

RENFORCER LA PLACE DE LA RÉOLUTION DE PROBLÈMES À L'UNIVERSITÉ : DÉVELOPPEMENT ET EMPLOI D'UN SUPPORT EN LIGNE

Ghislaine GUEUDET

Résumé : Dans l'enseignement des mathématiques à l'université, lors des deux premières années en particulier, la place dévolue à la résolution de problèmes par les étudiants est réduite. Est-il possible de renforcer cette place grâce à l'emploi de ressources en ligne de type « bases de problèmes » ? Nous étudions ici cette question, en présentant un cadre pour l'étude de ressources en ligne dans l'enseignement des mathématiques, et en traitant l'exemple d'un logiciel particulier. Nous analysons les choix effectués lors de son élaboration. Ce logiciel propose à l'étudiant d'accéder à des exercices choisis par mots-clés. A chaque exercice est associé un environnement comportant notamment des aides, et la solution de l'exercice. L'analyse de l'emploi du logiciel par les étudiants montre qu'en dépit des aides disponibles, les étudiants développent lors des séances sur machines une véritable activité de résolution de problèmes.

Nous présentons ici une recherche portant sur le développement et l'emploi d'un support en ligne pour l'enseignement des mathématiques à l'université. Nous allons étudier les intentions des concepteurs, le produit réalisé, et confronter ce travail a priori avec les pratiques effectives des étudiants utilisant le logiciel.

Nous souhaitons souligner d'emblée une caractéristique fondamentale du travail des concepteurs du logiciel. Elaborer un outil informatique n'était pas pour ceux-ci un objectif à part entière. Aucun des membres de l'équipe n'est un inconditionnel de l'informatique pédagogique, et il s'agissait donc surtout de se saisir d'une opportunité créée par une volonté politique de développement du recours aux nouvelles technologies pour promouvoir la résolution de problèmes dans l'enseignement des mathématiques à l'université.

Ainsi, même si les questions que nous traitons sont illustrées par l'étude d'un logiciel particulier, elles portent plus généralement sur l'emploi de supports en ligne, et même, au-delà de l'aspect informatique, sur la résolution de problèmes de mathématiques à l'université.

C'est pourquoi nous allons exposer avant tout, dans une première partie, des questions et des résultats issus de recherches concernant la résolution de problèmes.

Nous présenterons ensuite, dans la deuxième partie, une méthodologie générale pour l'étude de l'emploi de supports en ligne, de type « bases de problèmes » (nous préciserons cette terminologie). Nous aborderons les problèmes liés à la conception d'un tel logiciel

dans la troisième partie, en prenant l'exemple de la base qui a été élaborée par une équipe¹ de l'université de Rennes 1. Ce logiciel s'intitule « une Base RAISONnée d'Exercices de mathématiques », et est couramment désigné par l'acronyme BRAISE, que nous utiliserons par la suite.

Dans la quatrième et dernière partie, nous étudierons les pratiques des étudiants utilisant une base de problèmes, toujours en examinant l'exemple de BRAISE. Est ce que l'emploi de cette base permet aux étudiants de développer une véritable activité de résolution de problèmes ? Quels scénarios peut-on adopter pour l'emploi d'un tel logiciel ? Nous apporterons ici des éléments de réponse à de telles questions.

1. Résolution de problèmes de mathématiques à l'université

1.1. Le fonctionnement mathématique et les types de problèmes

Notre référence principale ici est le travail de Corine Castela (2000 et 2002). Elle souligne dans (Castela 2002) l'importance du développement de recherches sur les conditions d'encadrement de l'activité de résolution de problèmes des étudiants.

En effet, ces activités conditionnent en particulier le développement par les étudiants de connaissances sur le *fonctionnement mathématique*, défini par Castela comme « l'ensemble des modes d'intervention des objets mathématiques dans les solutions de problèmes ».

Étudiant les liens entre connaissances sur le fonctionnement mathématique et pratiques de résolution, Castela montre en particulier l'importance de la construction par le sujet de *types de problèmes*. Elle attribue à cette expression un sens très large de regroupement de problèmes effectués par un sujet sur la base de critères abstraits, explicites ou explicables.

Reconnaître qu'un problème appartient à un type donné constitue une aide à la résolution, en permettant au sujet d'identifier des ressources utilisables. Or la possibilité de construction de types de problèmes par un étudiant en mathématiques dépend notamment de la place faite par l'institution « université » à la résolution de problèmes en mathématiques. Étudier précisément cette place demanderait une recherche spécifique. Nous allons ici nous contenter du bref descriptif d'un exemple particulier.

1.2. Le cas du DEUG MIAS² à l'Université de Rennes 1

Nous allons considérer plus précisément le cas de l'institution « DEUG MIAS première année en France », en prenant l'exemple de l'Université Rennes 1. Quelle est la place de la résolution de problèmes dans cette institution ?

L'évaluation des étudiants aux différents modules est principalement basée sur leur capacité à résoudre des problèmes de mathématiques (mis à part quelques questions de cours, représentant entre 2 et 3 points sur un total de 20).

¹ La base d'exercices est consultable à l'adresse : <http://tdmath.univ-rennes1.fr>. L'équipe de conception est constituée de : Michel Coste, Ghislaine Gueudet, Françoise Guimier, Jean Houdebine, Annette Paugam, Odile Simon et Michel Viillard. La réalisation informatique a été assurée par François Dagorn.

