

Chapitre 4

Part de la didactique des mathématiques dans les choix de conception de Cabri

Colette Laborde

Cabrilog, Fontaine, France; Colette.Laborde@cabri.com

L'exposé analyse à l'aide de quelques exemples la conjonction de diverses influences sur la conception et le développement de l'environnement de mathématiques dynamiques Cabri lors de ses trente années d'existence et d'évolution. La place et le rôle de la didactique des mathématiques font l'objet d'une attention particulière.

Mots clés: Cabri, mathématiques dynamiques, didactique, interface, interactivité, déplacement.

Le développement d'un environnement informatique pour l'apprentissage des mathématiques repose sur de nombreux choix et se fait sous diverses contraintes, en n'échappant pas à des contingences multiples. Cette multiplicité des facteurs s'est faite jour au long des trente années du développement du logiciel Cabri et de ses mutations. Parmi les facteurs notables intervenus, citons :

- la vision des concepteurs ;
- le domaine de savoirs concerné, initialement la géométrie puis depuis les années 90 les mathématiques, intervenant sur les choix des objets et des outils disponibles et les contraintes de fidélité épistémique ;
- le choix des principes de conception d'interface : les principes choisis placent l'utilisateur, c'est-à-dire l'élève, au centre des préoccupations et privilégient la manipulation directe des représentations des objets mathématiques ;
- les besoins et désirs du terrain de l'enseignement des mathématiques ;
- la recherche en didactique des mathématiques

Ces facteurs sont évidemment interdépendants. Ainsi la fidélité épistémique du comportement des objets à l'écran est-elle indispensable pour que le principe d'interface « What you see is what you expect » (« Ce que vous voyez est ce que vous attendiez ») puisse fonctionner et qu'ainsi les rétroactions du logiciel aux actions des élèves ne remplissant pas leurs attentes puissent être interprétées par ces derniers, non comme une erreur du logiciel, mais comme une erreur dans la suite des opérations qu'ils ont faite pour atteindre un résultat visible à l'écran.

Le présent exposé cherche à identifier le rôle de la didactique des mathématiques dans l'histoire de la conception et du développement de Cabri sur ses trente années d'existence. Compte tenu de l'interdépendance des différents facteurs, on peut s'attendre à ce que la place et le rôle de la didactique des mathématiques se soient exercés de manières différentes dans diverses configurations au cours du temps. C'est ce dont il est rendu compte dans la suite, après un bref historique de la genèse et du développement de Cabri sous forme de dates clés.

Dates clés

- 1963 : le premier essai de déplacement sur ordinateur est réalisé par Ian Sutherland à IBM (Sketchpad programme).
- 1980-83 : tirant parti de l'apparition de nouvelles interfaces graphiques, un projet français national, de nom Cabri-graphes, conçoit et développe un environnement pour l'aide à la conjecture en théorie des graphes, dans lequel on peut construire et déplacer directement les sommets et les arêtes à l'aide d'une souris. Ce projet réunit plusieurs équipes d'universités françaises, dont en particulier le Laboratoire de Structures discrètes et Didactique (LSD2) de l'Université Joseph Fourier à Grenoble.
- 1984 : J.-M. Laborde (LSD2) propose de transférer l'idée du déplacement des sommets d'un graphe à la géométrie : les points d'une figure pourraient être déplacés à la souris, de façon à conserver les propriétés géométriques utilisées pour la construire et celles qui en découlent.
- 1986 : un premier prototype de Cabri-géomètre est construit sur Macintosh.
- 1987 : première séquence didactique sur la symétrie orthogonale au collège (Bellemain & Capponi, 1992).
- 1988 : trophée Apple du meilleur logiciel éducatif.
- 1988 : présentation internationale de Cabri-géomètre à ICME 7.
- 1989 : diffusion de Cabri-géomètre par un éditeur en France et adoption par le canton de Vaud en Suisse.
- 1991 : sortie de Geometer Sketchpad, logiciel de géométrie dynamique, conçu aux USA et développé par N. Jackiw sous la direction de G. Klotz, initiateur du Geometry Forum.
- 1993 : Cabri géomètre, application de géométrie dynamique dans la calculatrice avancée TI-92 et sortie de Cabri II.
- 1998 : sortie de Cinderella en Allemagne, logiciel de géométrie dynamique, conçu et développé par J. Richter Gebert et U. Kortenkamp.
- 2000 : création de l'entreprise Cabrilog, essaimée de l'université Joseph Fourier et du CNRS, dédiée au développement et à l'industrialisation de la technologie Cabri initiée au LSD2.
- 2002 : sortie de Cabri II Plus, extension de Cabri II.
- 2003 : sortie de Cabri Junior, application de géométrie dynamique sur des calculatrices graphiques TI 83 et TI 84.
- 2004 : sortie de Cabri 3D, logiciel dans la lignée de Cabri-géomètre pour la géométrie dans l'espace. La manipulation se fait directement sur les objets 3D représentés et il est possible de changer de point de vue sur les figures 3D construites.
- 2008 : sortie de la nouvelle calculatrice TI-Nspire avec en particulier l'application « Graphes et géométrie » réalisée par Cabrilog.
- 2009 : démarrage de la nouvelle technologie Cabri-Elem de mathématiques dynamiques, orientée d'abord vers les mathématiques de l'enseignement primaire dans leur globalité, destinée à permettre la création de ressources interactives pour les élèves de l'école primaire sans recours à un langage symbolique de programmation.

