

RAPPORT DE RECHERCHE

Usages éducatifs des technologies de l'information et de la communication : quelles nouvelles compétences des enseignants ?

Partenaires

INRP, IUFM de Grenoble, Laboratoire Leibniz , Université Joseph Fourier

Membres du projet

H.Claude Argaud	Professeur IUFM de Grenoble, équipe IAM.
Mireille Brenner	Professeur d'école : Ecole Elisée Chatin Grenoble
Bernard Capponi	Professeur de mathématiques lycée Aristide Bergès, équipe Did@TIC.
Hamid Chaachoua	Maître de Conférences à l'IUFM de Grenoble, équipe Did@TIC
Philippe Clarou	Professeur IUFM de Grenoble.
Claude Fini	Professeur IUFM de Grenoble.
Robert François	Professeur d'école : Ecole La Fontaine, Valence
Gérard Gerdil-Margueron	Professeur IUFM de Grenoble.
Benoit Giraud	Professeur d'école : Ecole F Léger, Portes les Valence
Ivan Imbert	Professeur d'école : Ecole J Moulin, Portes les Valence
Colette Laborde	Professeur des universités à l'IUFM de Grenoble, équipe IAM
Laurent Lesert	Professeur d'école : Ecole S.Condorcet, Valence
Géraldine Mastrot	Professeur d'école : Ecole Robespierre, Fontaine
Michèle Mirallès	Professeur de mathématiques : Collège de Chabeuil, Valence
Lairant Samann	Professeur de mathématiques : Collège Rabelais, Valence

Responsable : Hamid Chaachoua
Laboratoire LEIBNIZ - Institut IMAG
46, avenue Félix Viallet
38000 Grenoble – France

Tel : +33 (0)4 76 57 50 73
Fax : +33 (0)4 76 57 50 57
Mailto : Hamid.chaachoua@imag.fr

I - Problématique

La présence d'une forte volonté institutionnelle pour promouvoir l'intégration des TICE dans l'enseignement est manifeste, comme le souligne Artigue (1997) qui en donne quelques indices : emploi obligatoire des calculatrices dans l'enseignement secondaire depuis 1980, politique de licence mixte, diffusion de grande ampleur de documents ...

Il faut de plus souligner l'évolution des programmes en faveur de l'intégration des nouvelles technologies. Ainsi les nouveaux programmes de mathématiques du collège prévoient-ils l'utilisation des tableurs et des logiciels de géométrie dynamique.

Cette volonté s'exprime au niveau des programmes et par de multiples incitations, au niveau de la formation initiale en particulier.

I.1. Les TICE dans les programmes

Les programmes de mathématiques mis en place depuis 1996 pour la classe de sixième affichent une volonté explicite d'intégration des nouvelles technologies que ce soit au niveau du collège ou du lycée (programmes de Seconde qui entreront en vigueur en octobre 2000 et projets de programmes de 1^{ère} et Terminales).

Dès la classe de sixième, les documents d'accompagnement des programmes consacrent un paragraphe à la nécessité de l'usage et de la maîtrise par les élèves non seulement des calculatrices mais aussi des ordinateurs. Deux raisons sont données pour justifier le travail avec les ordinateurs. Ce sont des outils quotidiens du monde actuel et ils sont particulièrement bien adaptés aux mathématiques. Les programmes montrent cette pertinence d'usage dans l'enseignement mathématique, en indiquant de plus pour certains contenus d'enseignement le type d'usage des TICE et leur apport spécifique à l'apprentissage mathématique.

La présentation générale du programme de Seconde est tout aussi incisive, sinon plus. Non seulement les logiciels sont entrés dans la vie quotidienne de tous, affirment-ils, mais aussi ils transforment profondément l'activité mathématique.

Ce qui nous paraît aussi révélateur est l'accent mis sur la transformation de l'activité mathématique dans les classes de lycée. Il devient possible d'explorer, d'expérimenter en mathématiques comme dans les autres sciences. Mais un autre apprentissage devient alors indispensable : il importe que l'élève sache distinguer entre un résultat qui relève d'une observation empirique et un résultat établi de façon déductive au sein des mathématiques.

Si les TICE peuvent être utilisées pour une meilleure compréhension des mathématiques, parce que leur intégration transforme l'activité mathématique, voilà qu'une complexité nouvelle surgit ! Ne serait-ce pas là l'origine de résistances de la part des enseignants à leur usage, dont il est banal de dire qu'elles sont encore largement fortes, même si les nouvelles générations d'enseignants frais émoulus des IUFMs ont un rapport différent avec les TICE de celui de leurs collègues plus anciens ? Le paragraphe suivant cherche à élucider l'origine de ces résistances.

I.2. Obstacles à l'intégration des TICE

Sur le terrain, l'intégration des TICE n'est pas à la hauteur de la demande institutionnelle et l'usage des TICE rencontre une certaine résistance chez les enseignants de mathématiques. Cette résistance n'est pas due seulement à une connaissance technique de l'outil informatique que les enseignants ne possèdent pas encore, mais aussi à d'autres facteurs liés à la gestion de la classe, à la conception des situations d'enseignement

Notre démarche générale consiste à partir de certains obstacles reconnus par les recherches déjà menées pour envisager les conditions à mettre en œuvre pour permettre aux enseignants de dépasser ces obstacles.

Des obstacles présentés par Artigue (1998), nous en avons retenu les deux suivants :

- The 'educational legitimacy' of computer technologies
- The underestimation of issues linked to the computer transposition of mathematical knowledge

Le premier obstacle chez les enseignants réside dans la nécessaire justification a priori de l'apport des TICE dans l'enseignement des mathématiques. Sans expérience ni références personnelles quant à l'efficacité par rapport aux apprentissages d'activités conduites dans un environnement informatique, un enseignant hésite toujours fortement à hypothéquer un temps important sur un travail qui peut lui apparaître comme relativement marginal par rapport au programme. Il est indispensable pour lui de justifier la pertinence de ce type d'activités. Nous pensons que ce n'est pas par le discours qu'on apportera des réponses à cette demande, mais en donnant aux enseignants les moyens de se rendre compte par eux-mêmes des apports de l'usage d'un environnement informatique au niveau des objectifs dedans l'enseignement des mathématiques.

Le second obstacle est lié aux effets de la transposition informatique, concept introduit par Balacheff (1994). Les objets de savoir se trouvent modifiés non seulement sous les contraintes de la transposition didactique mais aussi sous d'autres contraintes spécifiques à l'environnement informatique. L'introduction des environnements informatiques dans le système d'enseignement peut donc modifier les rapports des sujets, élèves et enseignants, aux objets mathématiques puisque ces derniers vont vivre autrement que dans l'environnement papier-crayon. Ils peuvent ainsi offrir des possibilités pour la vie des objets d'enseignement que d'autres environnements, comme papier-crayon, ne peuvent pas offrir.

Les modifications des objets d'enseignement peuvent soulever la question de la légitimité d'inclure dans l'enseignement ces objets modifiés mais interrogent aussi sur la nature des apprentissages impliqués. Laborde (1998) apporte une réponse à cette question en prenant en compte le rôle que joue le contexte d'usage des objets mathématiques pour contribuer à donner du sens à ces objets : "[...] plus qu'à la décontextualisation des concepts construits dans leur usage, il importe de porter à l'usage même en contexte, à ce qu'il favorise comme signification de l'objet et comme potentialités de relation avec d'autres contextes" (Laborde, 1998, p. 90). Cela montre l'importance de proposer aux élèves des situations où les objets mathématiques sont mis en contexte et qui prennent en compte les spécificités de l'environnement informatique a priori différentes de l'environnement papier-crayon.

