

Instruments, usages et paradigmes dans l'enseignement des Mathématiques : le tableau noir, l'ordinateur et l'Internet¹

Résumé

Prenant l'exemple des mathématiques, cet article s'intéresse aux processus de diffusion, de régression et de résurgence des innovations technologiques pour l'enseignement. A partir de l'idée de révolution technologique, les notions de paradigme, de schèmes d'action instrumentée et de professionnalité sont des outils pour analyser ces processus et notamment la position d'un acteur essentiel, l'enseignant. L'exemple du tableau noir sert à préciser le regard porté sur les évolutions liées à l'usage d'artefacts dans l'enseignement. Il montre comment les notions introduites contribuent à l'analyse d'un processus qui s'est déroulé sur environ un siècle.

L'article considère ensuite trois révolutions technologiques qui ont, dans les trente dernières années, proposé leurs paradigmes à l'enseignement des mathématiques. Pour l'enseignant, ces nouveaux paradigmes appellent un changement de la professionnalité et des genèses instrumentales spécifiques qui demandent du temps pour se développer.

Deux révolutions locales aux mathématiques, celle de la programmation et du calcul formel et celle de la visualisation et de l'interactivité, se sont "télescopées". Les paradigmes dont elles sont porteuses peinent à s'imposer. Certains perdent leur actualité au moment même où la recherche didactique travaille à les reconstruire notamment en prenant en compte l'enseignant. La révolution de l'Internet remet quant à elle profondément en question la professionnalité de l'enseignant. L'article propose deux modèles possibles d'évolution de la situation de l'enseignant, et des points d'entrée pour la recherche.

Mots-clés :

Instruments, usages, paradigmes, enseignement des Mathématiques, tableau noir, ordinateur, Internet, schèmes d'action instrumentée, professionnalité enseignante
ordinateur, Internet

Abstract

Taking Mathematics as an exemplar, this paper addresses the processes of dissemination, regression and resurgence in the development of technological innovations for teaching/learning. Starting from the notion of technological revolution, the concepts of paradigm, instrumented action schemes and professionalism are used to analyse these processes, and particularly the position of an key actor: the teacher. The example of the blackboard helps to specify how the paper looks to evolutions resulting from the use of artefacts for teaching/learning. It shows how the above concepts are relevant to analyse a century long process.

Then the paper considers technological revolutions that proposed their paradigms in the last thirty years. These new paradigms demand deep changes in teachers' professionalism as well as instrumental genesis particular to the associated tools. These changes and new genesis can only develop on the long run.

¹ Ce texte fait suite à une conférence plénière lors des journées de la commission inter-irem Mathématiques et Informatique (Cergy, mai 2005).

Mathematics teaching/learning was particularly affected by two overlapping revolutions: programming and symbolic computation on one side, and visualisation and interactivity on the other side. The underlying paradigms did not really permeate teaching practices. Didactical research worked to reconstruct these paradigms especially by taking the teacher into account. But, meanwhile, some of them lost their topicality. The Internet revolution deeply impinges on the teachers' professionalism. The paper offers two potential models of evolution and points out entries for research studies.

Introduction

Il y a dix ans, Baron et Bruillard (1996) décrivaient les processus de prise en compte des technologies dans l'enseignement comme s'opérant en trois temps: une phase d'invention et de recherche, une phase de diffusion, soutenue par des politiques publiques, où les usages sont le fait d'initiés ou d'innovateurs, puis une phase éventuelle d'intégration où les usages se banalisent. Ils ont aussi souligné la répétition de ces processus à intervalles réguliers et leur non achèvement, les usages d'une technologie donnée tendant à régresser avant même de s'être banalisés au moment où commence la phase de diffusion de la technologie suivante. Plus récemment Baron (2005) met l'accent sur des mouvements de diffusion lente et de résurgence.

Avec le développement de l'Internet, nous sommes aujourd'hui entrés dans une phase d'innovation et de diffusion où la pression sociale et institutionnelle sur l'école s'exerce de façon très forte en faveur de l'utilisation des réseaux tandis que des mouvements amorcés antérieurement tendent à s'effacer dans l'attente de possibles résurgences. Le moment est donc opportun pour réfléchir à ce que sont ces processus, à ce qui les sous-tend et conditionne leur éventuel succès. Cet article tente de mener cette réflexion à partir de l'exemple des Mathématiques.