- 2009 : sortie de la collection de ressources interactives « 1, 2, 3... Cabri » pour l'école primaire.
- 2012 : sortie du nouveau Cabri, appelé simplement Cabri, remplaçant Cabri Elem.
- 2014 : sortie de la collection de ressources interactives « Cabri Factory» pour les classes de 6e et 5e du collège.
- 2015 : extension de la collection « Cabri Factory» aux classes de 4e et 3^e.
- 2015 : la technologie Nouveau Cabri est disponible pour Android, Windows RT et iOS.
- 2016 : version html5 du mode élève du nouveau Cabri.

Influence croissante de la didactique

L'idée de déplacement préservant les propriétés géométriques, essence de Cabri-géomètre, est donc issue de celle du déplacement en théorie des graphes. La didactique n'est intervenue que de façon contingente par la coexistence d'une équipe de combinatoire et d'une équipe de didactique des mathématiques dans le même laboratoire participant au projet Cabri-graphes. Cette coexistence a permis que cette idée prenne chair par le développement de recherches à la fois en informatique et en didactique des mathématiques autour de la conception, du développement et de l'usage de Cabri-géomètre (Baulac, 1990 ; Bellemain, 1992). A partir de là, des recherches en didactique des mathématiques sur ce thème se sont développées à Grenoble, en France et dans le monde en raison de la diffusion internationale de Cabri-géomètre.

Les premières recherches ont surtout analysé les processus de résolution des élèves confrontés à des tâches sur Cabri. Un peu plus tard, au début des années 90, la géométrie dynamique sert à la fois de révélateur des conceptions des élèves relativement aux objets géométriques, et catalyseur d'une analyse épistémologique des objets géométriques. En effet, les procédés de tracé au jugé sont bien plus visibles sur Cabri car invalidés par le déplacement. L'absence de procédés de construction fondés sur une analyse géométrique, déjà remarqués dans des recherches plus anciennes, est donc confirmée. De même, une analyse épistémologique de la notion de figure géométrique déjà abordée indépendamment de l'ordinateur (Parzsy, 1988), est poursuivie (Laborde & Capponi, 1994).

A partir du milieu des années 90, le nouveau milieu matériel que constitue l'environnement Cabri sert à organiser des milieux et des situations adidactiques nouveaux tirant parti des fonctionnalités de la technologie, puis des séquences d'enseignement.

Avec les années 2000, l'attention se déplace sur les enseignants comme dans l'ensemble des recherches en didactique. En particulier, on essaie d'analyser les différences entre les usages des enseignants dans les classes ordinaires et ceux présents dans les recherches en didactique.