Le rapport des enseignants à un objet d'enseignement qui vit dans un environnement informatique dépend de leur rapport à l'objet "environnement informatique" lui-même : en particulier, si l'enseignant accepte ou non qu'un objet puisse vivre différemment dans l'environnement "informatique" que dans l'environnement "papier-crayon" (Chaachoua, 1997). Ainsi, le rapport de l'enseignant à l'environnement informatique va être déterminant pour la réussite de l'intégration des nouvelles technologies. Sur ce point Laborde et al. (1997) ont explicité certaines conceptions des enseignants pouvant faire obstacle à l'intégration de l'outil informatique :

Certains enseignants ne peuvent concevoir d'enseigner en utilisant l'outil informatique sans en avoir une maîtrise complète Cette maîtrise représente pour eux un investissement en temps et qu'ils ne pourront donc s'y investir que s'ils sont convaincus de l'apport de ces outils en termes d'apprentissage. Les enseignants ont souvent du mal à accepter l'idée que les élèves puissent être plus à l'aise avec un ordinateur qu'ils ne le sont eux-mêmes. Ils redoutent aussi de ne pas arriver à gérer convenablement une réelle autonomie des élèves qui réagissent individuellement face à l'écran en tenant compte des sollicitations qu'ils obtiennent du système. L'outil informatique incite à proposer aux élèves une démarche quasi expérimentale en mathématique. Or une telle approche des différentes notions peut permettre certes à un plus grand nombre de mieux

comprendre les notions étudiées mais elle nécessite du temps. Or, le manque de temps reste le souci majeur de la plus grande partie des enseignants de mathématiques.

Certains enseignants peuvent avoir des difficultés à "percevoir quel peut être leur rôle d'enseignant lors de l'exploitation d'un logiciel d'apprentissage" (ibid. p. xix).

Ce qui est attendu des enseignants n'est pas la seule utilisation des TICE, mais leur réelle intégration dans la pratique qui s'exprime par "un changement en profondeur de la conception de l'enseignement, tant dans la présentation des contenus mêmes d'enseignement que dans les formes d'activités" (Laborde, 1998, p.80).

Notre hypothèse est que l'intégration des TICE ne peut être réussie que si la formation des enseignants prend en compte les questions sous-jacentes à l'intégration des TICE, en se donnant les moyens didactiques d'étudier ces questions.

I.3. Vers la formation des enseignants

Un groupe de travail, désigné par le Ministère a élaboré un texte¹ sur les compétences dans le domaine des TICE que doit avoir tout enseignant à l'issue de la formation initiale en IUFM. Il fournit des recommandations pour la formation initiale des enseignants exprimées en termes de connaissances, compétences ou objectifs de formation². Elles concernent la maîtrise minimale des outils, l'impact des TICE sur les savoirs à enseigner, l'impact culturel des TICE, ...

Les auteurs soulignent que le rôle du professeur se trouve transformé par l'usage des TICE. Ainsi "les IUFMs ont un rôle essentiel à jouer dans cette évolution : ils ont à préparer l'ensemble des futurs enseignants à l'usage des technologies d'information et de communication et à anticiper les compétences qui seront demain nécessaires à tout enseignant pour les intégrer, dès aujourd'hui, dans les différentes composantes de la formation".

Ainsi, les TICE doivent-elles être à la fois outil et objet de formation.

La formation des enseignants à l'usage des TICE doit s'appuyer sur les résultats de travaux de recherche portant sur l'intégration des TICE. En particulier, l'utilisation des situations d'enseignement ayant fait objet d'observations et d'analyses didactiques s'avère pertinente pour la formation des enseignants.

II - Objectifs du projet

L'objectif est d'identifier les compétences nécessaires à un enseignant de mathématiques pour réaliser l'intégration des nouvelles technologies dans son enseignement. Une partie non négligeable de l'ensemble complexe de ces compétences est en lien avec les savoirs enseignés à l'aide de ces nouvelles technologies. C'est sur ce type de compétences que porte notre projet qui a donc choisi de se limiter à un contenu disciplinaire précis : les mathématiques. L'environnement informatique concerné est Cabri-géomètre.

Notre travail a consisté à repérer ces compétences et à concevoir et réaliser des ingénieries de formation des enseignants.

Nous avons cherché à expliciter ces compétences nécessaires et nous avons élaboré une ingénierie de formation, initiale et continue, mais en même temps, la mise en œuvre de ces formations, l'analyse de leur déroulement et des réactions obtenues de la part des professeurs stagiaires ou non, les observations des séances d'enseignements, doivent nous permettre de les compléter éventuellement, de mieux les expliciter et de les affiner

¹ Ce texte est sur le site <http://www.educnet.education.fr/formation/bcompetences.htm> du ministère de l'éducation.

² cf. annexe1 une synthèse de ces compétences.

III - Méthodologie générale

Pour identifier ces compétences, nous avons utilisé plusieurs dispositifs : entretien, observation de séances, conception et mise en œuvre des ingénieries de formation. De plus, nous avons travaillé avec des enseignants n'ayant pas la même histoire par rapport à l'enseignement et par rapport à l'usage des logiciels dans leur pratiques, mais aussi de niveau d'enseignement différent, enseignant secondaire ou professeur d'école. Nous explicitons les raisons de nos choix dans ce qui suit.

Enseignant : débutant / non

Nous avons travaillé avec des enseignants en formation initiale et des enseignants déjà en exercice. Nous faisons en effet l'hypothèse que les enseignants en formation initiale ont peu de connaissances sur les objets d'enseignement et les curricula alors que les enseignants en exercice depuis plusieurs années les maîtrisent bien. En revanche, on peut penser que les enseignants en formation initiale seront plus ouverts à envisager d'autres situations-problèmes à proposer aux élèves ou d'autres formes de travail dans la mesure où aucune pratique antérieure bien maîtrisée, donc synonyme de sécurité, ne peut gêner voir s'opposer à des situations nouvelles ouvrant la porte à des conduites et réponses d'élèves non connues a priori et plus difficiles à contrôler dans le feu de l'action en classe.

Enseignant du secondaire / du primaire

Nous avons pris en compte les deux publics : enseignants du secondaire (PLC) et enseignants du primaire (PE). En effet, nous pensons que leur rapport aux objets mathématiques n'est pas, a priori, le même pour les PLC que pour les PE, de par leur formation universitaire et aussi la nature des objets mêmes d'enseignement.

Utilisation des TICE : débutant / non

Cette variable nous permet de repérer les difficultés d'usage des logiciels que peuvent rencontrer les enseignants selon qu'ils sont débutants ou non en la matière.

Nous avons croisé les variables ci-dessus pour le choix des enseignants selon des dispositifs expérimentaux adaptés. Nous avons formé trois groupes travaillant sur trois axes de recherches : "Formation initiale PLC2", "Intégration de l'outil informatique dans une séquence" et "Compétences des enseignants : de leur formation à leurs activités d'enseignement". On notera ces axes respectivement par FI³, OPLC⁴ et FC⁵. Ces trois axes se sont définis comme complémentaires par rapport à l'identification des compétences.

IV - Intégration de l'outil informatique dans une séquence

Les axes de travail de ce groupe⁶ ont visé à apporter des éléments de réponses, des éclairages ou de nouveaux questionnements à deux aspects de la problématique :

- Quelles conceptions les enseignants ont-ils a priori des TICE ? de leur usage ?
- Dans leur pratique, comment les enseignants envisagent-ils et mettent-ils en œuvre l'apport des TICE dans l'apprentissage des élèves ?

Cela a permis, au travers des réticences éventuelles des enseignants sur l'utilisation des TICE, des difficultés que peuvent rencontrer les enseignants qui en utilisent, des mises en œuvre effectives, de dégager des compétences nécessaires aux enseignants pour ces mises en œuvre.

