un symbole d'équivalence et non une annonce de résultat.

Laurent est bien rentré dans une démarche algébrique et son raisonnement prouve qu'il sait traiter des expressions équivalentes. Comme beaucoup d'apprenants, il ne maîtrise pas encore parfaitement l'utilisation de parenthèses mais il garde le sens des opérations. L'utilisation d'un logiciel comme Aplusix développé par des chercheurs de Grenoble (site Aplusix) lui sera certainement profitable.

| Karine | Laurent |
|--|--|
| $x + 8 = 8x$ $8x$ $3 \times 8x = 24 + 3x = 27x$ $27x - 4 = 23x$ $23x + x = 24x$ $24x / 4 = 6x$ $6x + 2 = 8x$ $8x - x = 7$ | $= [(x+8) \times 3 - 4 + x] / 4 + 2 - x$ $= (3x + 24 - 4 + x) / 4 + 2 - x$ $= 4x + 20 / 4 + 2 - x$ $= x + 5 + 2 - x$ $= 7$ |
| <i>formel scolaire</i> | <i>preuve algébrique</i> |
| <i>expression partielle enchaînée en succession d'opérations</i> | <i>expression globale parenthésée</i> |
| <i>= annonce un résultat identification incorrect de + et \times (assemble les termes)</i> | <i>erreur de parenthèse avec mémoire de l'énoncé</i> |
| $x + a \rightarrow x a$ | |
| $a x \pm b \rightarrow (a \pm b) x$ | |
| $a x - x \rightarrow a - 1$ | |

Tableau 2 : solutions de Karine et Laurent et leur analyse automatique par le logiciel PériDiag

Fonctionnement du système de diagnostic

Après avoir montré l'utilisation du diagnostic pour différencier les apprentissages, abordons maintenant le fonctionnement du système d'un point de vue informatique. Pour cela nous avons généralisé et systématisé l'approche que (Jean 2000) avait mise en œuvre seulement sur un exercice simple dans la version 1. Le système construit un arbre pour chaque expression produite par l'apprenant et compare ces arbres avec ceux construits à partir des expressions attendues spécifiées par l'analyse didactique a priori.

Prenons l'exemple de Laurent (Cf Tableau 1) pour illustrer le fonctionnement du diagnostic automatique que nous avons mis en place. L'algorithme commence par construire un arbre représentant l'expression algébrique de la première ligne. Il repère d'abord la présence de l'utilisation de lettres (justification par l'algèbre, code R1), puis que l'expression produite par l'apprenant est l'expression globale complètement parenthésée attendue (codes L1, C1). Il construit ensuite les arbres correspondant aux lignes suivantes et, par comparaison avec les arbres obtenus à partir de l'analyse a priori, repère et code les erreurs éventuelles,

ici l'utilisation inadaptée des parenthèses qui conduit à un résultat correct (code M31). Enfin l'erreur décelée amène à évaluer le traitement algébrique comme étant incorrect (code T3).

Le codage de cet exercice est une amélioration importante par rapport à la version 1. D'une part, analyser les justifications de cet exercice permet d'envisager l'analyse des réponses à des exercices mettant en oeuvre des tâches de mathématisation, de résolution d'équations, de situations mathématiques appliquées à d'autres domaines (géométrie, numérique, fonctionnel). D'autre part, cet exercice peut être considéré comme un exercice clé en vue d'un *diagnostic adaptatif*. Il permet d'identifier et de décrire des cohérences au niveau du type de calcul algébrique, du statut des objets et des lettres, de la gestion dans le registre des écritures algébriques, du niveau de justification. Enfin l'étude et la mise en oeuvre informatique du diagnostic sur cet exercice nous a permis d'envisager une approche du diagnostic plus générale que celle qui avait été mise en oeuvre dans la version 1¹.

Création de scénarios d'utilisation

Parallèlement à l'amélioration de la version 1 de Pépite, nous avons travaillé à partir des retours d'usage à la mise au point de scénarios d'utilisation (Mackay 1997, Carroll et al. 2001) en vue de définir les spécifications de la version suivante que nous appelons SuperPépite et que présentons ensuite.