Le projet de recherche national de didactique MAGI est fondé en 2003 (« Mieux apprendre la géométrie avec l'informatique »). Il porte sur les usages de Cabri II plus à l'école primaire et la conception d'un cahier des charges pour un nouveau Cabri (focus : élèves et enseignants). Ce groupe a développé plusieurs processus d'enseignement pour différents niveaux de l'école primaire (CP, CE, CM) et début de collège et a en particulier étudié comment les enseignants organisent une dialectique entre les phases de processus d'instrumentation et de construction de connaissances (Assude et al., 2007). Cabri II plus est un logiciel très vaste proposant des outils de géométrie plane, de construction de graphes de fonctions, et de géométrie analytique ainsi que de

tabulation de valeurs tirées de mesures sur les figures dynamiques construites. Le projet se penche aussi sur les nouvelles fonctionnalités possibles appropriées pour l'école élémentaire.

En 2008 et 2009, l'entreprise Cabrilog poursuit l'étude de nouvelles fonctionnalités pour le Nouveau Cabri prévu au départ pour l'école élémentaire en analysant les manuels d'école primaire et les ouvrages ERMEL présentant des processus d'enseignement longs donnant une place importante aux situations adidactiques.

Un changement important réside dans la transformation de Cabri en tant que micromonde en le « Nouveau Cabri » un environnement proposant trois modes d'usage tournés vers l'ensemble des acteurs du système d'enseignement :

- un mode auteur dans lequel un enseignant ou un auteur dispose de nombreux outils pour créer des activités de mathématiques dynamiques et interactives pour les élèves ;
- un mode professeur qui permet de paramétrer et changer les textes et images d'activités déjà existantes ;
- un mode élève dans lequel l'élève résout des tâches qui lui sont proposées dans un cahier de plusieurs pages, reçoit des rétroactions adidactiques et didactiques à ses résolutions.

Les mêmes principes d'interface centrés sur l'utilisateur (auteur, enseignant ou élève) et de manipulation directe sont à l'œuvre dans les trois modes. La création d'activités interactives se fait sans recours à un code par une programmation visuelle et désignation d'objets. De même le professeur peut changer très simplement les données et les consignes des activités sans avoir à connaître une syntaxe ou le maniement d'outils spécifiques.

Ci-dessous une image (Figure 1) des différents environnements Cabri à partir de Cabri II plus et de quelques collections de ressources écrites dans différents pays :

- en France, les collections « 1 2 3 Cabri » et « Cabri Factory » dont une partie a été utilisée et modifiée pour constituer une collection homogène de 300 grains disponibles sur le portail NetEduc Cloud (Neteduc-cloud.fr) pour le cycle 3 de tous les établissements scolaires français (CM1, CM2, 6e) et accompagnée de 120 fiches pédagogiques (appel d'offres du ministère de l'éducation nationale de décembre 2016);
- dans le canton du Tessin, en Suisse, pour l'école primaire : environ 500 ressources originales en italien utilisées dans plus d'une centaine de classes depuis plus de 5 ans ;
- au Chili, en espagnol dans la première année de toutes les écoles primaires, disponibles sur ordinateur, tablette Android ou Ipad, Windows RT et smart téléphone ainsi qu'en ligne (html5) : neuf applications contenant chacune une vingtaine d'activités interactives. Toutes les données de chaque activité sont aléatoires et chaque activité comporte 4 à 5 niveaux de difficulté.