Pour y répondre, deux moyens ont été choisis : questionnaire et interview des enseignants en exercice et l'observation des séances d'utilisation du logiciel Cabri-géomètre

³ FI pour désigner formation initiale

⁴ OPLC pour désigner observation des professeurs Lycée Collège

⁵ FC pour désigner formation continue, mais bien entendu l'étude s'est portée sur l'ingénierie de formation des professeurs d'école et sur la mise en œuvre d'activités d'enseignement utilisant un environnement informatique.

⁶ Les membres de ce groupe sont Bernard Capponi et Claude Fini

IV.1. Questionnaire – interview auprès de quinze enseignants

Pour étudier les conditions d'intégrations des TICE dans l'enseignement nous avons effectué une étude de cas sur un lycée de la région de Grenoble. Nous avons entrepris une interview détaillée de la quinzaine d'enseignants de mathématiques de ce Lycée.

Pour recentrer les réponses sur les points qui nous intéressent, nous avons choisi un établissement suffisamment équipé pour qu'aucun enseignant ne puisse évoquer les conditions d'accès au matériel comme obstacle à l'utilisation des TICE avec les élèves. L'interview a été réalisée en 1999.

Sur les quinze enseignants interrogés dix ont plus de 23 ans d'ancienneté, deux ont une dizaine d'années de métier et trois sont des stagiaires IUFM.

1. Outils personnels et familiarité avec les outils logiciels

Tous les enseignants (sauf deux) possèdent un ordinateur chez eux. 12 enseignants utilisent un traitement de texte pour présenter des énoncés de devoirs, des éléments de cours etc.. mais beaucoup relèvent le temps important que cela leur prend. Ainsi, trois seulement le font régulièrement, les autres occasionnellement. Cela s'explique par le temps très long pour taper des textes mathématiques.

2. Utilisation des TICE en classe

Six enseignants sur quinze ont utilisé des TICE en classe au cours de l'année scolaire avec le logiciel Cabri-géomètre. Tous les autres professeurs à l'exception d'un seul souhaitent utiliser des ordinateurs avec les élèves en cours de maths pour diverses raisons que nous détaillerons plus loin.

Les utilisations sont toutes des utilisations en atelier, c'est-à-dire les élèves utilisant seuls ou à deux un ordinateur. Deux professeurs ont utilisé un ordinateur pour illustrer un cours en première S et terminale S.

3. Obstacles à l'utilisation des TICE

Le lycée ayant un équipement suffisant pour que l'utilisation des TICE ne soit pas un obstacle nous avons relevé les différents arguments avancés par les enseignants pour manifester les difficultés rencontrées à ce sujet. Les obstacles ainsi relevés par les enseignants sont de plusieurs nature :

- Le contrôle de la situation et du contenu
- La gestion des machines
- Le temps
- La gestion de la séance
- L'utilisation d'une salle spécialisée

4. Types d'utilisation envisagés

14 enseignants sur 15 envisagent plutôt une utilisation sous forme d'atelier, c'est à dire les élèves manipulant seuls ou par deux l'ordinateur. Seuls trois utilisateurs des TICE déclarent souhaiter aussi pouvoir projeter un écran d'ordinateur pour illustrer un cours.

5. Besoin de formation exprimés

Nous avons aussi interrogé les enseignants sur les besoins de formations qu'ils ressentent, que ces formations soient des stages du plan académique de formation, des documents, des formations internes ou par tout autre moyen.

Documents pour les élèves

La première demande (9 professeurs) est une demande de documents déjà prêts à utiliser en classe. L'idée exprimée est que cela sert de base pour les préparations à mettre en œuvre effectivement en classe quitte à modifier ces documents.

Formation interne et groupe de travail

La deuxième demande est celle d'une formation interne au Lycée ou un groupe de travail qui permettrait ensuite une mise en œuvre à deux ou à plusieurs pour l'utilisation effective des TICE en classe.

Stages de formation continue

La demande de stages n'est pas très importante (4 professeurs) avec une préférence sur des stages plus en liaison avec la classe.

En résumé, la demande de formation est une demande de formation technique sur le matériel de l'établissement et surtout une prise en charge des problèmes aussi prêt que possible de la mise en œuvre en classe. La meilleure structure apparaissant comme un groupe de travail qui permettrait la mise en commun des ressources et la construction effective de séances pour les élèves.

IV.2. Observations portant sur l'usage de l'outil informatique dans une séquence

L'objectif est d'étudier comment des enseignants envisagent et mettent en œuvre l'apport d'un logiciel dans l'apprentissage des élèves, l'une des variables étant l'ancienneté dans le métier et dans l'utilisation de l'outil informatique. Cette étude vise à cerner le plus précisément possible les compétences nécessaires à un enseignant pour intégrer de façon satisfaisante ces nouveaux outils dans son enseignement.

La méthodologie retenue a consisté à :

- Questionner l'enseignant avant sa (ou ses) séance(s) sur les objectifs généraux de la séquence, les objectifs assignés à la séance informatique et les apports espérés du logiciel, sur le scénario prévu pour la séance, sur l'articulation et exploitation prévue dans la séquence.
- Etudier la ou les éventuelles fiches de travail pour discerner les liens entre le logiciel utilisé et la tâche mathématique, examiner la répartition entre l'acquisition du contenu mathématique et la maîtrise du logiciel.
- Observer et étudier la (ou les) séance(s) d'abord globalement puis en ciblant certains aspects relatifs d'une part à la problématique, d'autre part aux travaux des autres groupes.
- Questionner l'enseignant après sa séquence pour qu'il nous fasse part de son analyse de la mise en œuvre et de l'apport réel de la séance.

Ces études ont été développées dans le cadre des travaux du groupe OPLC, et plus précisément à partir des observations portant sur l'usage du logiciel Cabri dans leur enseignement⁷.

En liaison avec la problématique et avec les travaux des autres groupes, nous avons choisi de rendre compte dans ce document uniquement de certaines facettes des observations. Elles visent à illustrer de façon plus marquée certains sujets de réflexion communs aux groupes, à éclairer différemment des hypothèses développées, à les compléter éventuellement. Pour plusieurs situations d'enseignement, elles consistent à faire une comparaison dans les pratiques des enseignants de façon à préciser les compétences relatives à l'utilisation des TICE.

Trois entrées sont proposées comme sources de réflexion :

- l'intégration de l'outil informatique dans la conception de ces situations

⁷ Etudes faites par Claude Fini.

- la prise en compte des spécificités du logiciel.
- la prise en compte des erreurs ou difficultés des élèves

1. Choix des enseignants

L'objectif est, à partir des différences constatées dans les pratiques des enseignants, de faire ressortir des facteurs explicatifs. Nous avons donc choisi d'observer trois enseignants différents selon les critères : l'ancienneté dans l'enseignement, le degré de pratique de la classe, la formation au logiciel, la fréquence de l'utilisation de l'informatique dans son enseignement. Il s'agit de :

- Véronique : enseignante débutante (PLC2 en formation) ; classe de 1^{ère} ES-L ;
- Janine : enseignante expérimentée, mais débutante dans l'utilisation de logiciels dans son enseignement ; classe de 1^{ère} S ;
- Philippe : enseignant expérimenté dans l'enseignement secondaire, dans la formation des enseignants et dans l'utilisation de logiciels de géométrie dynamique ; classe de 2^{nde} .

2. Quelques compétences nécessaires chez les enseignants.

En mettant en correspondance les différences concernant les collègues observés et les différences ou les analogies entre les situations observées, on peut souligner l'influence de plusieurs facteurs. Les trois observations ci-dessus, analysées de façon indépendante ou comparative, permettent de faire ressortir quelques compétences (paraissant intervenir non séparément mais de façon interactive), ou au moins d'élaborer quelques hypothèses explicatives. Certaines compétences sont plutôt générales et indépendantes de l'utilisation d'outils informatiques, d'autres plutôt liées à l'outil logiciel et à l'environnement informatique.