L'enseignement structure le savoir en disciplines et les technologies informatiques ont des rapports complexes avec cette structuration. Certaines activités à support technologique, comme par exemple la recherche d'informations, intéressent l'activité d'apprentissage de façon moins différenciée d'une discipline à l'autre, alors que d'autres, par exemple la géométrie dynamique, n'ont guère de sens en dehors d'une discipline, ici les mathématiques. Depuis une trentaine d'années, chercheurs et innovateurs tentent de promouvoir diverses technologies informatiques dans l'enseignement de cette discipline. Observer et analyser les processus de prise en compte de ces technologies permet ainsi à un chercheur en didactique de tirer parti de phénomènes observés dans sa discipline tout en étant conscient que ces phénomènes dépassent souvent le cadre de cette discipline et c'est ce que je vais tenter ici.

Je vais tenter dans cet article d'apporter un éclairage sur les évolutions récentes, en les replaçant dans le temps long de développement d'un système d'enseignement 'moderne'. Je vais considérer, dans ce développement, le mouvement qui conduit à l'introduction d'artefacts de plus en plus complexes ainsi que des technologies (au sens de discours sur la technique) qui les accompagnent et à l'apparition d'usages qui ne sont pas toujours quantitativement et qualitativement ceux qui étaient attendus. L'hypothèse ici est qu'il est possible de décrire des mécanismes propres à ce développement susceptibles d'apporter l'éclairage souhaité. Les deux premières sections introduisent des outils théoriques pour préciser cette hypothèse. La troisième section précise ces outils en se situant dans le temps long de l'histoire des artefacts dans l'enseignement, à partir de l'exemple du tableau noir. La quatrième section considère trois révolutions technologiques ayant un impact sur l'enseignement des mathématiques. La dernière section se centre sur la plus récente, celle de l'Internet.

Les révolutions

Le terme « révolution technologique » est souvent utilisé pour parler de l'évolution des artefacts « techniques » et de leurs usages. Dans cette section je vais préciser à quelles « révolutions » cet article s'intéresse, puis je vais discuter cette notion.

Dans l'enseignement des mathématiques, trois révolutions ont caractérisé ces trente dernières années. Les ordinateurs ayant commencé à exister dans la seconde partie du 20^{ème} siècle, il y a eu deux mouvements, l'un vers l'enseignement programmé, qui a assez peu marqué cette discipline, et l'autre plus directement en lien avec les mathématiques où l'ordinateur a été vu comme un support pour la programmation et le calcul. Très vite, la programmation est apparue comme un moyen d'accès aux concepts scientifiques et le calcul symbolique s'est imposé comme une technologie qui pouvait rendre des services à la discipline *et* à son enseignement.

Parallèlement, une autre révolution s'est inscrite dans un mouvement général de réflexion sur les modes d'interaction entre l'être humain et l'ordinateur qui a conduit à l'ordinateur individuel que l'on connaît aujourd'hui. Ce mouvement a commencé dès avant les années 70, avec des chercheurs comme Sutherland, Engelbart et Kay. Sutherland concevait Sketchpad², le premier programme graphique interactif. Sketchpad ouvrait le champ à l'infographie et comportait des innovations comme le curseur, les fenêtres, le copier/coller, la reconnaissance de geste... A la fin des années 1970, ces idées conduisaient à une réalisation matérielle -l'ordinateur Lisa de Apple computers- et l'intérêt se portait sur les potentialités des modes d'interaction nouveaux pour l'activité mathématique des mathématiciens professionnels puis des élèves. Jean-Marie Laborde concevait un manipulateur (Cabri-Graph) pour des chercheurs en théorie des graphes, puis un logiciel géométrique (Cabri-Géomètre) pour les classes.

La révolution des réseaux que nous vivons aujourd'hui a ses racines dans le même mouvement. Les chercheurs pensaient l'ordinateur comme dispositif à communiquer et les idées étaient développées dans ARPANET. Licklider et Taylor (1968) écrivaient : "the use of the computer as a communication device ... promises to bring a new depth of intellectual interchange to the fine old art of face-to-face communication." Cette dernière révolution a été plus longue à arriver dans nos classes, puisqu'il a fallu presque quarante ans et le détour par les chercheurs et le grand public pour qu'elle passe des réseaux militaires aux établissements scolaires.