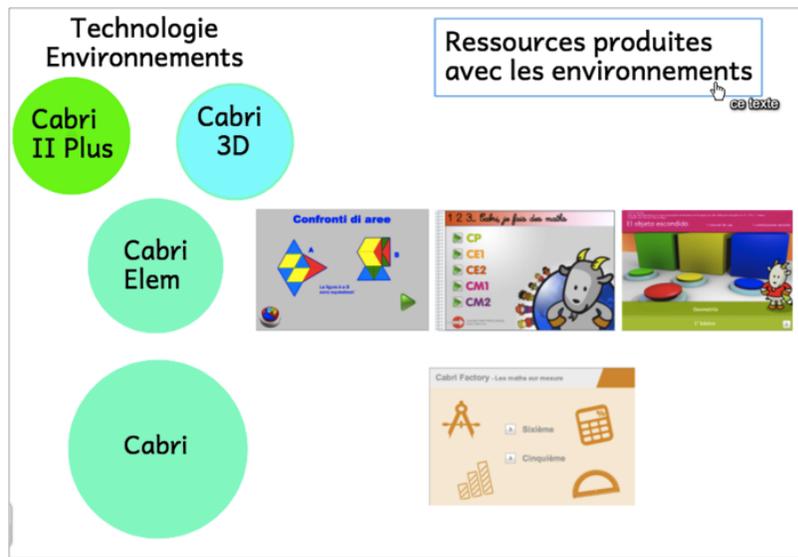


Figure 1 : Environnements Cabri et quelques-unes des ressources produites

Comme on le voit, la recherche en didactique a donc pris au cours du temps une place plus importante. Centrée aux débuts de l'existence de la technologie Cabri sur les usages par les élèves, elle s'est déplacée vers les usages par les enseignants et l'intégration de Cabri la dans la classe pour ensuite influencer sur les choix de conception de la technologie même. Ce rôle joué par la didactique sur l'évolution du logiciel ne s'est pas exercé seul mais en lien avec certains des facteurs indiqués au début de l'exposé. Dans la suite sont présentés quelques exemples de choix de conception illustrant le jeu des interactions mutuelles de la didactique avec ces autres facteurs.

Exemples d'interactions mutuelles de la didactique et d'autres facteurs

Impact des recherches sur des fonctionnalités de Cabri II, Cabri II Plus et Cabri 3D

Les recherches en didactique ont conduit à créer de nouvelles fonctionnalités dans Cabri II, absentes jusqu'alors de Cabri-géomètre. Citons en deux : la configuration des outils et l'oracle.

La possibilité de supprimer des outils et d'ajouter de nouveaux outils est inspirée de la notion de variable didactique. Selon les outils mis à disposition et donc selon le milieu matériel organisé, les tâches à réaliser par les élèves peuvent différer. Les problèmes de construction se résolvent par la mise en œuvre de propriétés différentes selon les outils disponibles. On peut donc par le choix des outils rendus disponibles disposer d'un levier pour solliciter des connaissances spécifiques de la part des élèves. Pour ces raisons, la possibilité de configurer l'ensemble des outils disponibles a été implémentée dans Cabri II, Cabri II plus et Cabri 3D :

- en mettant à la corbeille par un glisser-déposer les outils rejetés, en ajoutant de nouveaux outils au moyen de macro-constructions ;
- en changeant la répartition des outils dans les menus ;
- en sauvegardant la configuration choisie soit sous forme d'un fichier de type menu, soit sous forme d'un fichier usuel.

L'usage de la géométrie dynamique privilégie les activités donnant un place importante au déplacement, donc les activités de construction et d'exploration de propriétés. Dans ces dernières, il se présente des cas où la seule perception ne suffit pas à décider de la conservation ou de l'absence de conservation d'une propriété dans le déplacement. Un oracle permettant de tester, l'alignement ou l'équidistance de points, le parallélisme ou la perpendicularité a donc été implémenté dans Cabri-géomètre. Le rôle du contre-exemple avait été souligné par les recherches sur la preuve. L'oracle ne se contentait pas d'indiquer si la propriété était vérifiée ou non mais il donnait à voir un contre exemple dans le cas où la propriété n'était pas vérifiée.

Interactions entre les besoins du terrain et la conception de l'interface

Extensions au-delà de la géométrie dynamique

En concomitance avec l'influence de recherches, de forts besoins du terrain se sont exprimés, en particulier le besoin pour l'enseignement de disposer de mesures de longueurs, d'aires et d'angles. Ces possibilités ont été présentes dès la version Cabri2.0 de Cabri-géomètre.