- Savoir analyser et mettre en relation les contenus à enseigner

1^{ère} constatation : La connaissance des contenus et, sur chaque notion, des points essentiels que les élèves doivent maîtriser ainsi que les obstacles éventuels permettent de mieux déterminer les points critiques sur lesquels un logiciel peut apporter un éclairage ou une aide. La connaissance des liens et articulations possibles entre divers domaines mathématiques, la réflexion sur les progressions possibles permettent de mieux voir à quel moment un logiciel peut être utile et comment. Cela détermine les moments et les degrés d'intervention du logiciel dans les apprentissages.

2^{ème} constatation : La capacité à déterminer les obstacles des élèves à un niveau donné, à les analyser et à déterminer des possibilités de les surmonter, permet de mieux cibler les activités à proposer, à en déterminer les variables et à les mettre en relation plus précisément avec certaines possibilités du logiciel.

3^{ème} constatation : La connaissance de certaines difficultés relatives à une notion peut résulter d'une analyse didactique des activités projetées. Elle est aussi le fruit de l'expérience accumulée par l'enseignant, qui lui permet de bien connaître certaines erreurs redondantes, ou la difficulté conceptuelle de telle notion. Les remédiations, envisagées ou essayées antérieurement, peuvent conduire l'enseignant à mieux rechercher la façon dont un logiciel peut apporter une aide.

- Connaître les fonctionnalités du logiciel en les reliant aux apprentissages

1^{ère} constatation : Selon qu'on vient de découvrir le logiciel (Véronique), que l'on en a une connaissance antérieure mais pas de pratique (Janine) ou que l'on en a une connaissance approfondie (Philippe), on distingue davantage ce qu'il peut apporter et en quelles circonstances.

2^{ème} constatation : Un niveau suffisant de formation au logiciel est indispensable pour bien appréhender les approches qu'il permet. Par ailleurs, la formation à d'autres logiciels donne la

possibilité de comparer les utilisations et déterminer ce qui fait la spécificité de chacun, sans se méprendre sur les aspects originaux d'un logiciel faisant parfois écran à l'apport mathématique réel.

3^{ème} constatation : Prendre en compte dans un environnement informatique le plus finement possible les erreurs et difficultés suppose une connaissance assez précise d'un logiciel. On peut par exemple citer les aspects suivants à maîtriser par l'enseignant :

- *Pratique des erreurs simples de manipulation des élèves (telles que : clics avec la souris ; déplacement d'objets avec la souris)*
- Connaissance des apports possibles ou / et spécifiques du logiciel pour construire un apprentissage (telles que : construction rapide d'objets ; nécessité de construire une figure dont une propriété mathématique visée reste invariante par déplacement ; possibilité de vérifier la vraisemblance de conjectures ou de les invalider).
- Connaissance précise des fonctionnalités des outils à utiliser ou utilisables (avec de nouvelles questions : Comment les élèves pourront-ils s'y prendre avec tel outil pour... ? Peuvent-ils penser utiliser un autre outil ?) avec les risques d'erreurs parfois difficiles à déceler (ce qui conduit à d'autres questions : Comment l'élève a-t-il construit telle figure ? Reste-t-elle valable dans tous les cas de figure ?)
- Utilisation des capacités de rétroaction du logiciel et notamment l'impact de l'auto validation quasiment immédiate.

- **Rechercher et analyser des scénarios mis en pratique**

1^{ère} constatation : Véronique bénéficiait de l'aide de son tuteur, connaissant bien le fonctionnement de Cabri. Janine bénéficiait de l'aide d'un collègue expérimenté, mais élaborait ses scénarios avec une autre collègue (avec observation réciproque). Philippe avait la pratique de l'élaboration de scénarios basée sur une réflexion approfondie (travail pour des formations à Cabri 2, avec une équipe de recherche).

2^{ème} constatation : La connaissance d'exemples d'utilisation (que ce soit par des échanges avec des collègues ou dans le cadre de formations, ou bien par des observations directes) est nécessaire pour comprendre comment un logiciel peut être utilisé dans tel apprentissage, quel est l'apport particulier de tel outil, de quelles façons les élèves réagissent dans telle situation.

3^{ème} constatation : Après la détermination d'objectifs précis pour une séance, l'une des phases de l'élaboration d'une activité est l'analyse didactique de la tâche demandée et des erreurs possibles, notamment en distinguant la non-explicitation d'une propriété par les élèves d'une erreur réelle (ce qui dépend de l'objectif que l'enseignant fixe). Il paraît fondamental que l'enseignant distingue les aspects techniques (la maîtrise du logiciel est nécessaire, mais n'est pas l'objectif essentiel ; elle peut se réaliser souvent en contexte) des aspects mathématiques qui doivent être privilégiés. Ce travail personnel de tout enseignant peut être facilité par les échanges d'expériences avec des collègues ou dans le cadre de formations.

- **Mettre en pratique un enseignement se rattachant à un modèle "appropriatif"**

1^{ère} constatation : Les choix réalisés par les trois enseignants

- soit d'apporter d'abord les notions, puis de les ancrer par des activités (type exercices avec ou sans logiciel),
- soit d'introduire d'abord les notions, puis de les éclairer par une autre démarche,
- soit de faire découvrir par les élèves mêmes certaines notions préalablement à un apport d'informations par l'enseignant

semblent illustrer trois approches différentes de l'apprentissage.

2^{ème} constatation : L'enseignant peut faire le choix de privilégier l'action de l'élève dans la construction de ses savoirs et de le placer dans des situations où il doit surmonter ses difficultés. Une fois qu'il a effectué le choix de l'outil informatique, le logiciel sera alors plutôt utilisé non pas pour reproduire avec un autre outil une situation papier – crayon familière à l'élève, mais pour lui faire découvrir ou pour le faire se confronter à des situations nouvelles. Cela amène à une recherche d'activités qui d'une part exploitent au mieux toutes les potentialités du logiciel, d'autre part favorisent le travail autonome de l'élève.

3^{ème} constatation : La prise en compte de la nécessité de faire évoluer des représentations, la considération du rôle positif à faire jouer aux erreurs, la construction d'activités à proposer aux élèves permettant qu'ils se confrontent à des obstacles sont des aspects correspondant à une approche constructiviste de l'apprentissage. Cette approche induit les rôles respectifs de l'élève et de l'enseignant, ce qui se traduit directement dans la gestion de la classe (dévolution de la tâche aux élèves ; travail individuel ou par groupe ; rôle de "médiateur" de l'enseignant ; phase de synthèse et d'institutionnalisation). Elle suppose également une différenciation nécessaire dans la conception et la mise en œuvre de la séance (pour tenir compte des différences d'acquisition ou d'acquis entre les élèves). La prise en compte, dans un environnement informatique, de la possibilité d'une plus grande autonomie des élèves et d'un plus grand nombre de contacts entre eux constitue également un levier de différenciation et de dévolution.

- **Aborder de façon positive de nouvelles activités faisant intervenir des outils ou environnements informatiques.**

1^{ère} constatation : Intégrer réellement des activités logicielles dans son enseignement demande de modifier sensiblement le déroulement "habituel" des séances et souvent de se confronter à des tâches d'organisation (par exemple : réservation de salle ; installation de logiciel, récupération de fichiers). Cela suppose une conviction assez forte de l'enseignant sur l'intérêt de l'utilisation régulière et structurée de logiciels dans son élaboration d'une séquence.

