

Impact du logiciel « *Apprenti Géomètre* » sur certains apprentissages

Introduction

La recherche relatée dans le présent document¹ a pour origine première une tâche confiée en 2002 au CREM par le Ministère de la Communauté française. Il s'agissait de concevoir et de superviser la réalisation d'un logiciel de mathématique destiné aux enfants de 8 à 12 ans. Cette tâche s'inscrivait naturellement dans une politique tendant à l'intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC) aux activités scolaires. Le développement de logiciels vise notamment à l'apprentissage de compétences via la mise des élèves en présence de situations-problèmes difficilement abordables dans un contexte scolaire traditionnel.

Réalisé en moins d'un an par une firme privée, d'après un cahier de charges rédigé par le CREM, le logiciel reçut le nom de « *Apprenti Géomètre* ». Il constitue un « micro-monde » dans lequel l'enfant, à travers la résolution de problèmes présentés dans le cadre géométrique et exprimés dans un registre graphique, progresse dans la conceptualisation de notions mathématiques dont certaines débordent largement de la géométrie.

En même temps, le CREM écrivait et expérimentait des activités mettant en oeuvre *Apprenti Géomètre* dans le cadre du cours de mathématique dans les classes des deuxième et troisième degré de l'école primaire. La brochure [1] reprenant des fiches relatives à ces activités a été réalisée en 2003 et envoyée à toutes les écoles fondamentales des divers réseaux en Communauté française, en même temps que le logiciel lui-même.

Apprenti Géomètre commence seulement sa carrière dans l'enseignement. Les expérimentations réalisées de 2002 à 2005, et relatées dans les brochures [1] à [3], faisaient bien augurer des services qu'il pourrait rendre dans l'avenir. Mais clairement, elles étaient loin d'épuiser les possibilités, d'autant plus que ces expérimentations avaient été réalisées presque uniquement dans des classes de l'enseignement primaire, ce qui résultait tout naturellement du fait que le projet initial de 2002 était dû à l'initiative du Ministre ayant l'enseignement fondamental dans ses attributions.

Néanmoins, deux éléments étaient clairs pour les responsables du CREM. D'une part *Apprenti Géomètre* ne disposait pas de toutes les fonctionnalités qui lui auraient permis d'être utilisé efficacement dans l'enseignement secondaire. D'autre part, ses spécificités par rapport aux autres logiciels de géométrie dynamique disponibles

¹ Cette recherche a été subventionnée par le Ministère de la Communauté française et réalisée par une équipe constituée de S. Agie de Selsaten, B. Honclaire, P. De Rijck, M. Herman, G. Noël, Ph. Mairesse, G. Philippart, Ph. Skilbecq et A. Vandenbruaene.

devaient lui permettre de jouer un rôle important à ce niveau d'enseignement pour peu que les fonctionnalités manquantes y soient ajoutées.

Aussi, dans le courant de 2005, le CREM entama-t-il la réalisation d'une seconde version d'*Apprenti Géomètre*. Tout en conservant les principes de base et les fonctionnalités de la première version, la deuxième devait être conçue de manière à fournir au professeur de l'enseignement secondaire les outils indispensables et d'étendre les spécificités permettant une approche dynamique d'un large éventail de situations problèmes.

Simultanément, le CREM introduisit auprès du Ministère de la Communauté française un nouveau projet de recherche pour la période 2005--2007 en vue de coordonner la réalisation de la seconde version d'*Apprenti Géomètre* avec la réalisation de nouvelles expérimentations dans les enseignements primaire et secondaire. Cette approche s'imposait d'autant plus que le Ministère demandait précisément aux centres de recherche de s'intéresser particulièrement à la charnière entre ces deux niveaux d'enseignement.

Les objectifs

Les objectifs du projet de recherche portaient sur les deux aspects de l'enseignement et de l'apprentissage. Nous pouvons les formuler comme suit.

- Analyser les conséquences didactiques de l'emploi du logiciel sur l'apprentissage à deux niveaux d'enseignement situés à la charnière primaire-secondaire.
- Prolonger les études réalisées antérieurement portant sur l'utilisation du logiciel dans l'enseignement primaire, notamment dans une optique de différenciation de l'enseignement.
- Construire des séquences d'activité destinées à intégrer l'outil dans les pratiques des classes, en établissant une forme de continuité dans la transition du primaire vers le secondaire.