Un autre besoin s'est fait jour un peu plus tard en conjonction avec à la fois les désirs des concepteurs et le concept de « multiple linked representations » issu des recherches (Kaput, 1989), celui de faire opérer le déplacement au delà de la seule géométrie, en géométrie analytique et dans le domaine des fonctions. Cabri II et Cabri II plus ont donc offert la possibilité

- d'écrire des expressions algébriques ou des fonctions sous forme de formules, de les grapher, de créer n'importe quel système d'axes orthonormé ou quelconque ;
- de remplir un tableau avec des mesures de grandeurs variables, exportable dans un tableur.

Ces développements se sont faits en continuant à développer une interface à manipulation directe pour les nouvelles fonctionnalités introduites.

Outils sous forme de boutons

Les usages de Cabri dans l'enseignement primaire ont été à l'origine du choix d'interface des outils dans Cabri Elem et le nouveau Cabri. Il n'est pas assez direct pour des élèves d'école primaire d'aller chercher des outils dans des menus. Depuis Cabri Elem, les outils sont donc accessibles par des boutons déplaçables dans l'écran. Ce choix complète la possibilité introduite dans Cabri II de configurer les outils pour les élèves. Cet usage a par ailleurs été confirmé avec l'apparition du « touch » des tablettes.

Droites intelligentes

Dès Cabri II plus (2000), ont été introduites les droites intelligentes sous forme de paramétrage. L'utilisateur pouvait choisir entre des droites qui vont d'un bord de l'écran à l'autre (Figure 2) et des droites représentées par des traits étirables à volonté (Figure 3), les traits s'allongent automatiquement à la création de points sur la droite, d'où la dénomination « droite intelligente ». Le dessin comportant des droites intelligentes est beaucoup plus clair car il permet de mieux isoler des configurations, comme le triangle ABC de la Figure 3. C'est d'ailleurs le cas dans les figures des manuels. Dans le nouveau Cabri, seule est présente la dernière possibilité qui correspond à la notion de trait en cours à l'école primaire

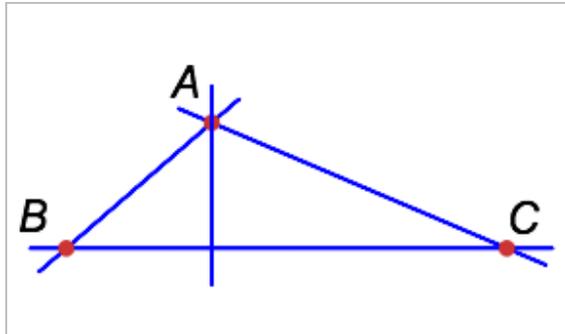
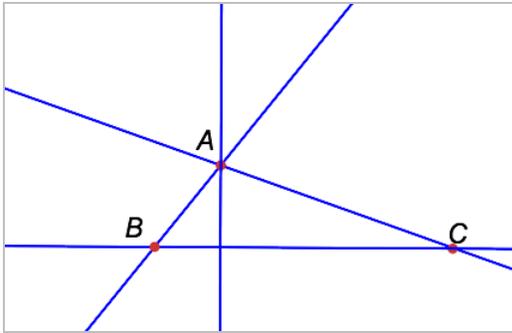


Figure 2 : Droites occupant tout l'écran **Figure 3 : Droites extensibles**

Interactions mutuelles entre remontées du terrain, recherches, innovations sur le terrain et conception d'interface à propos du déplacement

Le déplacement, essence de la géométrie dynamique, a évidemment été l'objet d'attentions fortes des divers protagonistes et utilisateurs.

Les recherches au niveau international se sont intéressées à identifier les différents types de déplacement utilisés par les élèves (Arzarello et al., 2002 ; Hölzl, 1994). Simultanément, les enseignants pionniers de l'usage de la géométrie dynamique ont mis en place de nouveaux usages. Ainsi, dès le début des années 90, Bonnet (Assude et al., 1997) a-t-il introduit dans sa classe de 4^e l'usage de ce qu'il appelait un « lieu mou ». On déplace un point libre (ne dépendant pas d'autres objets) en laissant sa trace de façon à conserver une propriété et on induit sa nature géométrique de la forme de la trajectoire. La forme circulaire de l'ensemble des sommets de l'angle droit d'un triangle rectangle d'hypoténuse donnée peut être extrapolée de cette façon (Figure 4).