² Diplôme d'études universitaires générales de Mathématiques et Informatique Appliquées aux Sciences.

Lors des cours magistraux en amphithéâtre (seulement au second semestre), les étudiants voient des démonstrations, mais n'ont pas eux-mêmes d'activité de résolution de problème. Les étudiants peuvent travailler de leur propre initiative sur des exercices, dans des livres ou sur leurs feuilles de travaux dirigés ; ils peuvent faire les devoirs à la maison, proposés par l'enseignant. Ces éléments sont extrêmement variables, suivant l'étudiant(e) et l'enseignant(e) concerné(e), nous ne pouvons pas les considérer comme caractéristiques de l'institution que nous observons.

Le lieu central, pour l'activité de résolution de problèmes, est la séance de travaux dirigés (TD), ou le cours-TD, au premier semestre de la première année.

Nous avons encadré en 2002-2003 un stage de magistère³ portant sur le thème de la résolution de problèmes à l'université et en classes préparatoires. Lors de ce stage, trois enseignants de l'université ont été observés pendant une semaine, et un questionnaire a été posé aux étudiants des trois groupes correspondants. Il en ressort diverses observations chiffrées, dont la portée reste limitée à cause de la brièveté de l'observation ; certaines d'entre elles nous semblent néanmoins significatives. Lors d'un TD, le temps moyen consacré à un exercice est d'environ 30 mn (en première année d'université à dominante mathématiques à Rennes, il y a environ 5 heures hebdomadaires de TD au premier semestre, et 7 au second). Le temps moyen observé de recherche d'un exercice par un(e) étudiant(e) sans intervention orale de l'enseignant(e) à l'intention de l'ensemble de la classe est de 5 minutes. Par ailleurs, seulement 23% des étudiants interrogés estiment avoir bien compris les corrections des exercices données en TD.

L'activité de travail sur des exercices avec des possibilités d'aides individuelles pour l'étudiant est donc peu présente dans l'institution. La conception de logiciels proposant aux étudiants des problèmes de mathématiques accompagnés d'aides appropriées apparaît comme une piste possible d'évolution de cette situation. Cette conception, comme l'étude des pratiques des étudiants travaillant avec un tel logiciel, nécessite de développer un questionnement spécifique que nous allons présenter maintenant.

2. L'étude des bases de problèmes

Avant de nous pencher sur le cas particulier du logiciel BRAISE, il nous semble important de préciser plus généralement le type de produits logiciels auxquels nous nous intéressons, et de présenter un cadre pour l'étude de tels produits et de leur emploi.

En France, en mathématiques, plusieurs produits innovants ont été développés. Citons en deux parmi les plus significatifs : l'Université en ligne (UeL⁴), produit développé en collaboration par différentes universités réunies au sein du Réseau Universitaire des Centres d'Autoformation ; et WIMS⁵, développé par Xiao Gang à l'Université de Nice, mais dont l'emploi se répand rapidement à d'autres universités et même actuellement à d'autres

³ Les éléments que nous mentionnons ici sont issus d'un travail effectué en stage de magistère en 2002-2003 : Sylvie Le Merdy, *Place de la résolution de problèmes dans l'enseignement des mathématiques en DEUG et en Prépa scientifiques*, stage encadré par Ghislaine Gueudet.

⁴ Université en Ligne, <http://www.uel-pcsm.education.fr>.

⁵ Web Interactive Multipurpose Server, <http://wims.unice.fr/wims>.

institutions. L'UeL est disponible en ligne ou sur CD-Rom. Sa structure est très proche de celle des enseignements traditionnels de l'université : cours, travaux dirigés en particulier. Elle est utilisée selon différents scénarios dans plusieurs universités ; son emploi a fait l'objet d'études didactiques comme (Cazes, Vandebrouk 2003). WIMS propose essentiellement des exercices (plus récemment, quelques textes de cours y ont été adjoints), qu'un enseignant peut utiliser pour construire ses propres feuilles de travaux dirigés en ligne, dans le cadre d'une « classe virtuelle » dont il va pouvoir suivre l'activité.

Nous avons de notre côté participé à une première recherche exploratoire sur BRAISE (Gueudet, Houdebine 2003), et dont les résultats rejoignent ceux exposés par les auteurs précédemment cités.

Ceci nous a conduits à développer une approche commune avec Cazes, Hersant et Vandebrouck, présentée dans (Cazes, Gueudet, Hersant, Vandebrouck 2004), approche que nous allons résumer ici.

L'emploi de supports en ligne dans l'enseignement a donné lieu à de nombreuses études, qui proposent notamment des typologies, comme par exemple (Mioduser & al. 2000).