Ces séquences devaient amener les élèves à exploiter les possibilités dynamiques du logiciel dans une philosophie d'enseignement basée sur les principes constructivistes.

Les caractéristiques d'*Apprenti Géomètre*

Apprenti Géomètre se classe dans la catégorie des logiciels de « géométrie dynamique » Il se situe ainsi dans la ligne de deux logiciels très connus: le langage **Logo** dû à S. Papert, [4] et **Cabri-Géomètre**, conçu et réalisé par J.-M. Laborde, [5].

Apprenti Géomètre se distingue de ces logiciels par le fait qu'il donne la possibilité d'amener directement à l'écran les formes géométriques les plus courantes: trian-

gles, quadrilatères, etc. Alors que les autres logiciels demandent aux élèves d'appliquer une procédure parfois complexe, fût-ce pour dessiner un triangle équilatéral, dans *Apprenti Géomètre*, cette forme (et bien d'autres) est prédéfinie.

Les formes prédéfinies dans *Apprenti Géomètre* sont de deux types: certaines, qualifiées de « standard » sont indéformables et conviennent particulièrement bien aux plus jeunes enfants. Elles sont regroupées en familles adaptées à la comparaison d'aires en l'absence d'unité conventionnelle. Elles sont comparables à certains jeux de matériel didactique en bois ou en plastique, mais à la différence des éléments de ces jeux, les formes géométriques « virtuelles » peuvent être découpées, fusionnées et reproduites à volonté. De plus les figures réalisées peuvent être imprimées et collées dans le cahier de l'élève. La possibilité de dupliquer, découper ou fusionner des formes dessinées à l'écran fait d'*Apprenti Géomètre* un outil particulièrement adapté à l'apprentissage des mesures de grandeurs géométriques et des fractions.

D'autres formes, dites « libres » peuvent être déformées à volonté, tout en conservant leurs caractéristiques initiales, par exemple un triangle rectangle reste toujours un triangle rectangle. Toutes peuvent également être déplacées ou retournées sur l'écran ou être soumises à diverses transformations géométriques. De plus, le logiciel est structuré de manière à assembler en familles les formes ayant des caractéristiques communes.

Une présentation détaillée de la version 1 du logiciel peut être trouvée dans la brochure d'accompagnement, [1], ainsi que dans les documents [6] et [7] de Nicolas Rouche et Philippe Skilbecq.

Bien qu'elle ait déjà été utilisée pour les expérimentations réalisées en 2006--2007 dans des classes de première secondaire, la version 2 du logiciel n'est pas encore tout à fait terminée. Elle devrait être disponible dans le courant de l'année scolaire 2007--2008. Il est néanmoins déjà possible de donner ici quelques indications à son sujet. Pour commencer, disons que tout ce qui vient d'être indiqué à propos de la version 1 reste valable pour la version 2 et concentrons-nous sur ce qui différencie les deux versions.

La première différence concerne la structure de l'interface. Alors que dans la version 1, les fonctionnalités étaient réparties en deux niveaux, dénommés « Kit standard » et « Kit libre », la version 2 comprend trois niveaux dénommés « Niveau A », « Niveau B » et « Niveau C ».

Le niveau A reprend les fonctionnalités du « Kit standard » et est donc particulièrement destiné aux enfants de 8 à 12 ans (ce qui ne veut pas dire qu'il soit sans aucun intérêt avec des élèves plus âgés). Les formes géométriques qui y sont accessibles sont les formes standard.

Comme dans la version 1, les formes standard peuvent être déplacées (nous disons désormais « glissées »), tournées et retournées, mais ces mouvements sont plus variés. Ainsi les formes peuvent être retournées au long de quatre axes au lieu d'un seul. Bien entendu la propriété de magnétisme qui assure l'ajustement des pièces les unes aux autres est toujours là et a même été simplifiée. À signaler également,

la possibilité de remplacer le jeu de base de formes standard par d'autres jeux particuliers. Par exemple les douze pentaminos ou les pièces du tangram peuvent être chargés en tant que formes standard et donner lieu aux activités bien connues avec ces pièces. L'enseignant qu'un peu de programmation ne rebute pas, peut éventuellement créer lui-même d'autres jeux de pièces standard.