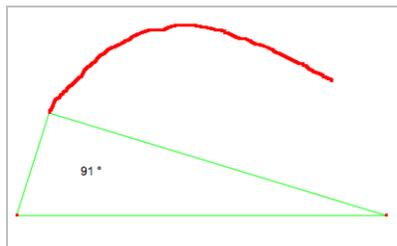


Figure 4 : Lieu mou

Les recherches d'Arzarello et al. (*op.cit.*) ont retrouvé plus tard ce procédé de lieu mou dans les déplacements utilisés par les élèves dans la recherche de problèmes ouverts. Ils ont nommé « lieu muet » ce type de trace d'un point. Il s'agit là d'un exemple de convergence entre innovations et recherches.

Innovation dans l'enseignement et recherche se sont exercées en interaction dans le projet MAGI (mentionné §2) à propos du déplacement. Comme les remontées du terrain tout autant que les recherches avaient rapidement exprimé la faiblesse de l'usage du déplacement par les apprenants de tout âge, élèves de l'enseignement secondaire ou futurs enseignants en formation initiale, le projet MAGI a cherché entre autres à distinguer et mettre en place des étapes dans l'initiation des élèves au déplacement.

Le déplacement a servi au CP et au CE1 à introduire les droites ou cercles comme des trajectoires à l'aide de l'outil « Trace » (trajectoires d'insectes). Pour des élèves de fin de CE2 et de CM, il ne modifie pas l'objet et sert à invalider une construction (de la roue d'une voiture, du mât d'un bateau). Plus tard il modifie la taille mais non la forme de la figure (Gélis in Assude et al., 2007).

Dans ce même projet MAGI, la recherche de Restrepo (2008) a analysé la genèse instrumentale des différents instruments déplacement en lien avec la conceptualisation des objets de la géométrie.

La géométrie dynamique comme outil de modélisation du comportement d'objets du monde réel est apparue dans le projet MAGI pour introduire le déplacement. Il était en fait déjà apparu plus d'une dizaine d'années plus tôt dans les usages des enseignants de sciences physiques. C'est pourquoi, a été introduit dès Cabri II en 1992, et plus tard dans Cabri 3D, un déplacement sous contraintes de segments, droites, polygones, cercles, compatible avec le déplacement de points déjà existant. On peut déplacer directement en translation un segment créé par deux points, un polygone, un cercle en le prenant par la souris. Ce type de déplacement est absent des autres environnements de géométrie dynamique. Il est très utile pour la modélisation et la hiérarchie à organiser dans la genèse instrumentale.

Le nouveau Cabri

Le nouveau Cabri est l'état le plus récent de la technologie Cabri. Il a gardé les principes fondateurs de Cabri : l'attention portée à l'utilisateur et la manipulation directe. Tout en gardant de nombreux outils de Cabri II plus, il est fruit d'une rupture avec les logiciels Cabri précédents. En effet, le nouveau Cabri est un environnement de création d'activités. Comme dit plus haut, il présente trois modes :

- un mode auteur dans lequel l'auteur crée des activités interactives pour les élèves sous forme d'un cahier de plusieurs pages (le nombre n'est pas limité) ;
- un mode enseignant dans lequel l'enseignant peut intervenir sur une activité existante : il peut changer les textes et les images, en ajouter d'autres, modifier l'activité dans un espace de liberté que lui a organisé l'auteur, en lui donnant la possibilité de paramétrer des variables didactiques et en mettant à sa disposition des outils ;
- un mode élève dans lequel l'élève réalise l'activité et reçoit des rétroactions à ses réponses.