2^{ème} constatation : Cette ouverture suppose la prise en compte des apports d'un nouvel outil, mais aussi une réflexion sur sa pratique et d'éventuelles modifications de ses approches habituelles. Cela peut amener à une remise en cause partielle de sa façon d'enseigner et suppose une disponibilité pour repenser et retravailler ses cours

3^{ème} constatation : La gestion du temps (que ce soit la durée d'une séance ou la répartition des activités sur une période) est une préoccupation importante des enseignants. Choisir de laisser aux élèves le temps de se confronter à des difficultés et de les dépasser, au détriment d'une avancée plus rapide par le biais d'un enseignement plus directif, dépend de la conception de l'apprentissage de l'enseignant, des contraintes structurelles (horaires de la classe, organisation des enseignements), mais aussi de la conviction que l'enseignant a des possibilités offertes par tel logiciel.

V. Formation initiale des enseignants

Les travaux de ce groupe⁸ portent sur deux objectifs : explicitation des compétences nécessaires pour intégrer dans la pratique de classe, l'usage des outils informatiques (en particulier de logiciel de géométrie dynamique) et conception d'une ingénierie de formation des PLC2 adaptée. Cette formation vise à développer chez les PLC2 des compétences identifiées comme nécessaires pour un enseignant débutant.

⁸ Les membres de ce groupe sont Hamid Chaachoua, Philippe Clarou et Colette Laborde.

V.1. Séances d'initiation

1. Présentation de la formation proposée

Un module de 6 heures pour assurer une prise en main du logiciel. Les stagiaires travaillent généralement seul, parfois à deux. On leur demande de porter un double regard sur les exemples proposés d'activités en classe : un point de vue d'élève dans la mesure où ils vont réaliser la tâche proposée et un point de vue d'enseignant.

2. Un choix de formation

Si l'utilisation en classe est toujours sous-jacente à cette formation, elle n'est ni réellement présente ni imposée. Pour de multiples raisons, il est difficile de faire observer l'ensemble des stagiaires participant à ce module (cela représente sur les deux sites environ 60 personnes) à une séance d'utilisation de Cabri. Il nous semble que le problème n'est pas de persuader de la pertinence d'une utilisation en classe. La question est plutôt de sensibiliser plus globalement aux possibilités offertes par une géométrie dynamique et aux différentes modes de mise en œuvre possibles. La question aussi est la gestion de ces séances informatiques avec les élèves. Ce n'est pas un problème ni du côté des enseignants qui manquent de référence, qui sont tributaires de conditions matérielles peu maîtrisées, ni du côté des élèves qui ont souvent une expérience très diverse de l'utilisation de l'outil informatique, qui sont parfois peu habitués à une démarche de recherche, d'investigation en mathématiques.

3. Une évolution des réactions des professeurs stagiaires à cette formation

On constate d'année en année, **une plus grande aisance** par rapport à l'outil informatique. La mise en route, la recherche et l'ouverture d'un fichier, l'utilisation de la souris, des menus déroulants, ne posent plus de problème à la grande majorité.

Il y a de plus en plus de participants à cette formation qui dès la fin de la 1^{ère} partie, envisagent une utilisation réelle avec leurs propres élèves. Parce que d'une part, ils sont plus nombreux à être dans un établissement possédant le matériel nécessaire, qu'ils en ont une certaine disponibilité et d'autre part, parce que très vite, ils acquièrent une réelle aisance dans l'utilisation du logiciel. Cette impression est confirmée par la suite puisqu'il y a un tiers des stagiaires qui par la suite, ont choisi l'option d'approfondissement de l'utilisation de Cabri qui avait entre temps, réalisé au moins une séance avec les élèves.

Il n'en reste pas moins que, malgré cette évolution manifeste, ces enseignants débutants ont beaucoup de difficultés à anticiper les procédures des élèves. Ils ont aussi beaucoup de difficultés, comme pour un enseignement traditionnel à entrevoir comment ils vont pouvoir gérer les apprentissages dans cet environnement de géométrie dynamique. Ils ont bien sûr des difficultés à entrevoir les apports spécifiques de l'outil. Ils ont essentiellement l'intuition de l'intérêt de l'utilisation d'un tel logiciel et ils ont beaucoup de difficultés à aller au delà de cette simple intuition et à expliciter des apports précis

4. Les limites

Un enseignant débutant ayant pour la 1^{ère} fois une classe en responsabilité, a beaucoup de problèmes à résoudre tant au niveau de la conception de la séquence d'enseignement que de la gestion des contenus et de la classe lors de la mise en œuvre avec les élèves, ceci quelque soit l'environnement dans lequel il travaille.

Conscient du nouveau rôle qu'il a à jouer, un enseignant débutant se met un point d'honneur à "montrer", à "expliquer", en fait à "enseigner" suivant le modèle qu'il a construit à partir de son

expérience d'élève (et la plupart du temps de bon élève). Séduit dans un tout premier temps par les possibilités offertes par un environnement de géométrie dynamique pour l'explicitation de propriétés et pour la mise en œuvre de problèmes particulièrement pertinent, il s'en tiendra souvent à utiliser l'outil pour illustrer le cours avec un seul ordinateur dans la classe et une tablette rétroprojetable. Or il est encore assez rare de trouver un tel équipement réellement exploitable dans un établissement, la mauvaise qualité des anciennes tablettes et le prix des vidéo projecteur ayant été très dissuasif.

Une réaction complémentaire est pour l'enseignant débutant, de s'en tenir à une forme d'enseignement la plus proche possible de celle qu'il vient de vivre en temps qu'élève. Et ainsi, il peut se calquer sur le modèle d'enseignement qu'il a vécu récemment soit dans son cursus universitaire, soit dans les classes terminales de lycée.

V.2. Séances de Cabri-approfondissement

Module de 4 fois 3h orienté sur l'utilisation de l'environnement en classe de mathématique au collège et au lycée, dans le cadre des programmes en vigueur. Ce module est optionnel. Les professeurs stagiaires ont le choix entre ce module et un module de 12h sur l'enseignement des statistiques au collège et au lycée. Ce module a réuni cette année 18 stagiaires.

Objectif général : explorer quelques exemples et dégager quelques utilisations spécifiques de l'environnement pour divers apprentissages mathématiques.

1. Présentation générale du module (quatre séances de 3h)

1^{ère} séance : configurations au collège ;

2^e séance : les transformations au collège ;

3^e séance : liens entre les domaines numériques et géométriques ;

4^e séance : transformations au lycée.

Pour chacune des séances, on demande d'explorer quelques activités pouvant être proposées à des élèves, puis de les analyser d'un point de vue d'enseignant pour en dégager les objectifs, les apports spécifiques pour les apprentissages et les différents modes de mise en œuvre possible avec une classe. C'est là l'objectif essentiel de cette formation.

2. Compétences visées

2.1. Configurations au collège

Cette séance vise à rendre le professeur stagiaire capable de :

- distinguer figure en géométrie dynamique et figure dans l'environnement papier-crayon.
- s'appuyer sur les possibilités de déplacement en géométrie dynamique pour élaborer des scénarios d'apprentissage ou faire réinvestir des connaissances par leurs élèves.
- maîtriser la fonctionnalité de redéfinition et l'intégrer dans un processus d'apprentissage pour les élèves de la notion de propriété caractéristique.
- modifier une activité traditionnelle (à propos du théorème de Pythagore) pour y intégrer quelques apports spécifiques de géométrie dynamique.

2.2. Transformations au collège

Il s'agit pour le professeur stagiaire d'être capable d' :

- identifier les apports de l'environnement Cabri pour l'étude et l'utilisation des transformations au collège.

- intégrer une démarche expérimentale pour la caractérisation d'un triangle, d'un quadrilatère par ses éléments de symétrie.

Il s'agit aussi pour lui de

- Maîtriser le report d'angle dans l'environnement.

2.3. Liens entre les domaines numériques et géométriques

L'enseignant doit être capable de :

- intégrer dans son enseignement, le changement de registre (géométrique, graphique, numérique) dans un processus d'apprentissage de la notion de fonctions.
- relier la notion de lieu géométrique et la représentation graphique d'une fonction.