Les fonctionnalités du « Kit libre », accessibles vers la fin de l'école primaire se retrouvent au niveau B. Il est donc toujours possible en quelques clics de créer des formes géométriques préprogrammées (triangles quelconques, triangles rectangles, isocèles ...). Et comme les formes standard, ces formes peuvent être glissées, tournées, retournées... À ces fonctionnalités, déjà présentes dans la version 1, viennent s'ajouter quelques nouveautés. Ainsi, la fonction « Dupliquer » ne se contente pas de reproduire une forme à l'identique. La forme initiale et son duplicata restent associées, de sorte que toute modification apportée à l'une se répercute sur l'autre. Cette association est également valable lorsqu'une forme est découpée en morceaux: toute modification apportée à la forme initiale se répercute sur les morceaux, et vice-versa. Cette fonctionnalité permet d'illustrer dynamiquement de nombreux résultats géométriques auxquels elle confère leur généralité.

Une autre nouveauté importante par rapport à la version 1: la possibilité de placer des points mobiles sur des segments, des cercles ou des polygones. L'absence de cette fonctionnalité dans la version 1 constituait une lacune importante rendant problématique son emploi dans les cours de géométrie de l'enseignement secondaire.

La fonction « Dupliquer » s'applique également aux « points sur » en assurant une liaison entre eux: si un duplicata d'un point mobile sur un segment est créé et placé sur un autre segment, les deux points auront toujours la même abscisse. Cette technique permet de créer de véritables fonctions d'un segment ou d'un polygone vers un autre et de créer des fichiers dynamiques illustrant, par exemple, des propriétés de proportionnalité.

Quant au niveau C, absent dans la version 1, il comprend les objets « infinis »: droites, demi-droites, bandes, secteurs, tous objets indispensables pour l'étude de la géométrie, dès le début du secondaire.

D'autres fonctionnalités pourraient encore être rappelées, par exemple l'existence des transformations géométriques (translations, rotations, symétries) dont l'usage a été complètement revu par rapport à la version 1. Certaines possibilités répondent aux vœux des enseignants. Il leur est par exemple possible de modifier à volonté le vocabulaire utilisé dans le logiciel, ou encore de personnaliser les menus accessibles à l'élève, de façon que celui-ci ait, ou non, accès à une fonction particulière. Ceci permet une certaine différenciation de l'enseignement selon la classe, voire selon l'élève. À noter encore que lors de chaque session de travail, un fichier « historique » est créé et que tout le travail de l'élève y est enregistré. Celui-ci peut ainsi relire ce fichier, partiellement ou totalement, l'utiliser pour rédiger une narration de recherche, ou encore modifier un choix précédent... L'enseignant peut aussi relire le fichier historique afin de prendre connaissance du travail de l'élève.

Le contexte expérimental

La recherche menée de septembre 2005 à août 2007 a comporté deux parties correspondant aux deux objectifs principaux relatifs l'un à l'enseignement, l'autre à l'apprentissage. Compte tenu de ce que cette recherche devait concerner à la fois la fin de l'enseignement primaire et le début du secondaire, le thème qui a semblé le plus adéquat était la mesure des aires des formes géométriques élémentaires, de 10 à 14 ans.

À priori, il s'agissait donc d'élaborer des séquences d'enseignement utilisant *Appren-ti Géomètre* qui permettent de rencontrer différents concepts et procédures, à savoir

- le concept d'égalité d'aires,
- le concept d'aire lui-même;
- le concept de mesure de l'aire;
- les procédures de mesure et calcul de l'aire.

C'est à ce programme que nous nous sommes attelés, tout en étant conscients de ce que la tâche ne serait pas facile. En effet, si une recherche portant sur l'enseignement d'un sujet donné doit nécessairement innover et prendre quelques libertés par rapport aux techniques d'enseignement usuelles de ce sujet - sans quoi, ce ne serait plus une recherche - elle doit néanmoins prendre en considération non seulement les directives officielles telles que les programmes et les socles de compétences, mais aussi la réalité, parfois très variable, du terrain.