Nous étudierons plus loin ces trois révolutions, en montrant plus précisément les cycles et ruptures qui les ont caractérisées. En préalable, nous allons préciser et discuter l'idée de révolution. Kuhn (1962) a introduit la notion de "révolution scientifique", et c'est souvent par référence à cet auteur que l'on parle de "révolution technologique". Kuhn s'intéressait au développement des sciences, et opposait l'idée de révolution à celle d'un progrès linéaire.

« Le progrès scientifique se produit sous forme de révolutions et ne suit pas un chemin linéaire ininterrompu comme les manuels traditionnels nous conduisent à croire ». Il précisait également les conditions dans lesquelles les révolutions réussissent, soulignant qu'elles « n'éclatent pas comme résultat direct de l'émergence de nouvelles données » mais par suite de l'adoption de nouveaux modèles ou *paradigmes* dans une communauté.

Kuhn identifiait ces "paradigmes" comme des cadres « universellement reconnus qui pour un temps fournissent des modèles de problèmes et de solution à une communauté de praticiens » (ibid.). Il soulignait aussi que, pour s'imposer, les paradigmes demandent à ce que les

² http://en.wikipedia.org/wiki/Ivan_Sutherland

postulats précédents soient reconstruits, que cette reconstruction est longue et difficile et que les communautés établies résistent.

Instruments, paradigmes et professionnalité enseignante

Se référer à Kuhn permet de ne pas voir les révolutions technologiques, seulement à travers l'innovation proprement technologique (matériel, logiciel, réseaux...) mais aussi de tenter d'identifier la naissance et la vie de nouveaux paradigmes dans des institutions. Il s'agit ici d'« institutions d'enseignement » différentes des communautés scientifiques auxquelles s'intéressait Kuhn. Ces dernières sont en effet guidées par l'efficacité et, malgré les difficultés signalées par Kuhn, un nouveau paradigme peut s'imposer assez rapidement s'il fait la preuve d'une plus grande pertinence alors que les communautés "d'enseignement" semblent lentes à adopter de nouveaux paradigmes. Cette section va introduire des notions utiles pour repérer la position d'un acteur essentiel de ces communautés, l'enseignant.

Bien que l'enseignant ne soit pas le seul acteur de ces communautés, je vais dans cet article partir du postulat qu'il lui revient un rôle central dans les reconstructions qui accompagnent le développement de nouveaux paradigmes. Les rapports de l'enseignant aux paradigmes technologiques peuvent être vus de deux points de vue. Le premier voit l'enseignant comme un individu en situation de travail confronté à des artefacts propres à sa profession et donc, selon Rabardel (1995) à un processus de genèse instrumentale. Le second point de vue voit la technologie comme un des nombreux éléments intervenant dans les cadres constitutifs du métier d'enseignant que Perrenoud (1995) appelle la "professionnalité enseignante". Ainsi, les schèmes d'action instrumentée dont parle Baron (2005) sont à la fois des schèmes d'usages de technologies "concrètes" (ordinateur, logiciels, réseaux) et des candidats à s'intégrer dans une professionnalité toujours en devenir aux côtés de nombreux autres éléments.

Analyser les processus de prise en compte des technologies, c'est donc analyser la façon dont des paradigmes peuvent s'intégrer dans la professionnalité en même temps que se développent les schèmes permettant les usages des artefacts. Les processus récents sont nouveaux pour deux raisons. La première est que la professionnalité enseignante est devenue une donnée complexe sous l'influence des demandes multiples de la société sur l'éducation. La seconde est que les artefacts proposés à l'enseignement se sont eux- aussi très nettement complexifiés. Les schèmes d'action instrumentée liés à la technologie dans l'enseignement sont donc difficiles à étudier car les technologies sont récentes, toujours en évolution, et les usages encore peu nombreux.