2.4. Transformations au lycée

Voir les compétences évoquées à propos de la 2^e séance.

On a choisi différents exemples qui montrent qu'on peut facilement développer une véritable démarche expérimentale avec les logiciels de géométrie dynamique. On a ainsi diverses situations avec lesquelles les élèves sont amenés à observer les invariants associés à une configuration illustrée d'une multitude de façons différentes.

Certains de ces exemples donnent l'occasion d'explorer très simplement des cas limites et de mettre en évidence des impossibilités.

VI - Compétences des enseignants : de leur formation à leurs activités d'enseignement

VI.1. Une triple approche

Au début de cette recherche, nous avons émis une première hypothèse générale faisant état d'une différence importante entre la conduite d'une classe lors d'activités à support informatique et la conduite d'une classe lors d'activités classiques. Il devait en résulter que les compétences dont l'enseignant doit faire preuve lors des activités intégrant les TICE ont une spécificité particulière. Nous avons alors cherché à identifier les catégories de compétences à travers les problèmes que les enseignants rencontrent et doivent résoudre lors de la préparation puis de la mise en œuvre des séances de mathématiques intégrant l'outil informatique.

Dans l'analyse que nous présentons, nous nous efforçons d'une part d'aborder les problèmes posés dans leur aspect complexe et, d'autre part, de proposer des solutions adaptées à cette complexité que les enseignants pourront mettre en œuvre.

Hypothèses

Les premières observations effectuées nous ont amenés à réajuster nos hypothèses et à les formuler ainsi :

Les compétences que nous cherchons à identifier relèvent de trois domaines -technique, didactique et pédagogique- et ne sont pas indépendantes les unes des autres.

Elles s'acquièrent et se développent à travers les grandes étapes de l'activité de l'enseignant à savoir sa formation, la préparation de ses activités d'enseignement, son enseignement effectif; elles peuvent s'identifier notamment dans sa capacité à prendre en compte et résoudre les différents problèmes qu'il rencontre.

1. Trois étapes pour le repérage des compétences

Les compétences nous ont semblé devoir se manifester à travers les principales activités de l'enseignant à savoir sa formation personnelle, la préparation de ses activités d'enseignement, et son activité d'enseignement effective. Le dispositif expérimental a donc été construit en trois étapes.

a. Une formation « initiale »

Nous avons estimé qu'une formation était nécessaire pour trois raisons :

1. les enseignants concernés estimaient fort justement qu'ils ne pouvaient assumer seuls la charge de s'appropriier le logiciel ;
2. nous voulions envisager très vite avec eux des activités permettant de mettre en évidence les possibilités et spécificités de Cabri dans l'apprentissage de la géométrie à l'école élémentaire ;
3. le temps de formation pouvait être un moment propice à l'observation des compétences à acquérir, notamment dans le domaine technique.

b. Choix et « mise au point » des activités de classe

Nous avons fait le choix de ne pas construire les situations d'apprentissage au cours des réunions de travail communes, notamment en raison du temps nécessaire et du fait que les maîtres commençaient seulement à s'appropriier le logiciel. Nous estimons que cela est davantage le travail du chercheur, non pas en raison de compétences qu'il aurait « supérieures », mais en raison de la « technicité » particulière des situations à proposer aux élèves aujourd'hui en substitution de celles souvent proposées, cette « technicité » exigeant un long travail de mise au point. Il est d'ailleurs indispensable que ces situations soient élaborées dans des équipes où sont associés les enseignants sur le terrain et les chercheurs.

Nous avons donc fait l'hypothèse suivante :

L'élaboration de situations d'apprentissage et la mise au point de leur déroulement est un moment où des compétences peuvent émerger par le discours et non en actes ; elles sont alors peu différentes de celles développées dans la phase de formation.

C'est pourquoi, dans cette étape, les premières situations prévues pour des classes ont été présentées, résolues par les maîtres avec le point de vue de l'élève, discutées et éventuellement modifiées. Leur déroulement possible a été passé en revue dans ses différentes étapes : communication du problème, recherche, conclusion.

Bien sûr, diverses difficultés ou contingences liées à l'emploi du logiciel ont pu être évoquées et solutionnées à ce moment là.

c. Conduite effective des activités

Nous avons dit plus haut que l'élaboration de situations d'apprentissage ne pouvait pas être du ressort complet de l'enseignant ; ce n'est donc pas là selon nous que se situe la compétence essentielle de l'enseignant. En revanche, la conduite effective des activités de résolution de problèmes exige de grandes qualités professionnelles, et c'est à ce niveau que les compétences nécessaires sont les plus élevées.

D'autre part, du fait de la forte interaction prévisible des élèves avec le logiciel au cours de cette étape, cette dernière nous a semblé a priori susceptible d'apporter un nombre important d'informations.

Nous avons fait l'hypothèse suivante :

Les compétences nécessaires à l'enseignant sont nombreuses et conséquentes ; elles doivent permettre d'apporter des réponses :

**aux problèmes techniques rencontrés par les élèves dans la gestion du matériel ;*

**aux problèmes d'ordre didactique liés au savoir en jeu et au milieu créé par l'environnement informatique.*

Les compétences permettant de solutionner les problèmes d'ordre pédagogique ne sont que secondaires.

2. Les observations

Des observations ont donc été réalisées dans chacune des trois étapes (formation, appropriation des situations, mise en œuvre) à propos de chacun des trois domaines (technique, didactique, pédagogique).

Ont été sollicités 8 enseignants. Sur l'ensemble (6 professeurs des écoles et 2 professeurs de collège), les deux professeurs de collège et un professeur des écoles ont déjà utilisé Cabri-géomètre pour leur usage personnel; un des professeurs de collège et le professeur des écoles ont déjà utilisé le logiciel en classe. Les cinq autres enseignants ne connaissaient pas le logiciel.

VI.3. Résultats

➤ Le rapport à l'outil

La maîtrise de l'outil informatique dépend fortement de « l'approche » qu'a l'enseignant de cet outil ; il faut que l'enseignant domine l'outil.

➤ L'aspect pédagogique

Le travail en salle informatique s'avère peu différent du travail « en salle ordinaire » à condition d'avoir le dispositif matériel nécessaire et d'être capable de fournir suffisamment d'indices aux élèves leur permettant de retrouver la coutume⁹ de la classe de mathématiques.

➤ L'aspect didactique

Selon le modèle implicite développé par le maître (modèle transmissif ou appropriatif), les compétences nous paraissent être différentes . Paradoxalement, ce n'est pas lorsque le modèle implicite d'enseignement est à caractère appropriatif que la somme de compétences est la plus élevée.

Ainsi, le maître qui utilise usuellement des situations "à vocation pour être a-didactiques" fait le pari que l'élève peut avancer tout seul dans les activités qu'il propose, puisque la responsabilité du problème incombe à l'élève seul. Il se met donc en retrait d'office dans l'activité à support informatique, comme dans les autres activités.

Pour une séance avec Cabri-géomètre, comme pour une autre séance de mathématique, il vise à ce que l'élève soit autonome et résolve seul les problèmes.

Il est fort probable que, dans le cas d'un enseignement fonctionnant essentiellement par ostension assumée ou ostension déguisée par la « pédagogie de la découverte », la dépendance de l'élève, créée dans les activités avec des supports non informatiques, se « transporte » et s'amplifie dans les activités sur support informatique du fait de la nouveauté des tâches, des problèmes techniques non compris...

⁹ au sens où la définit Nicolas Balacheff

Nous avons souligné que l'intégration d'un environnement informatique doit se faire en cohérence avec un modèle d'enseignement. Dans notre observation, le logiciel utilisé est en cohérence avec le modèle d'enseignement auquel souscrivent les maîtres.