Il est difficile cependant d'employer ces typologies pour situer les bases de problèmes, telles que nous les concevons. Il serait en effet peu significatif de les rapprocher des produits de type "drill and practice" (*entraînement et pratique*), qui proposent des exercices de mathématiques en général ciblés sur une compétence très précise, le plus souvent technique, que l'étudiant est censé acquérir par la répétition d'exercices du même type. Par ailleurs, nous ne voulons pas entrer dans la question de la distinction exercice/problème, qui peut difficilement être faite sans connaître le public auquel un énoncé est destiné. Une base de problèmes sera donc pour nous un logiciel ayant les caractéristiques suivantes :

- Ce logiciel est centré sur des exercices ou des problèmes de mathématiques ;
- Ces exercices sont organisés selon une classification qui permet à l'utilisateur d'y accéder en choisissant certains critères : niveau de difficulté, thème par exemple ;
- Chaque exercice proposé (ou au moins une majorité d'entre eux) est associé à un environnement interactif : par exemple, des aides, des outils, mais il peut s'agir aussi, si l'étudiant donne une réponse dans le logiciel, d'un message reposant sur l'interprétation de cette réponse.

Selon cette définition, un produit comme WIMS par exemple est une base de problèmes. Cependant WIMS n'a pas été conçu pour être directement utilisé par les étudiants, et on peut dire dans cette mesure que WIMS est plutôt une bibliothèque de problèmes, permettant à l'enseignant de bâtir ses propres bases de problèmes.

Au niveau du collège, le logiciel Mathenpoche⁶ est une base de problèmes en ligne, qui peut être directement utilisée par les élèves, mais qui permet également aux professeurs inscrits d'élaborer leur propre base de problèmes.

Notons aussi que certains logiciels ne sont pas des bases de problèmes selon la définition donnée ci-dessus, mais possèdent des fonctionnalités permettant à l'utilisateur enseignant d'opérer une sélection de contenu qui conduit à se ramener à une telle base.

⁶ <http://www.mathenpoche.com>, logiciel développé dans le cadre de l'association Sésamath.

Pour étudier plus précisément l'élaboration et l'emploi de tels logiciels quel que soit le niveau scolaire concerné, nous proposons en particulier d'organiser l'étude selon les trois niveaux suivants :

- *Niveau 1 : structure globale du logiciel.* — Ce niveau comprend un aspect informatique, en termes de fonctionnalités du logiciel : possibilité pour l'étudiant d'écrire une réponse qui recevra un feed-back, mais aussi suivi des étudiants pour l'enseignant par exemple. Il comporte aussi un aspect relatif à l'organisation du contenu mathématique proposé : présence de cours ou non, et si oui, articulation entre ce cours et les exercices ; modalités d'accès aux exercices : choix par mots-clés par exemple ; environnement proposé pour les exercices : possibilité d'accès à des aides, de quel type sont ces aides *etc.*
- *Niveau 2 : analyse didactique du contenu.* — Il s'agit ici, pour un thème mathématique donné, d'une part d'examiner les notions, propriétés, méthodes... présentes dans le logiciel, et d'autre part d'analyser les exercices correspondants et leur environnement.
- *Niveau 3 : scénario d'utilisation adopté.* — Ici on précise le public visé, mais aussi le nombre de séances, leur durée, les rôles respectifs de l'enseignant et de l'étudiant, les consignes données, les traces écrites prévues *etc.*

Ces trois niveaux ne sont, bien entendu, pas indépendants ; ainsi, le scénario adopté sera directement lié à la structure du logiciel. Cependant ces trois axes permettent de clarifier la présentation et l'analyse d'un dispositif. Nous allons les utiliser pour décrire les choix de conception de l'équipe BRAISE. Certains de ces choix relèvent du niveau 1, d'autres du niveau 2 ; nous séparerons ces deux cas.

3. Conception d'une base de problèmes : le cas de BRAISE

Nous résumons ici les principaux choix effectués par les concepteurs du logiciel, ainsi que les raisons de ces choix. Nous décrivons ensuite comment ces choix se sont traduits en termes de fonctionnalités du logiciel.

L'élaboration d'une base de problèmes conduit à se poser des questions qui dépassent de loin le contexte informatique. C'est le cas en particulier lorsqu'il faut choisir les aides à fournir par le logiciel à un étudiant. Ainsi nous souhaitons décrire ici les caractéristiques importantes du logiciel BRAISE, mais au-delà, présenter sur cet exemple des questions qui se posent à tout concepteur d'une base de problèmes, voire à tout enseignant travaillant sur des problèmes avec ses élèves.

3.1. Les choix de conception

Pour la structure du logiciel (Niveau 1)

- *Contribuer à la construction de types de problèmes.* — Il s'agissait de l'un des objectifs poursuivis lors de la conception du logiciel, comme nous l'avons dit ci-dessus en rappelant les résultats établis par Castela (Castela 2000). Il a conduit à plusieurs choix de structure. Tout d'abord, la possibilité d'accès aux exercices par des mots-clés comportant le niveau, mais aussi le thème et la nature de la tâche. Aux thèmes est toujours associé un texte qui permet de se faire une idée

des raisons de la classification. Les natures de la tâche permettent à l'étudiant d'avoir une vue d'ensemble des tâches qui peuvent être proposées dans un chapitre donné.