Pour ces scénarios, nous avons demandé à des enseignants ou à des formateurs qui connaissaient très peu Pépite d'imaginer des situations où ils utiliseraient un logiciel de diagnostic. Ils ont inventé des « histoires » que nous leur avons demandé de détailler sur certains points. Ces histoires sont très instructives car elles permettent de capter les besoins des utilisateurs, non pas d'une manière abstraite, mais en contexte comme le soulignent de nombreux ouvrages sur la conception centrée utilisateur (par exemple Kolski 2001). Dans les scénarios que nous avons recueillis, les besoins qui apparaissent sont centrés sur l'exploitation du diagnostic en situation.

Le tableau 3 présente un exemple de scénario établi par une formatrice. Dans ce scénario nous voyons que la formatrice a besoin de disposer d'une « géographie » de la promotion avec la liste des erreurs récurrentes et des étudiants qui les commettent, pour constituer des groupes.

Dans l'ensemble des scénarios, on voit apparaître des situations différentes :

- quand un formateur prend connaissance d'une promotion, il veut une géographie de la promotion avec un test assez complet et un bilan sur la promotion.
- quand le formateur assure un tutorat individualisé ou quand il fait un bilan avant un examen, il a

besoin d'un bilan individuel et de propositions de séquences de travail ;

- en évaluation rapide en fin de séquence, il a besoin d'un test beaucoup plus rapide et peut-être adaptatif.

Marie-Alice est responsable du module de mise à niveau en mathématiques de la licence professionnelle de formateurs dans le cadre d'un campus numérique. En début d'année universitaire, elle a besoin, d'une part, de positionner chacun de ses étudiants et, d'autre part, de diviser sa promotion en groupes de trois ou quatre étudiants qu'elle fera travailler ensemble sur des activités spécifiques adaptées à leur niveau de compétence en algèbre. Elle construit un test à partir de la base d'exercices de SuperPépite. Pour cela elle sélectionne les compétences à évaluer, la durée du test et le logiciel lui propose un test qu'elle adapte. Elle le met à la disposition de ses étudiants sur la plate-forme. Ceux-ci effectuent ce test dans la semaine. Marie-Alice se connecte au système, étudie rapidement le bilan de chacun des étudiants et demande au système de lui établir une « géographie » de la promotion pour chacune des compétences fondamentales visées par la mise à niveau. Après avoir fait ce diagnostic, elle utilise le logiciel Appicare pour définir les groupes et prépare les sessions de travail pour chacun des groupes.

Tableau 3 : scénario Marie-Alice rédigé par une formatrice

Spécifications d'un nouveau système

Le prototype Pépite 1 est composé d'un nombre fixe d'exercices figés et n'est donc utilisable qu'une seule fois à un niveau précis de scolarité : fin de troisième, début de seconde. Les expérimentations et retours d'usage ont fait apparaître qu'une des conditions pour qu'un tel système s'intègre dans l'activité des enseignants est qu'il puisse être utilisé à différentes étapes de la construction des compétences en algèbre, à différents niveaux d'études et dans différents contextes de formation et d'évaluation. Un tel système nécessite de disposer d'une batterie de tests. En tant que concepteur de ce système, nous sommes donc confrontés à deux problèmes :

- caractériser ces batteries de tests pour permettre aux enseignants de choisir un test adapté à la situation,
- produire ces batteries de tests.

Suite aux études que nous avons menées auprès d'enseignants et de formateurs, il nous est apparu que si certains souhaitent disposer de tests prêts à l'emploi, d'autres souhaitent concevoir eux-mêmes leurs tests. Pour ces derniers, une des utilisations du système sera la conception de tests qui seront mis dans une base de données à la disposition des enseignants. Ceci nous a orienté vers la conception d'un nouveau système, que nous appelons SuperPépite, pour le diagnostic de compétences en algèbre élémentaire.

¹ La version du logiciel actuellement téléchargeable sur le site de Pépite inclut ces modifications

Les différents utilisateurs

Ce système vise quatre grandes catégories d'utilisateurs : les apprenants qu'ils soient élèves, étudiants ou adultes en reprise d'étude, les enseignants, les concepteurs, les chercheurs.

- Les apprenants passent un test et obtiennent un bilan sur leurs compétences algébriques de la part du système et/ou de leur enseignant.
- Les enseignants choisissent, en fonction de leurs objectifs, un test qu'ils font passer aux apprenants. Le logiciel les aide à produire un bilan de compétences algébriques pour ces apprenants.
- Les concepteurs construisent un test à partir d'une part de modèles d'exercices instanciables, d'autre part de modèles de la compétence algébrique à un niveau donné.
- Les chercheurs étudient les différentes productions des utilisateurs avec le système pour des traitements automatiques (réponses d'apprenants, bilans de compétences, tests).