Comment mener une réflexion sur ces données complexes et toujours en devenir ? Comment prendre le recul nécessaire ? Il m'est venu l'idée de rechercher dans l'histoire de l'éducation des occurrences de processus plus anciens où l'intégration d'un nouvel artefact a accompagné l'apparition de nouveaux paradigmes et une évolution de la professionnalité. J'ai réalisé qu'il existe dans les salles de classe un artefact transparent au point qu'il est souvent pensé comme « ayant toujours existé », le tableau noir. J'ai fait alors l'hypothèse que, comme tout artefact, le tableau noir devait avoir une histoire, qu'il n'a pu s'imposer dans les pratiques des professeurs qu'avec le développement de nouveaux paradigmes et l'intégration de schèmes d'action instrumentés dans la professionnalité enseignante.

Le tableau noir

« Dans l'ancien temps, le seul moyen de communication de l'école est le tableau noir. Le calcul, le dessin, l'orthographe, la grammaire, toutes ces matières sont enseignées sur des surfaces d'ardoise. C'est l'outil essentiel de la salle de classe. Peu à peu, on introduit des outils audiovisuels comme les lanternes magiques, les bandes filmées et les émissions de

*radio. Ces outils complètent le programme d'études et offrent une approche plus créative et vivante pour l'enseignement et l'acquisition du savoir. »*³

Ce texte illustre parmi d'autres comment, dans les représentations communes, le tableau noir est l'emblème d'une école intemporelle et opposé à d'autres artefacts, pensés comme porteurs de modernité et d'une évolution de l'enseignement. Ces représentations, fort répandues, ne résistent pas à l'analyse. Comme nous allons le voir, l'invention du tableau noir est difficile à dater, mais ce n'est que dans la seconde partie du 19^{ème} siècle qu'il est réellement devenu un « instrument » chez les enseignants. La lanterne magique et ses usages pédagogiques sont, quant à eux, décrits dès le 17^{ème} siècle. En opposition à l'idée d'école intemporelle et d'instruments « traditionnels », le choix de cet article est de considérer la genèse de l'artefact « tableau noir » dans un mouvement permanent de transformation de l'enseignement *et* d'introduction de nouveaux instruments.

Le tableau noir a une histoire, pas si longue à l'échelle de l'histoire de l'Education, et un lien particulier avec les mathématiques à travers l'enseignement de l'arithmétique à l'école. Dans les lectures que j'ai pu faire en histoire de l'Education, les instruments utilisés par les maîtres occupent généralement peu de place⁴ et donc les références utilisables sont peu nombreuses⁵. Je considère pour ma part que l'apparition d'instruments pour l'enseignement et l'évolution des idées en éducation sont liés en ce que les instruments marquent l'apparition de nouveaux paradigmes et de nouvelles pratiques. Il ne s'agit donc pas de faire ici une histoire du tableau noir, mais de montrer, à l'aide de quelques repères, comment les notions de paradigme et d'instrumentation permettent de comprendre l'intégration par les enseignants d'instruments nouveaux.

Parmi les lectures que j'ai pu faire, trois m'ont été particulièrement utiles. Galupeau et Rozinoer (2001) présentent un dossier sur l'histoire de l'école dans « Textes et documents pour la classe » (TDC). TDC offre tous les quinze jours, un dossier pluridisciplinaire en art, en littérature, en histoire et géographie, en éducation civique ou en sciences. Il s'agit donc d'une publication destinée aux enseignants pour les besoins de la classe. La synthèse que présente ce numéro s'est révélée cependant fort utile pour le chercheur non spécialiste en histoire de l'Education que je suis, notamment en ce qui concerne l'enseignement primaire. J'ai trouvé une seconde source dans « La vie de Henri Brulard », l'autobiographie déguisée de Stendhal⁶. Stendhal y relate ses années de jeunesse à Grenoble au tournant du 19^{ème} siècle avant qu'il ne s'installe à Paris pour passer le concours d'entrée à Polytechnique. Il offre un témoignage vivant sur l'enseignement dans une « Ecole Centrale » de la Révolution. Le troisième ouvrage est un ouvrage universitaire. Nicolas (2004) considère le Second Empire comme une période charnière de l'histoire de l'école et étudie un large corpus de mémoires d'instituteurs français issus du « concours Rouland », de décembre 1860 qui « constitue l'une des grandes enquêtes sociales du XIX^e siècle »⁷.

Méthode individuelle versus méthode collective

³ “L’histoire de l’éducation en Ontario : Du tableau noir à Internet ». Téléchargé de www.archives.gov.on.ca/french/exhibits/education/blackboard_to_web.htm le 3/8/2006

⁴ Les titres sont parfois trompeurs. Ainsi, "les trois couleurs du tableau noir" (JULIA, 1981) parle de tout, sauf du tableau noir.