En l'occurrence, les socles de compétences prévoient que les élèves soient *sensibilisés* aux questions relatives aux grandeurs dans le courant du deuxième degré du primaire, que les compétences correspondantes soient *certifiées* au troisième degré du primaire et *entretenues* au premier degré du secondaire.

En situant nos expérimentations en cinquième et sixième primaire et première secondaire, nous aurions donc pu rencontrer les différentes composantes du programme élaboré ci-dessus, en supposant qu'au début de la cinquième primaire, les élèves n'avaient été que « sensibilisés » au sujet. Il nous est apparu assez rapidement --- et nous nous y attendions --- que l'expression « sensibiliser » peut faire l'objet d'interprétations différentes.

En fait, la plupart des élèves arrivent en cinquième primaire en ayant déjà rencontré les *formules* de périmètre et d'aire au moins pour le carré et le rectangle, parfois pour le triangle. Bien souvent cette *connaissance procédurale* est instable du fait qu'elle ne repose pas sur une assimilation des *concepts élémentaires*. Il convient alors de reprendre des activités portant sur ces notions de base, ce qui est toujours difficile dans un contexte scolaire dans lequel l'enfant a déjà rencontré les aspects procéduraux et compris l'importance que l'institution leur accorde.

Le résultat est que la certification supposée acquise à la fin du primaire est loin d'être toujours effective et que l'enseignant du secondaire se retrouve dans la situation de devoir *entretenir* des connaissances parfois mal assurées, et ne disposant

pour cela que d'un nombre limité de périodes de cours. Cette constatation repose notamment sur les tests que nous avons réalisés durant l'expérience, tant en cinquième et sixième primaire qu'en première secondaire. Nous reviendrons sur ces tests dans la suite.

En ce qui concerne les aspects liés à l'apprentissage, notre objectif était d'analyser l'impact du logiciel *Apprenti Géomètre* sur la conceptualisation de l'aire et de sa mesure. Autrement dit, il s'agissait de déterminer si les comportements des élèves en situation de résolution de problème avaient évolué différemment au cours de l'année scolaire, selon que les élèves avaient ou n'avaient pas utilisé le logiciel durant leur apprentissage. Il s'agissait aussi d'interpréter les comportements observés en termes de conceptualisation.

Une telle comparaison ne peut se faire que par l'adoption du schéma expérimental traditionnel répartissant les élèves en un groupe expérimental et un groupe témoin. Encore fallait-il que l'enseignement dispensé aux deux groupes ne diffère, *a priori*, que par l'usage du logiciel et non par le contenu mathématique, ni par la présentation des activités proposées.

Ce sont donc en fait deux expériences différentes que nous avons menées en parallèle, tant dans les classes du primaire que dans celles du secondaire. Les deux expériences proposaient aux élèves les mêmes activités, le groupe témoin n'utilisant que le contexte « papier-crayon » et le groupe expérimental passant d'un contexte à l'autre. Nous voulons en effet insister sur le fait que l'usage de l'informatique dans les classes ne peut en aucun cas faire disparaître les techniques plus traditionnelles.

Toutefois, il est impossible de transposer un schéma traditionnel d'enseignement du contexte « papier-crayon » vers un contexte informatique sans induire éventuellement des différences de conceptualisation. En particulier, les concepts mathématiques rencontrés et les procédures mises en œuvre dans les deux contextes ne sont pas toujours identiques. Par exemple, lors du tracé au compas d'un cercle sur une feuille de papier, l'élève choisit deux points puis fait apparaître le cercle comme un arc qui s'allonge jusqu'à se refermer. Lors du tracé avec *Apprenti Géomètre*, le cercle apparaît complètement dessiné dès le choix du premier point, et le choix du second point n'a pour effet que de fixer la taille du cercle. Pour de jeunes élèves, cette différence de tracé peut entraîner des différences de conceptualisation. De même, le fait de pouvoir fusionner des formes géométriques pour en constituer d'autres permet une approche des questions liées à la mesure des aires plus variée qu'une approche traditionnelle.