Définition d'un test

Un test est un ensemble d'exercices qui permettent à l'enseignant et/ou au logiciel d'établir un bilan sur certaines compétences algébriques. Le diagnostic est la procédure qui permet d'établir ce bilan.

Les retours d'usages sur le prototype Pépîte 1 et les études de terrain nous ont conduit à définir, du point de vue du logiciel :

- deux types de diagnostics :

- *diagnostic local* à un exercice

Il porte sur un seul exercice et consiste à coder les réponses de l'apprenant en référence au modèle de la compétence algébrique ; le codage est défini par l'analyse didactique a priori de l'exercice.

- *diagnostic global* au test

Il porte sur l'ensemble des exercices du test et consiste à établir pour l'apprenant, un bilan des compétences algébriques mises en jeu ; ce bilan peut être complet si le test couvre l'ensemble des compétences attendues à un niveau scolaire donné.

- deux stratégies de diagnostic² :

- *diagnostic prédéfini*

Tous les apprenants d'un même groupe passent le même ensemble prédéfini d'exercices.

- *diagnostic adaptatif*

Les exercices proposés sont choisis en fonction des réponses de l'apprenant aux exercices précédents.

- trois types de tests

- *test prédéfini*

Il correspond à un diagnostic prédéfini ; il comporte un nombre fixe d'exercices et permet de tester certaines compétences.

- *test adaptable par l'enseignant*

Il correspond à un diagnostic prédéfini ; l'enseignant choisit le nombre et le type d'exercices proposés, le logiciel lui indiquant les compétences testées ou bien l'enseignant choisit un niveau, les compétences à tester, une durée de test et le logiciel lui propose un test.

- *test adaptatif (adaptive testing)*

Il correspond à un diagnostic adaptatif ; l'enseignant choisit un ensemble initial d'exercices (ou de compétences), au passage du test le système détermine les exercices à poser en fonction des réponses de l'apprenant.

Nous nous proposons de mettre en place un système qui permette à des enseignants de choisir parmi ces trois types de test.

Description de l'architecture de SuperPépîte

Nous distinguons ainsi 6 modules :

PepiGenExo : Un concepteur peut créer des exercices à partir de modèles d'exercices et de diagnostic paramétrables.

PepiGenTest : A partir des exercices de la base d'exercices, un concepteur crée un test diagnostic. Un enseignant ou un apprenant peut choisir un test déjà conçu dans la base de tests.

Pepiprof : Ce module assiste l'enseignant pour établir un bilan de compétences des apprenants et pour élaborer une stratégie d'enseignement pour faire évoluer ces bilans..

PepiApprenant : Ce module propose à un apprenant le bilan de ses compétences en algèbre et une stratégie d'enseignement pour progresser.

PepiChercheur : Ce module permet au chercheur de travailler sur les productions des apprenants ou des enseignants et sur les différents diagnostics produits.

Conclusion

Dans le développement du premier prototype nous nous sommes centrées sur la faisabilité d'un système qui construise une modélisation cognitive des apprenants. Les retours d'usage et les scénarios construits par les utilisateurs potentiels nous ont prouvé l'intérêt d'un système de diagnostic automatique. Ils nous ont montré qu'il fallait travailler aussi sur l'exploitation de cette modélisation par les enseignants et les formateurs. Tout d'abord pour que le logiciel soit utilisable dans différents contextes nous sommes amenées à définir des modèles d'exercices de diagnostic qui facilitent la création de batteries de tests. Pour cela nous travaillons sur une description en XML (David 2003).

Nous avons aussi été amenées à enrichir la modélisation et à la restructurer pour qu'elle corresponde plus au fonctionnement habituel des enseignants. Il semble qu'il faille ajouter au moins un

² Un autre type de diagnostic que nous pouvons qualifier de dynamique consiste à faire un bilan de compétences lors d'activités d'apprentissage et non lors d'activités spécifiques d'évaluation. Nous ne traitons pas ce cas ici.

niveau de modélisation : à partir des différents profils cognitifs établis grâce au logiciel Pépite, nous travaillons à établir des stéréotypes (Kay 2000) qui facilitent l'établissement de parcours d'apprentissage et la gestion de groupes d'apprenants.