- *L'interactivité, ou le paradoxe du concepteur.* — Le concepteur d'une base de problèmes est confronté à un paradoxe qui peut être interprété en termes de contrat didactique (Cazes, Gueudet, Hersant, Vandebrouck 2004). Il souhaite naturellement associer aux exercices qu'il propose un environnement riche : cours, indications, solutions... Mais plus l'environnement est riche, et plus l'activité de recherche par les étudiants risque d'être réduite. C'est un paradoxe classique du contrat didactique, dont on trouve ici une version informatique : l'enseignant doit apporter suffisamment d'éléments pour que l'étudiant s'engage dans la tâche ; mais s'il en apporte trop, l'activité de l'étudiant s'appauvrit. Deux choix principaux ont été faits dans le cas de BRAISE : donner de nombreux textes, et différents types d'aides que nous présentons dans le paragraphe suivant ; et ne pas demander à l'étudiant de taper une réponse dans le logiciel. En effet, le traitement de réponses complexes n'est pas encore possible avec les moyens informatiques disponibles. Et les réponses de type oui/non ne peuvent pas favoriser des démarches de résolution de problème. Ainsi, l'étudiant s'il travaille en autonomie est responsable de décider de la validité de sa solution, en comparant celle-ci avec la solution proposée par le logiciel.

Choix pour le contenu des exercices et leur environnement (Niveau 2)

- *Proposer des exercices variés, et non techniques.* — Afin de mettre les étudiants le plus souvent en situation d'avoir à résoudre des problèmes sans avoir une méthode toute tracée, la base ne contient pas d'exercices répétitifs. Il s'agissait en revanche d'essayer autant que possible de balayer toutes les méthodes intéressantes du chapitre. Par ailleurs, les questions pour lesquelles la réponse peut être obtenue à partir de quelques indices superficiels, et plus généralement tous les exercices de niveau technique (Robert & Rogalski 2003) ont été évités.
- *Offrir différents types d'aides.* — Pour éviter des situations de blocage devant le problème à résoudre, le logiciel comporte des aides, qui sont toutes proposées simultanément à l'étudiant.
 - ✓ La suggestion d'une procédure de résolution est une aide qui présente des inconvénients d'une part parce qu'elle peut ne pas correspondre à celle que l'étudiant envisageait d'engager, d'autre part parce qu'elle défavorise la réflexion sur la situation au profit de l'action et renforce l'idée que pour résoudre des problèmes il suffit de connaître des procédures de résolution, c'est-à-dire des techniques. Toutefois le logiciel propose pour chaque exercice des indications.
 - ✓ Une première manière d'éviter l'inconvénient cité ci-dessus est de suggérer simultanément plusieurs procédures. C'est pourquoi le logiciel comporte pour chaque exercice la liste des méthodes et techniques utilisables dans l'exercice.
 - ✓ Des recherches portant sur la résolution de problèmes (Julo 1995) ont montré qu'il est fondamental d'enrichir ou de préciser la représentation que l'étudiant se fait du problème. Dans le logiciel, ce sera le cas en particulier lorsqu'une aide graphique pourra être proposée.

3.2. Description de BRAISE

Cette base est destinée à recevoir des exercices de nombreux chapitres. Le premier chapitre qui a été réalisé est celui portant sur les suites. Un chapitre d'algèbre linéaire est en voie d'achèvement. Cependant, il n'a pas encore fait l'objet d'expérimentations ; c'est pourquoi nous allons simplement décrire ici brièvement le contenu du chapitre sur les suites (tous les chapitres suivent la même structure).

Les données

Le chapitre « suites » de BRAISE comprend 80 exercices classés en 15 thèmes (certains exercices peuvent être dans 2 thèmes). A chaque thème est associé un commentaire mentionnant les prérequis, éventuellement les exercices incontournables du thème et les thèmes connexes.

A chaque exercice est associée d'une part une liste de caractéristiques qui permettent l'accès par mots-clés :

- son niveau (facile, moyen, difficile, très difficile) ;
- le nom des thèmes auxquels il appartient, avec un commentaire pour chacun ;
- la nature de la tâche ;
- les difficultés particulières que l'étudiant peut décider d'éviter ; avec un commentaire pour chacune.

D'autre part, l'environnement de l'exercice comporte en dehors des éléments mentionnés ci-dessus les informations suivantes :

- des aides :
 - ✓ la liste des éléments de cours utilisables ; pour chacun un texte ;
 - ✓ la liste des méthodes et techniques utilisables ; pour chacune un texte ;
 - ✓ une aide graphique, pour certains exercices ;
 - ✓ une aide appelée « indications » sous la forme traditionnelle d'orientation vers une procédure ;
- des éléments de solutions ;
- des idées à retenir (une, ou au plus deux idées).

Le parcours de l'étudiant

Il s'agit ici bien entendu du parcours d'un étudiant qui travaillerait en autonomie avec la base.

Choix par mots-clés. — Après avoir choisi un chapitre, un écran propose à l'étudiant de choisir les exercices sur lesquels il veut travailler (voir en annexe la figure 1 : écran de choix par mots-clés). Il peut choisir un niveau, un ou plusieurs thèmes. Il peut choisir la nature de la tâche. Notons à ce propos que c'est l'occasion pour l'étudiant de découvrir les tâches que l'on peut rencontrer dans un problème concernant les suites, certaines d'entre elles étant usuellement peu mises en valeur comme « accélérer la convergence ». Il peut aussi éviter certaines difficultés : par exemple il peut ne pas souhaiter rencontrer des signes sigma ou utiliser la définition de limite avec des ϵ . Pour chacune de ces difficultés il peut consulter un petit texte.