Le nouveau Cabri a été développé avec l'objectif premier de permettre à un enseignant non versé dans le code informatique ou à un auteur de créer des activités pour les élèves dans une technologie qui ne demande qu'une programmation essentiellement visuelle et fondée sur la désignation d'objets : on montre avec la souris les objets sur lesquels doit s'exercer l'action choisie.

Il s'agit d'éviter la séparation des deux étapes, conception d'un scénario et implémentation informatique. En effet, selon l'hypothèse prise, la conception d'un scénario diffère profondément selon qu'elle s'effectue en dehors ou dans l'environnement. Lorsque la conception se fait dans l'environnement, il s'établit une interaction directe entre l'environnement et les choix de scénario. La conception peut procéder à de nombreux changements quasiment de façon continue en fonction des difficultés rencontrées ou des événements à l'écran non prévus. De plus les possibilités et les rétroactions de l'environnement peuvent fournir de nouvelles idées pour la

conception du scénario. *A contrario*, l'implémentation informatique d'un scénario prêt est faite en général par une autre personne et demande le plus souvent des modifications du scénario. Un cycle plus long que dans le cas où une seule et même personne conçoit et informatise le scénario, s'installe alors entre la conception et l'implémentation. Le cycle ne peut durer trop longtemps et le plus souvent, le choix final est de renoncer à certains aspects didactiques trop coûteux à informatiser.

L'approche prise avec le nouveau Cabri introduit deux changements majeurs :

- d'environnement ouvert d'exploration pour les élèves, le nouveau Cabri ajoute une dimension d'évaluation et de rétroaction didactique dépendant des réponses des élèves ;
- d'environnement ouvert où tout était à construire par l'enseignant, il fournit des activités modifiables par l'enseignant.

Le premier changement répond à la demande du terrain, en particulier de l'enseignement primaire, de fournir des activités déjà prêtes offrant des rétroactions aux élèves. Les enseignants d'école primaire ne sont pas des spécialistes de la discipline, comme le sont ceux de l'enseignement secondaire, et il leur est plus difficile de concevoir des activités dans un environnement informatique. Face à la grande masse de ressources prêtes accessibles sur Internet, la voie choisie par Cabri est celle de développer une technologie qui donne une place centrale au choix didactiques, en permettant de les implémenter facilement, en particulier parce que le concepteur travaille lui-même à l'implémentation des choix didactiques, comme dit plus haut

Le second changement majeur ne cherche, ni à court-circuiter l'enseignant en le remplaçant, ni à le laisser seul sans accompagnement face au potentiel immense de l'environnement.

Les constats faits sur le terrain de la relative faiblesse d'usage des nouvelles technologies par les enseignants et l'analyse du travail de l'enseignant par les recherches en didactique ont influé sur cette nouvelle orientation de la technologie Cabri. L'approche prise se situe dans une perspective vygotkienne de l'importance des interactions avec un autrui plus expert, reprise et développée par Bruner (1983) au travers du concept d'étayage.

Il est difficile pour les futurs enseignants novices dans l'usage des technologies de concevoir des tâches *ex nihilo*, ils ont besoin de situations déjà faites dans l'environnement qui leur servent de référence pour bâtir d'autres situations (Tapan, 2006). Au sens de Bruner, l'activité toute prête remplit justement la fonction de présentation de modèle. Les paramétrages possibles laissés à l'enseignant remplissent plusieurs fonctions de l'étayage :

- celle de réduction des degrés de liberté, par rapport à un environnement ouvert sans activité proposée au départ ;
- celles du maintien de l'orientation et du contrôle de la frustration, changement d'objectifs et déception étant susceptibles d'apparaître chez les concepteurs d'activités trop ambitieuses par rapport à leurs connaissances sur l'environnement. L'indication des choix de paramétrage et de leurs incidences sur la tâche à réaliser par l'élève maintient de plus l'attention de l'enseignant sur l'analyse didactique de l'activité.

Les ressources créées avec le nouveau Cabri offrent ainsi une « Zone Proximale de Développement des pratiques de l'enseignant » selon les termes de Chappet Pariès et Robert (2011).