La familiarisation avec plusieurs contextes de travail et le transfert de l'un à l'autre permettent un enrichissement conceptuel qui n'est pas à négliger. Lors d'une réunion avec les institutrices ayant participé à l'expérience, l'une d'entre elles s'exprimait ainsi:

Les enfants ont acquis certains réflexes qu'ils n'avaient pas auparavant : notamment découper et superposer, le fait d'avoir lié l'informatique et le côté écrit pratique leur a permis d'acquérir des petits réflexes... L'informatique a aidé et motivé à

avoir ces réflexes de superposition. Quand nous avons continué, nous avons remarqué que les enfants appliquaient un peu plus les démarches qui leur avaient été apprises... ou ce qu'on leur avait montré.

Le contexte informatique permet aussi de proposer des activités totalement irréalisables dans le contexte « papier-crayon ». Dans le cadre de notre expérience, de telles activités auraient empêché toute comparaison directe entre les deux groupes. Elles pourraient être envisagées dans un schéma expérimental différent.

Les tests

Afin d'analyser les démarches mises en œuvre par les élèves, nous avons fait précéder et suivre les séquences d'enseignement de pré-tests et post-tests qui ont ensuite été dépouillés et analysés. Nous avons ainsi relevé des taux de réussite à diverses questions. Mais ce qui nous intéressait au premier chef était les comportements afin de dégager quels étaient les plus fréquents dans des situations de résolution de problèmes. Nous avons donc cherché à déterminer systématiquement comment les élèves avaient obtenu leurs réponses, qu'elles soient correctes ou non.

Dans ce but, nous leur avons très souvent demandé de *justifier* leurs réponses ou d'*expliquer* leurs démarches. Malgré l'emploi du verbe *justifier*, il ne s'agissait pas de leur demander de produire une démonstration mathématique rigoureuse, ce qui n'était pas encore possible pour la plupart d'entre eux, mais simplement de les amener à s'exprimer. La correction de l'expression est un élément intéressant, mais ce n'est qu'un élément parmi d'autres. Les tests montrent qu'on trouve des élèves capables de s'exprimer très correctement.

Les résultats principaux

Avant d'entrer dans plus de détails, donnons immédiatement quelques indications quant aux principales constatations que nous avons pu faire quant à l'impact du logiciel *Apprenti Géomètre* sur la conceptualisation et les démarches des élèves.

Reconnaissons qu'au départ, nous concevions cet impact essentiellement en termes de maîtrise des *compétences* telles que définies par exemple dans le document relatif aux *socles*.

Mais une recherche n'en serait pas une, si elle ne faisait apparaître des phénomènes imprévus. La *compétence* sur laquelle l'usage d'*Apprenti Géomètre* nous semble avoir eu le plus grand impact ne figure pas dans les *socles*. Et cependant, c'en est bien une et la recherche nous a permis de prendre conscience de son importance pour la maîtrise de celles qui sont mentionnées dans les *socles*. Il s'agit de la capacité à *voir* une figure géométrique, à la décomposer en éléments constitutifs, à la compléter en y traçant des traits supplémentaires, des traits qu'on ne peut dessiner sans les avoir au préalable imaginés abstraitement, mentalement. Cette capacité apparaît comme un élément constitutif important de la réussite aux questions po-

sées dans les tests. Et effectivement, les élèves ayant utilisé Apprenti Géomètre semblent avoir acquis une meilleure vision géométrique, ce qui n'a en fait rien d'étonnant vu le caractère dynamique de l'activité sur ordinateur.

L'importance de la vision en géométrie a été décrite et analysée par R. Duval dans un article, [8], paru en 2005. Cet article a eu une influence importante sur notre travail.

Un autre impact de l'utilisation d'un logiciel, qui n'est pas non plus une compétence des *socles* est que les élèves du groupe expérimental semblent avoir acquis une attitude plus réfléchie lorsqu'ils se trouvent en situation de résolution de problème.

Lors de la réunion déjà évoquée avec les enseignantes du primaire, l'une d'entre elles disait:

Ce qui est pratique avec l'informatique c'est que les enfants devaient mieux se représenter au départ ce qu'ils voulaient réaliser parce que sinon ils étaient piégés, à la limite, quand ils peuvent disposer de matériel qu'ils peuvent manipuler, ils vont chipoter. Tandis qu'avec l'ordinateur, ils ont tout intérêt, s'ils veulent être efficaces rapidement, à imaginer là où ils veulent aller !... de bien se représenter... de réfléchir avant d'agir. Ils pourraient chipoter aussi avec l'informatique mais en règle générale ils ne le font pas, car ils se rendent compte qu'ils sont vite piégés !