Accès à un exercice. — Une fois ces choix réalisés, la liste des problèmes de la base qui y correspondent apparaît, chacun étant caractérisé par un titre autant que possible évocateur du contenu de l'exercice. Il suffit de cliquer sur l'un des titres pour obtenir : l'énoncé de l'exercice, ses caractéristiques (niveau, thèmes, tâches, difficultés particulières) et avoir accès à tout l'environnement de l'exercice (voir en annexe la figure 2 : écran de présentation d'un exercice).

Travail sur l'exercice. — L'étudiant n'a aucun moyen pour entrer une réponse. Il résout l'exercice de manière traditionnelle, avec papier et crayon. Il dispose des quatre formes d'aide listées ci-dessus. Il dispose également d'un texte intitulé « éléments de solutions et résultats » ; on y trouve la description d'une « solution », mais aussi des raisons de choisir la procédure décrite. Il peut alors comparer cette solution avec celle qu'il a trouvée. L'étudiant peut enfin consulter un texte intitulé « idées à retenir » qui comporte au plus deux résultats ou méthodes d'ordre général à retenir de l'exercice. Il peut simplement comparer son travail avec les éléments de solution proposés.

4. Emploi de BRAISE par des étudiants

4.1. Quels scénarios pour quels étudiants ?

L'idée initiale des concepteurs était de permettre à des étudiants de la première année de DEUG jusqu'à l'agrégation de disposer d'une ressource leur permettant un travail autonome en dehors des enseignements traditionnels. Un tel usage de BRAISE commence à exister, en particulier certains étudiants préparant des concours de recrutement d'enseignants ont ainsi eu recours cette année au logiciel. Mais il est rapidement apparu que le travail en autonomie complète ne pouvait pas demeurer l'objectif principal, ne serait-ce que parce qu'un premier temps de travail encadré peut inciter les étudiants à se servir ensuite du logiciel en autonomie.

Pour les étudiants de DEUG en particulier, la présence d'un professeur lors de l'emploi de la base semble nécessaire. Ceci rejoint d'ailleurs les observations faites à propos de l'UeL par Cazes Vandebrouck (2003). Seuls les exercices techniques sont traités sans enseignant ; or BRAISE ne comporte aucun exercice technique. Remarquons que WIMS aussi est principalement employé lors de séances de travaux dirigés sur machines, en présence d'un enseignant.

Dans le cas de BRAISE, une telle modalité d'emploi réduit évidemment l'éventail des choix offerts aux étudiants : dans une telle utilisation, le choix des thèmes sera nécessairement restreint par l'enseignant.

Nous allons maintenant examiner plus précisément l'emploi de BRAISE avec un groupe d'étudiants de première année de DEUG.

4.2. Un exemple d'emploi en première année d'université

Durant le second semestre de l'année universitaire 2003-2004, BRAISE a été utilisé dans différents groupes d'étudiants de première année de DEUG, toujours sous forme de travaux dirigés sur machine en présence du professeur. Nous allons décrire et analyser l'une de ces expériences.

Le groupe d'étudiants a travaillé avec BRAISE pendant deux séances d'environ 1h45. Trois thèmes leur étaient proposés : suites récurrentes, méthode de Newton et théorème du point fixe. Ils avaient également comme consigne, pour le choix par mots-clés, de commencer par des exercices de niveau facile.

Le scénario prévoyait en outre deux types de traces écrites : une feuille à remplir en fin de séance, permettant de communiquer à l'enseignante des remarques et des questions ; et pour chaque séance machine un exercice à rédiger pour la séance de travaux dirigés suivante. L'énoncé de cet exercice était choisi proche de celui de l'un des exercices qui devaient nécessairement être rencontrés avec les critères imposés. Cette tâche complémentaire est importante. En effet, des expérimentations précédentes ont montré que les étudiants qui travaillent sur le logiciel ne prennent pas le temps de rédiger les exercices (remarquons que ceci n'est pas spécifique du travail sur un logiciel, c'est également le cas lors des séances de travaux dirigés classiques).

Les 21 étudiants étaient tous présents à la première séance ; 17 d'entre eux, soit un trinôme et 7 binômes, étaient présents à la séance suivante. Nous allons limiter notre étude à ces huit groupes d'étudiants qui ont suivi les deux séances. Nous donnons dans le tableau ci-dessous un résumé de l'activité de ces huit binômes durant l'intégralité des deux séances. Toutes les durées mentionnées dans le tableau sont en minutes. Dans la dernière colonne, on trouve suivant la ligne concernée un nombre total, ou une durée moyenne.