⁵ Je remercie Hélène Péron, documentaliste à l'IUFM de Reims pour m'avoir aidé à trouver des sources.

⁶ Merci à Jean-Pierre Escoffier de l'IREM de Rennes pour avoir attiré mon attention sur cet ouvrage.

⁷ Merci à Raymond Bourdoncle pour avoir attiré mon attention sur cette référence.

Faute de données précises sur l'apparition du tableau noir dans les classes et les pratiques, et comme Galupeau et Rozinoer (ibid.) nous y invitent, prenons comme source l'iconographie. Des peintres de l'école flamande du 17^{ème} siècle ont choisi comme sujet le thème familier à l'époque de la classe d'un « régent » de village. Dans une peinture de Jan Steen⁸ on voit de quels instruments un régent dispose: une chaire et un pupitre, quelques bancs, quelques planchettes de cire⁹ ancêtres de l'ardoise, des plumes, de l'encre et du papier, ainsi que l'indispensable férule. Il n'a pas de tableau noir. En effet, sa classe est une cohorte d'enfants d'âges et de niveaux variés à laquelle il ne s'adresse jamais collectivement. Assis à sa chaire, il consacre successivement quelques minutes de son temps à chaque écolier tandis que le reste du groupe s'adonne à des activités diverses. C'est la « méthode individuelle ». Selon Galupeau et Rozinoer (ibid.) elle est très tôt dénoncée comme archaïque, mais on lui reconnaît la croissance globale de l'alphabétisation au cours du 18^{ème} siècle.

Lavoie (1997) situe cette méthode en matière d'arithmétique dans le contexte du « bas Canada » : « le recours au mode individuel, généralisé, explique une pratique qui aujourd'hui passerait pour assez peu pédagogique : les maîtres utilisaient l'énoncé des règles elles-mêmes d'arithmétique qu'ils faisaient recopier et apprendre ». Il nous dit que certes l'ordonnance de l'abbé de Montgolfier (1783) parle d'«exercices d'arithmétique» -il s'agissait de partir d'exemples sur lesquels on répétait un rituel parlé collectif,- mais que ceux-ci étaient sans doute rares car les effectifs étaient trop faibles pour cela et les pratiques « individuelles » dominaient. Lavoie note aussi que le triptyque « lire, écrire, compter » s'entend dans la chronologie des apprentissages : l'instrument d'écriture de l'époque, la plume d'oie, ne permet pas aux enfants jeunes de tracer les chiffres avec suffisamment de sûreté. Ainsi, bien peu nombreux sont les élèves qui restent assez longtemps à l'école pour aborder l'arithmétique.

150 ans plus tard, l'école de Jules Ferry devient l'image familière. Elle figure en bonne place dans nos représentations de l'école traditionnelle et est conservée dans des "musées de l'Education". Ces musées qui existent un peu partout dans le monde montrent la salle de classe comme un local souvent pas beaucoup plus riche que celui du régent, mais où le tableau noir est bien présent. Entre temps s'est imposé un enseignement où le maître peut s'adresser collectivement aux élèves car ils travaillent les mêmes apprentissages. C'est la « méthode simultanée». Il a fallu, pour que cette méthode s'impose, adopter une organisation en divisions et créer des programmes.

La méthode simultanée s'est imposée difficilement contre une autre formule, celle de l'enseignement mutuel, qui utilisait l'ardoise et les tableaux illustrés. L'ardoise est une amélioration des tablettes de cire et les tableaux illustrés présentent un contenu fixe. Ces instruments permettent au maître de déléguer l'enseignement à des élèves choisis comme « moniteurs ». Mialaret et Vial (1983) notent que l'enseignement mutuel a mis en place un apprentissage de la lecture et de l'écriture « progressif et rationnellement conduit ». Ils notent aussi que « En arithmétique, par contre, les résultats ont été relativement faibles... Les moniteurs ont à corriger, non à expliquer ». Sans doute leur manque-t-il pour cela... un tableau noir.

⁸ *The Village School*. c. 1665. Oil on canvas, 110.5 x 80.2 cm. National Gallery of Ireland, Dublin, Ireland.