Que les élèves réfléchissent plus, n'est-ce pas de nature à favoriser la mise en oeuvre de méthodes actives d'enseignement?

Une autre constatation que nous ne pouvons passer sous silence est le fait que l'emploi d'un logiciel modifie la didactique à mettre en oeuvre, précisément parce qu'il rend les élèves plus actifs. Cette modification nécessite de la part des enseignants un travail d'adaptation, qu'ils n'auront pas tendance à faire si de bonnes conditions matérielles ne sont pas réalisées.

En particulier, si l'on souhaite voir s'accroître l'utilisation de l'informatique, le matériel doit être disponible en permanence et facile d'accès. L'ordinateur et le projecteur doivent donc faire partie du mobilier de la classe de mathématique. La séparation actuelle des salles informatiques et des salles de cours traditionnelles constitue un frein important à l'intégration de l'ordinateur dans l'enseignement. Elle renforce les différences entre les leçons où on utilise le logiciel et celles où on ne l'utilise pas.

Pour l'enseignant qui désire pratiquer une pédagogie active, l'ordinateur n'a pas pour seul rôle d'illustrer un enseignement traditionnel en *montrant* de temps en temps quelques séquences de géométrie dynamique. Il s'agit d'un outil qui vient à l'appui de la réflexion de l'élève et doit être disponible au moment où celui-ci *en a besoin*, même si ce moment résulte d'initiatives de la classe et par conséquent ne peut être prévu. L'expérimentation réalisée dans l'enseignement secondaire a pu mettre en évidence des différences dans le déroulement des activités selon que les ordinateurs sont ou ne sont pas installés dans la classe.

Bien entendu ces dernières remarques concernent l'emploi des logiciels en général et non uniquement celui *d'Apprenti Géomètre*.

Une analyse théorique

Nous avons d'abord réalisé une étude théorique du domaine de recherche en prenant en considération plusieurs points de vue différents. Nous en présentons ci-dessous un très bref résumé.

Notre réflexion a débuté par une étude comparative des logiciels de géométrie dynamique et une analyse des principales réflexions d'ordre didactique qui ont accompagné les différentes recherches relatées dans la littérature spécialisée. Le logiciel « vedette » est incontestablement **Cabri-Géomètre**, mais d'autres logiciels tels que **Cinderella** et **GeoGebra** disposent de fonctionnalités spécifiques qui en font également des outils intéressants, surtout pour l'enseignement secondaire supérieur.

Du point de vue historique, la géométrie est enracinée dans les activités d'arpentage présentes dans l'antique civilisation égyptienne. Elle naît en tant que science à l'époque de Thalès, avec l'apparition d'un principe directeur de nombreuses activités humaines, à savoir la proportionnalité. Mesurer étant une activité associant un nombre à une grandeur physique, il n'est pas étonnant que l'histoire de la mesure soit aussi l'histoire des développements des concepts numériques. Une attention assez importante a été consacrée aux mathématiques arabes (du IX^e au XV^e siècle) dont l'apport en mathématiques est très généralement méconnu dans nos contrées.

D'un point de vue strictement mathématique, les différentes activités pouvant être consacrées à l'aire vont de la comparaison qualitative de formes géométriques à la détermination numérique de leur aire relativement à une unité conventionnelle. C'est l'occasion de distinguer soigneusement les perceptions *qualitative*, *quantitative* et *numérique* de l'aire.

Une réflexion sur l'apprentissage d'un sujet particulier ne peut faire l'économie d'en aborder les aspects relevant de la psychologie cognitive. Nous nous sommes fortement - mais pas uniquement --- inspirés des travaux de Piaget, [9], concernant l'apprentissage par l'enfant des concepts d'aire et de mesure d'aire. Le point de vue *constructiviste* qui y est développé a été à la base de la construction des activités soumises aux élèves lors de l'expérimentation. Nous nous sommes également intéressés au problème de la « perception visuelle » et avons mis en évidence quelques-uns des seuils épistémologiques que les élèves ont à franchir.