Binôme	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Total / Moy
Nombre d'exercices abordés	3	4	4	5	4	6	4	5	35
Nombre de consultations hors séance	0	1	4	3	0	0	0	0	
Nombre de fenêtres ouvertes par heure	20	48	45	42	58	61	37	29	42,5
Temps moyen par exercice	65	44	59	37	45	27	44	36	44
Temps moyen avant consultation des aides	5	3	3	19	2	19	6	8	8
Temps moyen avant consultation des solutions	15	11	24	25	19	14	18	29	19
Nombre d'éléments de cours consultés	2	1	1	3	2	1	3	2	15
Nombre de méthodes consultées	1	1	0	1	2	1	1	2	9
Nombre de consultations de l'aide graphique	2	3	1	2	2	2	1	2	15
Nombre de consultations des indications	1	2	1	1	2	1	1	3	12
Nombre de consultations des aides	3	3	1	4	2	3	3	3	22
Nombre de consultation des solutions	2	4	3	5	2	5	4	5	30
Temps moyen de consultation des solutions	17	20	31	6	13	11	17	3	15
Nombre de consultations des idées à retenir	0	3	1	2	1	0	1	0	8
Nombre de consultations du texte du thème	1	3	3	2	1	3	0	4	17

Ce tableau permet de nombreux constats à propos de l'activité des étudiants sur le logiciel. Il est construit grâce à l'outil de suivi de l'activité des étudiants dont est muni BRAISE. Par ailleurs, nous avons proposé aux étudiants un questionnaire pour compléter les informations ci-dessus. Onze d'entre eux ont rendu le questionnaire. Les principales conclusions issues du tableau et du questionnaire sont les suivantes :

Une bonne implication des étudiants. — Ce constat provient aussi de l'observation directe des séances. Les étudiants, souvent peu actifs en séance classique, ont beaucoup travaillé durant les séances machine. Les onze étudiants qui ont rendu le questionnaire ont trouvé le dispositif intéressant, et déclaré qu'il était à reproduire si possible. Parmi eux, 6 étudiants ont déclaré s'être connectés hors des séances, pour consulter du cours, ou revoir des exercices.

Des comportements variés. — Un indicateur intéressant du comportement d'un binôme est le nombre de fenêtres ouvertes en une heure. Le nombre moyen de ces fenêtres est de 42, pour un écart-type de 14, ce qui montre que les étudiants ont des comportements très différents les uns des autres. On retrouve cette même variété dans les temps passés par exercice : 44 minutes en moyenne, mais un écart-type de 12 minutes. Il faudrait prolonger l'étude pour tenter d'établir des profils d'étudiants. Pour le moment, nous retenons simplement que le travail sur le logiciel permet des comportements variés, convenant au rythme de chacun.

Retour sur le paradoxe du concepteur : aides et solutions. — Comme nous l'avons mentionné dans le paragraphe précédent, le choix d'associer de nombreux textes à chaque exercice peut réduire l'activité de résolution de problèmes. Avec BRAISE, les étudiants peuvent même se contenter de lire la solution d'un exercice. Or ceci n'est pas apparu, sauf comme activité « d'occupation en fin de séance ». En effet, lorsque l'on approche de la fin de la séance, on voit certains étudiants qui se contentent de lire un énoncé puis sa solution, sans accéder à aucun des autres textes proposés. Mais en dehors de cette circonstance particulière, on peut constater que les étudiants travaillent en moyenne 8 minutes avant de consulter une aide ; et 19 minutes avant de consulter les solutions. Ils ont une véritable activité de résolution de problème, malgré les possibilités offertes par le logiciel. Même si le temps de 8 minutes avant accès à une aide peut paraître faible, il faut rappeler que lors des séances classiques, l'enseignant intervient en moyenne après 5 minutes de recherche d'un exercice. Ici ce temps moyen est plus long, mais il est surtout possible pour certains étudiants de continuer leur recherche autonome en consultant les aides beaucoup plus tard, ou pas du tout. On remarque, en lisant le tableau, un seul binôme (B6) pour lequel le temps moyen avant la consultation des solutions est inférieur au temps correspondant pour les aides. Il s'agit en fait d'un binôme qui a par deux fois en fin de séance regardé très rapidement des exercices et leurs solutions, sans consulter les aides. Mais même en incluant ce comportement spécifique, il s'écoule en moyenne 11 minutes entre la lecture des aides et celle des solutions.

Ces deux types de textes sont massivement consultés : 22 accès aux aides, 30 accès aux solutions pour 35 exercices au total (en fait 35 couples (binôme, exercice)). Il est rare que les étudiants soient persuadés de la justesse de leur propre solution au point de ne pas

consulter le corrigé. Mais l'usage qui est fait de ces textes évite les défauts que l'on pouvait craindre. En particulier, on a vu que les étudiants passent en moyenne 44 minutes sur un exercice, ce qui est supérieur au temps moyen pratiqué en travaux dirigés traditionnels. Une explication de l'allongement de cette durée peut être le temps passé à comprendre la solution proposée, et à la comparer avec celle trouvée : 15 minutes en moyenne. Or cette activité semble intéressante, surtout si l'on se souvient que 77% des étudiants interrogés dans l'étude sur la résolution de problèmes déclaraient ne pas avoir bien compris la solution des exercices en sortant de travaux dirigés.

Les aides employées. — Parmi les types d'aides proposés, on aurait pu imaginer que les étudiants feraient le plus souvent appel aux indications, ou à l'aide graphique. Si cette dernière est effectivement beaucoup consultée, avec 15 accès, les cours le sont tout autant (15 accès également). Les indications sont moins utilisées (12 fois) et les méthodes seulement 9 fois. Ceci s'explique peut-être par les conditions d'expérimentation : il s'agissait des premiers exercices que ces étudiants rencontraient sur le sujet, et le cours était vu durant les deux mêmes semaines, d'où le besoin de consulter celui-ci.