<http://www.abcgallery.com/S/steen/steen.html>

⁹ Les tablettes de cire sont utilisées depuis l'antiquité pour un usage individuel. Il semble que les romains connaissaient aussi le tableau noir, ou des tablettes de cire à usage collectif, mais je n'ai pas pu en savoir davantage sur les usages qui en ont été faits.

Ceci concerne les écoles de village. Il n'est pas facile de connaître l'histoire de l'équipement des collèges de ville, ancêtres de notre enseignement secondaire. Stendhal ("La vie de Henri Brulard") atteste l'utilisation d'un tableau noir à l'école centrale de Grenoble dès 1798 pour l'enseignement des mathématiques. "C'était une ardoise de six pieds sur quatre, soutenue à cinq pieds de haut par un châssis fort solide. On y montait par trois degrés... La tête du démonstrant était bien à huit pieds de haut." Stendhal se représente dans cette position par un curieux dessin tandis que le professeur est confortablement assis en bas des degrés dans "son grand fauteuil bleu de ciel". L'élève montre au professeur ses connaissances élaborées à l'aide d'ouvrages de référence ("le plat Bezout") et par enseignement mutuel¹⁰. Notons que, comme dans la description de Stendhal, les usages dont on peut trouver trace au XIX^{ème} siècle sont ceux où l'élève est au tableau et montre son travail à la classe sous le contrôle du maître.

Il semble que cet usage du tableau à l'école centrale de Grenoble soit en avance sur ce qui se pratique généralement dans l'enseignement de ville. L'histoire de l'athénée de Luxembourg (Trausch 2003) retrace par exemple 400 ans d'un établissement ayant une tradition ancienne d'enseignement des Mathématiques, d'abord collège de Jésuites, un temps "école centrale" lors de l'occupation française, puis lycée. Le tableau noir n'y est introduit qu'en 1817. Il y a certes des cours collectifs où cet artefact pourrait avoir un usage, mais la majeure partie du temps de l'élève se passe en étude sous la direction d'un répétiteur et l'enseignement scientifique occupe peu de place dans les programmes.

A l'école primaire, le tableau noir s'impose dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle. Il est recommandé par Guizot en 1831, au moment où l'enseignement mutuel disparaît, devient obligatoire en 1851, mais en 1870 certaines écoles n'en possèdent toujours pas. L'étude historique montre que, à cette époque, le tableau noir a fait l'objet d'une véritable appropriation par les instituteurs: "Cet objet associant un panneau de bois et une couleur, faisant ressortir le blanc de la craie, est véritablement né sous la monarchie de Juillet. Ce tableau noir émerge des manuscrits de 1861 tel un compagnon inséparable de l'instituteur" (Nicolas, *ibid.* p.204). Un des instituteurs déclare: "Le maître et le tableau noir valent infiniment plus que tous les livres et les cahiers". Cette déclaration montre très clairement comment s'opère finalement, dans ce que l'on appellerait aujourd'hui « l'identité professionnelle », la rupture avec la méthode individuelle.

Le tableau noir est ainsi devenu un élément d'une " professionnalité" nouvelle, où l'enseignant fait davantage confiance à son propre savoir qu'à celui des manuels, et aux exercices collectifs qu'au recopiage individuel. L'appropriation s'accompagne d'usages multiples –démonstration, correction, mais aussi distinction, élèves méritants ou punis- les instituteurs formant le vœu de disposer de plusieurs tableaux, chacun dédié à un usage ou à une division. Ainsi naissaient ce que, aujourd'hui nous nommons pour les outils technologiques, des "schèmes d'action instrumentés" (Baron, *ibid.*) qui rendent possible l'inscription d'un artefact dans l'identité professionnelle.

¹⁰ Le terme « mutuel » n'est pas employé par Stendhal. A l'époque où se passent les faits, l'idée d'enseignement mutuel commence à être introduite en Angleterre. L'organisation de la classe de mathématiques en brigades correspond cependant à ce mode d'enseignement. Stendhal rapporte que le « chef de brigade nous crachait dessus en plaçant adroitement un doigt devant sa bouche », corroborant le constat de Mialaret et Vial sur le « défaut d'explication » auquel conduit la méthode. Les observations très riches de Stendhal nous montrent une classe bien loin des images figées de l'instruction traditionnelle, notamment avec des artefacts et modes d'organisation en avance sur leur temps. Stendhal y fait preuve d'un esprit critique tout à fait stimulant pour le lecteur didacticien.