Conclusion

Tout au long des trente années de conception et développement de Cabri, la didactique a exercé une importance croissante en lien avec d'autres facteurs. □ D'environnement ouvert interactif centré élève sans intention didactique, Cabri est devenu un environnement différencié selon ses utilisateurs, auteur, enseignant ou élève.

Les quelques exemples d'évolution de fonctionnalités montrent que l'évolution résulte d'un entrelacement des besoins du terrain, des résultats de recherche et des choix de conception des développeurs.

L'impact de la didactique s'est exercé clairement sur la conception d'outils pour créer des milieux interactifs et une interactivité contrôlée donnant lieu à feedback de nature adidactique et didactique. En retour, ces outils implémentés donnent lieu à de nouveaux usages non prévus qui alimentent les analyses et recherches didactiques.

Références

- Arzarello, F., Olivero F., Paola, D., Robutti, O. (2002) A cognitive analysis of dragging practises in Cabri environments, *ZDM: the international journal on mathematics education* 34(3):66–72 · June 2002.
- Assude, T. ; Capponi, B. ; Bertomeu, P. ; Bonnet, J.-F. (1996) De l'économie et de l'écologie du travail avec le logiciel Cabri-géomètre. *Petit x*, 44, 53-79, 1996 –1997.
- Assude T. ; Bonnet J.-F. ; Rabatel J.-P. ; Gélis J.-M. (2007) Atelier : La géométrie dynamique dans des classes de cycles 2 et 3. *Actes du XXXIIIème colloque sur la formation des maîtres. COPIRELEM*, Dourdan juin 2006.
- Assude, T. ; Grugeon, B ; Laborde, C ; Soury-Lavergne, S. (2007) Study of a teacher professional problem : how to take into account the instrumental dimension whn using Cabri-gometry ? http://www.mathunion.org/fileadmin/ICMI/files/Digital_Library/icmi-study17/ICMI17proceedingsPart2.pdf (pp.317–325)
- Baulac, Y. (1990) *Un micromonde de géométrie : Cabri-géomètre*, Thèse de l'université Joseph Fourier, Grenoble.
- Bellemain, F. (1992) *Conception, réalisation et expérimentation d'un logiciel d'aide à l'enseignement de la géométrie, Cabri-géomètre*. Thèse de l'université Joseph Fourier, Grenoble.
- Bellemain, F. & Capponi, B. (1992) Spécificité de l'organisation d'une séquence d'enseignement lors de l'utilisation de l'ordinateur, *Educational Studies in Mathematics*, February 1992, Volume 23, Issue 1, 59–97.
- Bruner, J. S. (1983) *Le développement de l'enfant: Savoir faire, savoir dire*, Paris, Puf.
- Chappet-Pariès, M.& Robert, A. (2011) Séances de formation d'enseignants de mathématiques (collège et lycée) utilisant les vidéos – exemples, *Petit x* 86, 45–77.
- Hölzl, R. (1994) *Im Zugmodus der Cabri-Geometrie*. Weinheim: Deutscher Studien-Verlag.
- Kaput, J.J. (1989). Linking representations in the symbolic systems of algebra. In S. Wagner & C. Kieran (Eds.), *Research agenda for mathematics education: Research issues in the learning*

and teaching of algebra (pp.167–194). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.

Laborde, C. & Capponi, B. (1994) Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique, *Recherches en didactique des mathématiques*, Vol. 14, n°1.2, 165–210.

Parzsyz, B. (1988) “Knowing” vs “seeing”. Problems of the plane representation of space geometry figures, *Educational Studies in Mathematics*, February 1988, Volume 19, Issue 1, 79–92.b.

Restrepo, A.-M., (2008) *Genèse instrumentale du déplacement en géométrie dynamique chez des élèves de 6eme*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble.

Tapan, M. S. (2006) *Différents types de savoirs mis en œuvre dans la formation initiale d'enseignants de mathématiques à l'intégration de technologies de géométrie dynamique*, Thèse de l'université Joseph Fourier, Grenoble.