Autres textes. — Les textes des thèmes ont été beaucoup consultés : 17 fois sur les 35 exercices. Toutefois ce chiffre est peu significatif, puisque la consigne a été donnée en séance de consulter le texte relatif à la méthode de Newton ; il s'agit en fait de 10 consultations spontanées. Mais la principale constatation à propos des textes autres que les aides ou la solution est plutôt négative. En effet, les idées à retenir ont été consultées seulement 8 fois pour les 35 exercices, soit dans moins d'un exercice sur quatre. Ceci peut être interprété comme une conséquence du dispositif : celui-ci restait malgré tout proche des travaux dirigés traditionnels, pour lesquels le contrat consiste à résoudre l'exercice ; la notion d'idée à retenir d'un exercice n'y a pas d'existence officielle. Cette rubrique sera peut-être plus consultée lors d'une utilisation en autonomie.

5. Conclusion

Certains des résultats de l'expérimentation menée ici sont déjà bien connus. C'est le cas, par exemple, de la motivation des étudiants travaillant sur un tel support. Des études menées dans l'enseignement secondaire (par exemple Ruthven, Henessy 2002) montrent même que des enseignants peuvent emmener leur classe travailler sur une base de problèmes essentiellement pour éviter des soucis de gestion de classe. Cependant, ce résultat prend un relief particulier ici puisque les étudiants travaillaient sur un support n'ayant aucun aspect ludique : pas d'interprétation des réponses, pas même de figures animées. Or, l'absence d'interprétation des réponses est fondamentale : c'est elle qui permet de ne pas se restreindre à des exercices techniques. Les étudiants ont certes apprécié la nouveauté du travail sur ordinateur, peu présent dans leur cursus, mais surtout la possibilité de progresser à leur rythme, en choisissant les aides qui leur paraissaient les plus adaptées. La situation même de travail sur machine empêche les interventions régulières et fréquentes de l'enseignant pour le groupe entier. Là encore, il s'agit d'un résultat connu de longue date, lié à l'évolution du rôle de l'enseignant lors de séances sur ordinateur, quelque soit le type de logiciel employé (Fey 1989). Nous n'avons pas abordé ici cette question fondamentale du

rôle de l'enseignant, préférant nous centrer sur les pratiques des étudiants. La principale nouveauté concernant ces pratiques réside ici dans les observations relatives à ce que nous avons appelé « le paradoxe du concepteur ». Alors que l'on pouvait craindre un appel systématique aux aides, voire aux solutions, on constate que les étudiants en font un usage mesuré. Ils conservent, malgré les possibilités offertes par le logiciel, une véritable activité de résolution de problèmes. Ainsi l'emploi du support en ligne a réellement permis de ménager une place à cette activité peu présente dans les enseignements traditionnels. Bien entendu, il s'agit d'une simple résolution de problèmes faite au brouillon, et non de la rédaction d'une solution. Cependant cette activité de rédaction autonome par l'étudiant n'a pas plus de place dans les travaux dirigés classiques ; et elle peut exister avec le logiciel grâce à un scénario prévoyant d'exiger des traces écrites appropriées.

Il ne s'agit en aucun cas pour nous de prétendre que seul l'emploi de BRAISE, ou même d'autres logiciels de type « base de problèmes », permet de renforcer la place de la résolution de problèmes à l'université. D'autres dispositifs peuvent certainement être envisagés. Nous n'avons pas non plus cherché à évaluer a posteriori l'élaboration par les étudiants ayant travaillé sur le logiciel de types de problèmes, ni même à observer une possible amélioration de leurs performances. Nous faisons l'hypothèse que c'est la résolution de problèmes qui favorise la construction de types de problèmes. Et le logiciel a effectivement permis que les étudiants développent une véritable activité de résolution de problèmes.

Les recherches sur les bases de problèmes en ligne sont actuellement poursuivies, notamment afin de préciser les choix de scénarios possibles, suivant le public concerné et le logiciel utilisé. La question d'un travail des étudiants en autonomie partielle et celle de l'évolution du rôle de l'enseignant, qui y est fortement corrélée font l'objet d'études qui prolongent et complètent celle qui a été présentée ici.