Schémes et paradigme du tableau noir

La notion de schème d'action instrumentée s'est développée dans la recherche en éducation pour l'étude des artefacts technologiques. Mais, ceux-ci sont difficiles à observer et à caractériser, car comme je l'ai dit plus haut l'impact des technologies sur la professionnalité enseignante est une donnée complexe et évolutive et les usages sont peu nombreux. Les schèmes d'action instrumentée du tableau noir sont eux bien présents dans les pratiques et identités de millions d'enseignants. La recherche en didactique s'est intéressée récemment aux usages du tableau noir. En mathématiques (Robert et Vandebrouck 2003) et en Français (Nonnon 2000), des études montrent la variété des usages et les mettent en relation avec le travail cognitif dans la classe. Ces auteurs n'utilisent pas la notion de schème d'action instrumentée. Cependant, derrière les usages analysés, des schèmes d'action instrumentés de l'enseignant sont visibles ainsi que leur influence profonde sur les conditions dont le savoir fonctionne dans la classe

Le paradigme qui permet au tableau noir d'exister est celui de l'enseignement pour tous, avec une organisation en division et des programmes. Tout comme les schèmes associés, il est aujourd'hui "naturalisé". L'enseignant qui par exemple se voit confier souvent contre son gré une classe « multi-niveaux » fera sauf exception, tout pour recréer en parallèle le fonctionnement de plusieurs cours en « méthode simultanée ». Matériellement, il prendra bien soin de séparer « le tableau des grands » de « celui des petits » Une autre manifestation de la naturalisation de la méthode collective dans les « schèmes » des enseignants est leur résistance à des formes d'individualisation telles que les parcours et aides individualisés, travaux personnels encadrés...¹¹

Nous retiendrons qu'un artefact ne peut s'imposer comme instrument de l'enseignement que dans la mesure où (1) un paradigme sous-tendant ses usages est adopté comme « naturel » par les communautés d'enseignement (2) les enseignants intègrent des schèmes d'action de cet instrument dans leur professionnalité. Le cas du tableau noir montre que les paradigmes et schèmes liés à un artefact, même « rustique » peuvent accompagner des bouleversements fondamentaux et que ces deux conditions peuvent mettre de nombreuses décennies avant d'être remplies.

Dans la suite de cet article, je vais approfondir la question des paradigmes liés aux trois révolutions technologiques dont j'ai parlé au début de cet article.

Trois révolutions technologiques

Alors que la « révolution du tableau noir » s'est étendue sur près d'un siècle, les trois "révolutions technologiques" pointées en introduction ont voulu en moins de trente ans imposer leurs paradigmes. Ce paragraphe va préciser ces paradigmes, voir ce que chacun a de spécifique ainsi que la façon dont ils tentent d'exister dans la professionnalité enseignante.

J'ai situé une révolution avec l'apparition d'ordinateurs dans les classes à la fin des années 1970. L'intérêt s'est alors porté sur les activités de programmation au primaire et au début du secondaire et sur le calcul symbolique au lycée et à l'université. Le mouvement le plus marquant a été Logo, qui a connu de réels usages en France après le plan Informatique pour tous (1984), qui sont retombés à la fin des années 1980 dans des conditions que je vais analyser dans la suite. Il est intéressant de noter qu'il existe des pays (Brésil, Mexique) où

¹¹ Comme le disait un collègue, pourtant Maître Formateur en IUFM : « dans ma classe, le train part à la même heure pour tout le monde ».

Logo s'inscrit dans des plans de développement des technologies en classe sous l'influence d'experts internationaux (Sacristán & Ursini 2001).

Logo est le plus connu des langages créés pour manipuler des entités mathématiques, mais il y en a eu d'autres comme par exemple ISETL (Czarnocha, Dubinsky, et al, 1999) pour l'enseignement supérieur. L'hypothèse centrale –le paradigme- est que programmer ces manipulations engage l'apprenant dans une 'construction' et favorise ainsi la réflexivité et la conceptualisation. Cette hypothèse a été formalisée autour de Logo avec des notions telles que celle de micro-monde et de constructionisme (Harel et Papert 1991).