L'expérimentation

Des activités ont été expérimentées en 2005-2006 dans des classes de sixième primaire et en 2006-2007 dans des classes de cinquième primaire et dans des classes de première secondaire. Il n'est guère possible dans le cadre de cet article de décrire ces activités en détails. Aussi, nous contenterons-nous d'en énoncer les principes, renvoyant le lecteur intéressé au rapport complet qui sera mis en ligne sur le site www.enseignement.be

Dans l'enseignement fondamental, la séquence d'activités proposées aux élèves allait de la construction *qualitative* du concept d'aire, via des découpages, des recompositions et des dénombrements, à la mise en place des *formules* donnant les aires du carré, du rectangle et du parallélogramme. Insistons sur le fait que ce dernier point ne consistait nullement en l'application mécanique des formules. Il s'agissait de mettre en évidence les caractéristiques particulières des formes géométriques considérées qui donnent du sens à ces formules et permettent ainsi de les utiliser en les comprenant.

En première année du secondaire, on supposait assimilé le concept d'aire, et on construisait, suivant les mêmes principes les formules d'aire du parallélogramme, du triangle, et des autres formes géométriques mentionnées dans les programmes. Le concept de *bande* (espace limité par deux parallèles) joue un rôle important dans ce développement.

Comme on l'a indiqué plus haut, ces séquences d'activités ont été complétées par des tests qui nous ont permis notamment de dégager ce que nous avons appelé d'une part des comportements de réussite, d'autre part des comportements d'échec.

Ces expressions ne doivent pas être prises dans un sens absolu car tel comportement qui amène à trouver une bonne réponse dans un certain éventail de situations peut se révéler catastrophique dans d'autres. À titre d'exemple, l'élève qui détermine l'aire d'un polygone en le pavant avec de petits carrés, a de bonnes chances de trouver une réponse acceptable si le polygone est un rectangle. Il en a beaucoup moins pour des polygones plus généraux. Les expressions « comportements d'échec » et « comportements de réussite » sont relatives à un exercice donné, ou plus précisément encore, à un questionnaire donné car les comportements d'un élève lors de la résolution d'un exercice peuvent aussi varier en fonction des autres exercices du même questionnaire.

La détermination des comportements les plus fréquents de réussite et d'échec présente un intérêt certain du point de vue didactique, puisqu'elle permet de mieux apprécier les performances individuelles des élèves. Elle permet aussi à l'enseignant de réagir aux difficultés susceptibles de se présenter dans une classe.

Pour plus de détails, nous invitons le lecteur à prendre connaissance du rapport de recherche complet.

Pour terminer, rappelons que notre expérimentation ne portait que sur des aspects particuliers de l'apprentissage, et dans un contexte déterminé. Comme pour n'importe quelle expérimentation didactique, il est exclu d'en généraliser les résultats de façon irréfléchie.

Bibliographie

[1] CREM, Apprenti Géomètre, Grandeurs, Fractions et Mesures, *Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques*, Nivelles, (2003).

- [2] CREM, Apprenti Géomètre, Rapport de recherche 2003-2004, *Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques*, Nivelles, (2004).
- [3] CREM, Apprenti Géomètre, Un outil de différenciation des apprentissages en mathématique, *Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques*, Nivelles, (2005).
- [4] S. Papert, Jaillissement de l'esprit, *Flammarion*, Paris, (1980).
- [5] J.-M. Laborde and R. Strässer, Cabri-géomètre, a microworld of geometry for guided discovery learning, *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 90, 5, 171-190, (1990).
- [6] N. Rouche et P. Skilbecq, Apprenti Géomètre, un nouveau logiciel, *Mathématique et Pédagogie*, 149, 68-84, (2004).
- [7] N. Rouche et P. Skilbecq, Apprenti Géomètre: pourquoi un nouveau logiciel, *Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques*, Nivelles, (2006).
- [8] R. Duval, Les conditions cognitives de l'apprentissage de la géométrie, *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 10, 5-53, (2005).
- [9] J. Piaget, B. Inhelder, et A. Szeminska, La géométrie spontanée de l'enfant, *Presses Universitaires de France*, Paris, (1948).