Annexe : exemples d'écrans de BRAISE

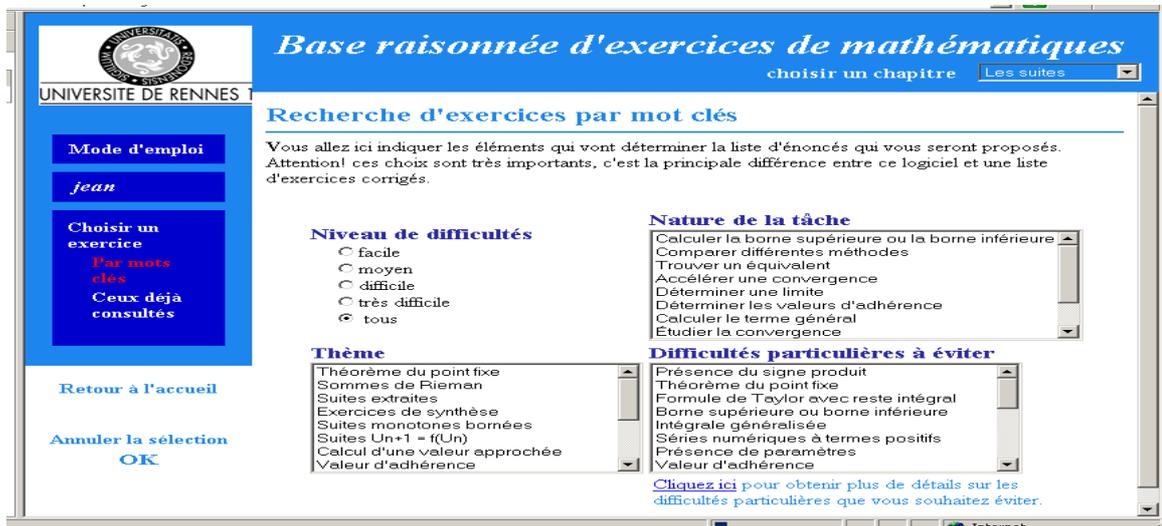


Figure 1 : écran de choix par mots-clés

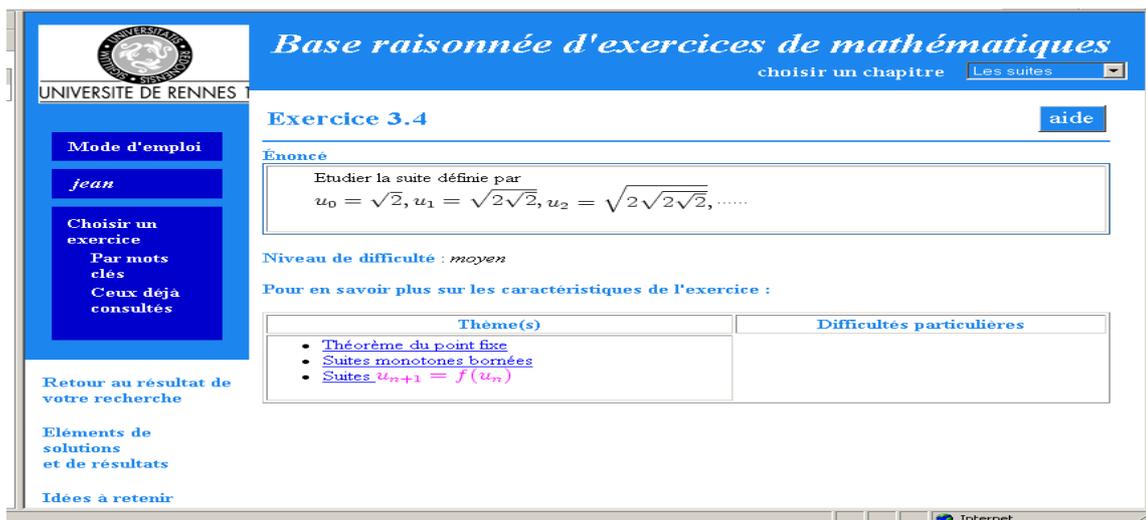


Figure 2 : écran de présentation d'un exercice

Bibliographie

- C. CASTELA (2000), *Un objet de savoir spécifique en jeu dans la résolution de problèmes : le fonctionnement mathématique*. Recherches en didactique des mathématiques, **20(3)**, 331-380, La pensée sauvage, Grenoble.
- C. CASTELA (2002), *Les objets du travail personnel en mathématiques des étudiants dans l'enseignement supérieur : comparaison de deux institutions, université et classes préparatoires aux grandes écoles*, Cahiers de Didirem n° **40**, Paris, Université Paris 7.
- C. CAZES, F. VANDEBROUCK (2003) *Analyse d'un exemple d'intégration de TICE dans une formation d'enseignement supérieur*, Actes du colloque ITEM, IUFM de Reims <http://www.reims.iufm.fr/Recherche/ereca/itemcom/>
- C. CAZES, G. GUEUDET, M. HERSANT, F. VANDEBROUCK (2004), *Using web-based learning environments in teaching and learning advanced mathematics*, Présentation au colloque ICME10, Copenhagen, Danemark.
- J. T. FEY (1989) *Technology and mathematics education: a survey of recent developments and important problems*. Educational studies in Mathematics **20** 237-272.
- G. GUEUDET, J. HOUEBINE (2003), *Une base d'exercices en ligne à l'université*, Actes du colloque ITEM, IUFM de Reims. <http://www.reims.iufm.fr/Recherche/ereca/itemcom/>
- J. JULO (1995), *Représentation des problèmes et réussite en mathématiques : un apport de la psychologie cognitive à l'enseignement*, Presses universitaires de Rennes.
- D. MIODUSER and al. (2000), *Web-based learning environments: current pedagogical and technological state*, JRCE, **33(1)**.
- A. ROBERT, J. ROGALSKI (2003), *A cross-analysis of the mathematics teacher's activity. An example in a French 10th-grade class*, to appear in Educational Studies in Mathematics.
- K. RUTHVEN, S. HENESSY (2002), *A practitioner model of the use of computer-based tools and resources to support mathematics teaching and learning*, Educational Studies in Mathematics, **49(2-3)**, 47-86.

Ghislaine GUEUDET
CREAD,
IUFM Bretagne et Equipe DidmaR,
Université Rennes 1,
Ghislaine.Gueudet@bretagne.iufm.fr