L'autonomie de l'élève dépend de la « qualité » des milieux constitués : multitude et richesse des actions possibles (essais, erreurs...), qualité et pertinence des rétroactions fournies par ces milieux qui peuvent se substituer au maître pour fournir de l'information à l'élève.

Cela est possible pour ce qui est du domaine du savoir enseigné ; pour ce qui est du domaine ergonomique, du fonctionnement du logiciel, la donnée par le maître d'un certain nombre d'informations reste approprié, sans nuire cependant a priori au caractère a-didactique de la situation. Cela tient au caractère du logiciel.

Nous avons été confronté à plusieurs reprises à des objections fortes de formateurs qui pensent que l'on organise davantage l'apprentissage à l'utilisation d'un logiciel (Cabri) et pas celui de la géométrie. C'est aussi pour cette raison que l'on insiste pour que, sur le plan pédagogique et sur le plan didactique, l'élève puisse retrouver suffisamment d'éléments de la coutume du cours de mathématique pour que la séance lui apparaisse véritablement comme une séance de maths dans un environnement différent et non une "séance d'informatique" ...

VII - Conclusion générale

Une plus grande maîtrise de l'outil informatique chez les nouveaux enseignants

Bien qu'il soit difficile d'avoir des données facilement comparables d'une année à l'autre, il ressort de façon significative que les stagiaires PLC2 ont d'année en année, moins de difficultés pour la mise en route d'un logiciel, pour trouver un fichier, l'ouvrir ou le sauvegarder. Ils sont beaucoup plus autonomes face à la machine et les interventions du formateur sont de moins en moins d'ordre technique.

Il en résulte que c'est maintenant une large majorité qui aborde l'intégralité des scénarios de formation proposés durant le temps imparti à la formation. On peut donc présenter un plus grand nombre d'exemples d'utilisation et ces exemples vont souvent plus loin.

Une plus grande pénétration des TICE dans le milieu scolaire

De plus en plus de stagiaires se trouvent, pour leur stage en responsabilité, dans un établissement où les enseignants intègrent l'utilisation des TICE à leur enseignement.

Même si cette tendance se retrouve largement parmi les enseignants ayant quelque ancienneté, on trouve encore à l'occasion de certains stages ou de certaines animations pédagogique autour des TICE, quelques personnes qui n'ont aucune maîtrise de l'outil informatique. Et même si les techniques algorithmiques sont souvent familières aux enseignants de mathématiques, ce n'est peut être pas dans cette discipline que l'on trouve la plus grande pénétration de l'ordinateur au moins pour un usage personnel.

Les textes officiels et en particulier les programmes ont un réel impact sur l'utilisation effective de ces technologies. Il n'est pas rare d'ailleurs qu'ils soient sollicités par des collègues "anciens" à ce propos. L'utilisation dans les autres disciplines (technologie, physique chimie, SVT, histoire géographie, français, ...) n'est pas sans conséquence quant à la banalisation et la familiarisation de l'outil informatique.

Plus de professeurs mettent en œuvre effectivement quelques séances en classe intégrant les TICE

Au travers des divers contacts avec les collègues, de la lecture des instructions officielles, de la formation à l'IUFM, les stagiaires semblent mieux percevoir les possibilités et les apports de ces environnements informatiques pour les apprentissages en mathématiques et cette année, c'est une dizaine de stagiaires qui ont proposé à leurs élèves d'utiliser Cabri-géomètre avec des objectifs précis pour des apprentissages bien identifiés.

Parmi eux, quelques uns ont trouvé une aide précieuse auprès de leur conseiller pédagogique quand celui-ci est lui-même utilisateur ou auprès de personnes ressources de l'établissement.

Dans les questionnaires - entretiens, on peut noter que six enseignants sur quinze ont effectivement utilisé les TICE en classe dans l'année scolaire.

Une utilisation des TICE pour "faire des mathématiques"

De fait, si l'on se préoccupe beaucoup des TICE en mathématiques aussi bien en formation initiale à l'IUFM qu'en formation continue, ce n'est pas pour développer un outil servant à collecter ou traiter de l'information : acquisition de données, recherche documentaire ou traitement automatique de l'information. Les enseignants de mathématiques sont interpellés par les TICE comme leur permettant d'aborder les concepts mathématiques de façon quasi expérimentale. Aussi bien avec un logiciel de géométrie dynamique qu'avec un tableur, un logiciel de traitement statistique ou un logiciel de calcul formel, on peut approcher des notions mathématiques à travers une exploration réfléchie et découvrir leurs propriétés à travers une foule d'exemples renouvelables de façon pratiquement instantanée. On peut de cette façon remettre en cause certaines conceptions erronées et donner à voir de façon pratiquement concrète des éléments mathématiques correspondants.

Comme on a pu le voir dans les situations étudiées en formation initiale des PLC ou en formation continue des PE ainsi que dans les mises en œuvre en classe, des notions comme celle de figure géométrique par opposition au simple dessin, comme celle d'alignement, de transformations géométriques, de variable, de fonction, de limite ou de convergence ne s'abordent pas de la même façon lorsqu'on intègre l'usage des calculatrices ou des ordinateurs.

Cette dimension donnée à l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques est essentielle. Elle s'impose de plus en plus y compris par les programmes et les instructions officielles, mais ce n'est pas sans poser problème aux enseignants pour sa mise en pratique régulière (cf. observations ci-dessus). En effet, parce que cette intégration doit se faire en cohérence parfaite avec les apprentissages, elle nécessite une réflexion particulièrement approfondie.

Vers une utilisation plus spécifique des différents environnements

Que ce soit au niveau des exemples d'intégration étudiés en formation, des exemples de scénarios proposés, des suggestions faites dans les manuels ou des exemples d'utilisation émanant plus directement du terrain, l'utilisation des environnements tableurs ou logiciels de géométrie dynamique ne repose pas sur une simple transposition d'activités proposées traditionnellement en papier-crayon mais constitue une activité complètement spécifique. Il en est ainsi de l'utilisation de macro-constructions particulières, de boîtes noires à décrypter, de problèmes de construction devant résister au déplacement des éléments de base, d'outils spécifiques (en particulier les transformations qui sont directement disponibles comme outils de construction). Les tableurs, par exemple, rendent possibles certaines simulations à des dimensions inaccessibles à la main.

De façon générale, à travers les diverses exemples d'utilisations dont on a connaissance, les tableurs ou les logiciels de géométrie permettent effectivement le développement d'un temps réel d'approche expérimentale de différents concepts développés en mathématiques.

Problème de gestion de matériel

Un grand nombre de difficultés demeurent au niveau de la disponibilité du matériel dans les établissements. Tout d'abord, certaines options (tertiaires ou technologiques) utilisent parfois de façon exclusive le matériel disponible. La possibilité d'accès à diverses sources documentaires par Internet augmente considérablement la fréquentation de la salle informatique d'un établissement. Il peut même se trouver que la salle soit réservée pour l'utilisation d'un ou deux postes seulement.

Les établissements scolaires ne disposent généralement pas de dispositif de vidéo projecteur permettant de ne mobiliser qu'un seul poste pour l'acquisition ou l'exploitation de données expérimentales, pour l'illustration ponctuelle d'un processus, d'une propriété ou d'un énoncé de problèmes.

Lors des formations, les stagiaires ont exprimé combien les phases collectives faites à l'aide d'un vidéo projecteur leur ont paru importantes. De même, les conditions matérielles favorables ont joué un rôle essentiel dans le bon déroulement des activités à l'école primaire et dans la validation des procédures des élèves.