Sur le plan méthodologique, ce travail à notre sens illustre l'intérêt d'une démarche itérative pour la conception d'EIAH (Bruillard et al. 2000): il s'agit de développer des modélisations cognitives servant de fondement à des solutions technologiques innovantes. Ces modélisations sont mises en œuvre sur des prototypes logiciel qui peuvent ainsi être testés sur le terrain. Les analyses de ces usages permettent une meilleure compréhension des processus sous-jacents et font évoluer à la fois les modélisations cognitives et les questions de recherche qui les sous-tendent.

Remerciements

Ce projet est co-financé par les différentes institutions des participants, par le Ministère de la Recherche, programme Cognitique, école et sciences cognitives (appel d'offres 2002) et par la région Picardie (pôle régional de recherche en NTE, 2002).

Références

I. Arroyo, R. Conejo, E. Guzman, B. P. Woolf, 2001, An Adaptive Web-Based Component for Cognitive Ability Estimation, in J.D. Moore et al. (Eds.), Artificial Intelligence in Education, IOS Press, 456-466.

E. Bruillard, E. Delozanne, P. Leroux, P. Delannoy, X. Dubourg, P. Jacoboni, J. Lehuen, D. Luzzati, P. Teutsch, 2000, Quinze ans de recherche sur les sciences et techniques éducatives au LIUM. Education et informatique. Hommage à Martial Vivet. Sciences et Techniques éducatives, vol. 7, n° 1, Hermès Science, 87-145.

J. M. Carroll, G. Chin, M. B. Rosson, D. C. Neale, 2001, The Development of Cooperation: Five Years of Participatory Design in the Virtual School, in John M. Carroll (ed.), Human-Computer Interaction in the New Millennium, Addison Wesley, 373-418.

H. Chick, K. Stacey, J. Vincent, J. Vincent (Eds), 2001, The future of the Teaching and Learning of Algebra, Proceedings of 12 th ICMI Study Conference, The University of Melbourne, Australia.

É. Delozanne, B. Grugeon, P. Jacoboni, 2002, Analyses de l'activité et IHM pour l'éducation ", In Proceedings of IHM'2002, International Conference Proceedings Series, ACM, 25-32.

J. P. David, 2003, Modélisation et production d'Objets pédagogiques Une approche par Objet pédagogique, Revue Sciences et Techniques Educatives, hors série Ressources numériques, XML et éducation, Hermès, 69-104.

B. Grugeon, 1997, Conception et exploitation d'une structure d'analyse multidimensionnelle en algèbre élémentaire, revue de Didactique des Mathématiques, vol 17, n°2, 167-210.

S. Jean, É. Delozanne, P. Jacoboni et B. Grugeon, 1999, A Diagnosis Based on a Qualitative Model of Competence in Elementary Algebra, S. Lajoie & M. Vivet eds, Proceedings of Artificial Intelligence in Education 1999, IOS Press, Amsterdam, 491-498,

S. Jean-Daubias, 2002, Un système d'assistance au diagnostic de compétences en algèbre élémentaire, Revue Sciences et Techniques Educatives, vol 9-n°1-2, Hermès, 171-199.

J. Kay, 2000, Accretion representation for scrutable student modelling, Proceedings of ITS'2000, in G. Gauthier, C. Frasson, & VanLehn (eds), Springer, 514-523.

C. Kolski ed, 2001, Analyse et conception de l'IHM, Interaction homme-machine pour les systèmes d'information Vol 1, Hermès.

B. Schneiderman (1986, 2004-4th edition), Designing the User Interface, Strategies for Effective Human Computer Interaction, Addison Wesley

W. Mackay, A-L. Fayard, 1997, Radicalement nouveau et néanmoins familier : les strips papiers revus par la réalité augmentée, Actes des journées IHM 97, Poitiers.

Sitographie

(site Pépite)

<http://pepite.univ-lemans.fr>

(site formation continue utilisant Pépite)

<http://maths.creteil.iufm.fr/>.

(site Gricea)

<http://www.gricea.umontreal.ca/seconaire/maths/>

(site Aplusix)

<http://aplustix.imag.fr/>