Pour une meilleure intégration, il est indispensable que les enseignants de mathématiques puissent disposer, dans une classe banalisée, d'un équipement permettant d'illustrer le travail au fur et à mesure ne serait-ce d'ailleurs que pour mieux assurer le lien avec le travail réalisé individuellement par les élèves en séance de TD dans une salle informatique. Il y a là un enjeu important qui, pour l'instant, semble encore négligé malgré les recommandations qui ont pu être adressées au Ministère par diverses instances.

Problème de gestion de classe

Les problèmes qui demeurent pour une utilisation plus facile et plus efficace de l'outil informatique sont relatifs essentiellement à la gestion de classe en salle informatique.

Les enseignants ayant quelque expérience de l'utilisation des TICE peuvent avoir le sentiment que ce travail dans l'environnement informatique a tendance à accentuer les différences entre les "bons" élèves et les élèves "en difficulté". Ils témoignent aussi souvent de la difficulté qu'ont les élèves pour transférer les résultats d'un travail ou les connaissances acquises avec un tableur ou un logiciel de géométrie dans le reste de ses apprentissages.

Or dans la plupart des cas, pour des raisons diverses, le travail avec l'ordinateur est très souvent déconnecté des autres séances (cf. observations réalisées par C. Fini). Lors d'une séance en salle informatique les élèves travaillent essentiellement de façon autonome. Presque toujours, une séance en salle informatique se termine sans qu'il y ait de mise en commun, une explicitation des connaissances en jeu, des résultats attendus ni de validation du travail et des méthodes. Or revenus en un cours "ordinaire", les élèves ne se retrouvent pas dans le même contexte. Tout d'abord, il n'ont pas toujours présent à l'esprit le travail réalisé en salle informatique. Il peut y avoir un laps de temps assez long qui s'est écoulé en particulier pour permettre aux deux demi-classes d'avoir effectué le même travail. Il n'y a pas dans la classe, d'ordinateur ni de système de projection indispensable pour une évocation précise de la tâche réalisée. Il semble donc absolument nécessaire de sortir de cette pratique.

Une séance intégrant les TICE permet une plus grande différenciation. L'ordinateur mettant à disposition un grand nombre d'outils et ouvrant l'éventail des résolutions possibles, chacun travaille à son rythme et fait avancer la tâche suivant sa propre initiative. Sans une mise en commun, sans une synthèse collective, un travail ne peut déboucher que sur une accentuation des différences entre les élèves en difficultés et les meilleurs. Il est facile d'observer que certains élèves, en fin de séance, parviennent tout juste à démarrer le travail alors que d'autres ne sont pas restés bloqués et ont très vite "profiter" des observations faites et des idées qui ont marché. Une mise en commun effectuée assez tôt dans la séance, permettra d'éviter de trop forts décalages et évitera à certains de perdre du temps faute d'idée de piste à explorer. Parce que l'ordinateur

permet une plus grande différenciation, il est d'autant plus indispensable de confronter les différentes procédures mises en œuvre et d'explicitier les points les plus importants devant être retenus et constituant des objectifs d'apprentissage.

- Cependant, les arguments sont nombreux pour éviter une intervention collective, pour différer les mises en commun ainsi que le temps de synthèse.
- D'abord, puisque les élèves travaillent de façon relativement autonome, les enseignants se trouvent complètement absorbés par les demandes individuelles d'aide.
- De plus, il est difficile d'obtenir l'attention des élèves, souvent derrière leurs écrans, restant occupés à continuer le travail entrepris, parfois se préoccupant d'une question ne faisant pas l'objet de l'intervention de l'enseignant. Plus concentrés sur un travail qui leur est propre, plus captivés par la tâche, plus engagés dans le problème à résoudre, ils s'interrompent difficilement.
- Si en 2nde on dispose d'une heure pour laquelle les effectifs sont dédoublés, ce n'est pas le cas en collège. Il est très difficile de gérer efficacement une classe de 4^e ou de 3^e de 24, voire 27 ou 28 élèves. Les salles aménagées n'ont pas une disposition facilitant toujours la circulation de l'enseignant ni de possibilité de visualisation collective d'un écran. Les mises en commun ne sont pratiquement pas possibles.
- N'ayant pas toujours la salle informatique à sa disposition et voulant consacrer le maximum de temps à l'utilisation des machines, l'enseignant est tenté de renvoyer les mises en commun à une séance "ordinaire".
 - Pour décider d'une intervention collective, dans le cours d'une séance, l'enseignant doit analyser très vite la situation, recueillir assez d'informations au préalable sur l'ensemble de la classe pour être efficace. Ce n'est pas toujours simple d'autant que l'outil lui-même n'est pas complètement maîtrisé (au moins au début).

Une conception de l'enseignement en accord avec la démarche développée

Il paraît indispensable que pour intégrer efficacement l'usage de l'outil informatique dans son enseignement, un professeur doive avoir la volonté de développer chez les élèves une véritable démarche scientifique et de s'appuyer sur leurs investigations et sur leurs initiatives. Il ne faut pas qu'il prétende contrôler à tout moment tout ce que fait chaque élève. Il faut que les élèves retrouvent aussi cette même volonté et ce même esprit dans les autres séances, hors de la salle informatique.

Travail d'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques encore à développer

Le travail réalisé avec les professeurs d'école a montré combien il était important de disposer de scénarios prenant pleinement en compte les nouvelles dimensions apportées par l'environnement informatique. Il reste à l'enseignant un important travail d'appropriation. La conception et la présentation des scénarios doivent le permettre.

Étant donné le manque de références de la grande majorité des enseignants sur l'utilisation des TICE, en particulier aussi parce que les enseignants n'ont pas acquis leurs connaissances avec cet usage intégré dans leur propre cursus scolaire, il est donc absolument nécessaire de mettre au point divers scénarios comportant l'intégration de ces différents éléments, de les expérimenter et de les diffuser largement auprès des collègues.

Peut-on demander à tout enseignant d'expérimenter dans sa propre classe sans avoir de possibilité de concertation importante avec les collègues de sa discipline étant donnée sa charge quotidienne de travail ni les outils d'analyse des apprentissages dans l'environnement informatique, ni d'observation des élèves ? Il y a là un travail d'aide technique, pédagogique et didactique qui doit être développé à destination de toute la communauté des enseignants de mathématiques.

Références

- ARTIGUE M. (1997) Le logiciel Derive comme révélateur de phénomènes didactiques liés à l'utilisation d'environnement informatiques pour l'apprentissage, *Educationnal Studies in Mathematics*, 33.2, 133-169
- ARTIGUE M. (1998) Teacher training as a key issue for the integration of computer technologies, In *Information and communications technologies in school mathematics*, Ed D. Tinsley and D. C. Johnson IFIP 98, Chapman and Hall. pp. 121-129.
- BALACHEFF N. (1994) Transposition informatique. Note sur un nouveau problème pour la didactique. In Artigue M., Gras R., Laborde C., Tavignot P. (eds) *Vingt ans de didactique des mathématiques en France* (pp.364-370). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- CHAACHOUA H (1997), *Fonctions du dessin dans l'enseignement de la géométrie dans l'espace. Etude d'un cas : la vie des problèmes de construction et rapports des enseignants à ces problèmes*, Thèse U.J.F. Grenoble I.
- LABORDE C. (1998) Vers un usage banalisé de Cabri-géomètre avec la TI 92 en classe de Seconde : analyse des facteurs d'intégration. In *Actes du colloque Européen Francophone, "Calculatrices Symboliques et géométriques et géométriques"*. La Grande-Motte.
- LABORDE et al. (1997) *Compilation des documents utilisés du Projet "Conception et évaluation de scénario d'enseignement avec Cabri-géomètre"*. Projet de l'équipe EIAH du Laboratoire Leibniz - U.J.F et de l'IUFM de Grenoble soutenu par la Région Rhône Alpes et l'INRP.