"constructionism shares constructivism's connotation of learning as "building knowledge structures" (and) then adds the idea that this happens especially effectively when learners are engaged in construction for a "public" audience".

Le calcul symbolique a aussi rencontré vite un fort intérêt. Par exemple en 1985, lors de la première étude ICMI (Cornu, B. & Ralston, A. 1992)¹², une bonne moitié des communications portait directement sur ce sujet. A l'époque, les logiciels de calcul formel fonctionnaient sur des gros systèmes et donc les usages réels étaient rares. Un premier article de recherche est paru dans la revue du National Council of Teachers in Mathematics aux USA à la fin des années 1980 (Heid 1988). Le paradigme qui le sous-tend est celui d'une opposition entre les manipulations algébriques considérées comme non significantes, et la compréhension des concepts mathématiques. Ce paradigme peut se repérer très tôt dans l'histoire de l'enseignement de l'algèbre. En effet, comme Rachlin (1989) le rappelle "Teachers (in the USA) even (in 1890) were opposed to what they saw as an overemphasis on manipulative skills and were calling for a meaningful treatment of algebra that would bring about more understanding". Le paradigme opposant "algebraic skills" et "understanding" prend une forte actualité avec le calcul symbolique puisque celui est conçu pour prendre en charge dans une certaine mesure les manipulations algébriques.

Comme nous allons le voir, ce paradigme est assez vite concurrencé par une autre révolution, celle de la visualisation et de l'interactivité. Dans un phénomène typique de résurgence, le calcul formel redevient cependant d'actualité chez les professeurs quand Rich et Stoutmeyer réalisent leur projet d'implémentation en format "calculatrice" dans les années 95 avec la Texas Instrument-92. Des expérimentations ont lieu notamment en France, pays où l'usage des calculatrices au lycée est encouragé par les instructions ministérielles. Des recherches de terrain sont impulsées par le ministère. Guin et Trouche (2003, 2005) en présentent une synthèse.

La révolution de la visualisation et de l'interactivité se situe d'emblée en rupture avec celle dont je viens de parler. En effet, alors que la programmation impose une construction des notions à travers des chemins parfois longs et détournés¹³, les nouvelles interfaces permettent un accès direct à des objets considérés comme proches des entités mathématiques. Elles favorisent aussi des approches différentes où le rôle des représentations algébriques est minoré et donc, elles diminuent l'actualité du calcul formel.

¹² L' « International Commission for Mathematics Instruction » (ICMI, ou CIEM en Français) conduit une série d'études sur des sujets concernant l'enseignement des Mathématiques. La première étude à avoir été réalisée (celle de 1985) s'intitulait "L'influence des ordinateurs et de l'informatique sur les Mathématiques et leur Enseignement". Cette étude a été une des premières tentatives pour développer une vision critique du rôle et de l'influence de l'informatique sur l'enseignement des mathématiques. L'étude a eu un impact significatif avec la publication d'un premier volume par Cambridge University Press, et, après qu'elle ait été épuisée, une nouvelle édition a été publiée par l'UNESCO.

¹³ Par exemple un cercle se construit avec Logo comme polygone régulier à n côtés (n « grand »).

Tall (1999) montre par exemple la possibilité pour l'élève d'accéder à une solution « visuelle » d'une équation différentielle par activité « sensori-motrice » grâce à un logiciel qu'il a conçu :

For instance, in introducing the notion of solving a (first-order) differential equation, I have designed software to show a small line whose gradient is defined by the equation, encouraging the learner to stick the pieces end to end to construct a visual solution through sensori-motor activity.

Cette activité doit permettre à l'élève une compréhension de la notion de solution alors que, dans l'approche algébrique, cette notion serait cachée par l'algorithme de résolution.

Même si la géométrie dynamique, qui apparaît au début des années 1980, est en quelque sorte emblématique de la visualisation et de l'interactivité, le mouvement est amorcé dès la fin des années 1970 quand des chercheurs et innovateurs tirent parti des nouvelles possibilités graphiques de l'ordinateur¹⁴ et d'interfaces d'entrée préfigurant la souris. En France à cette époque, une équipe de chercheurs et d'enseignants publient « Imagiciels » (INRP 1983), une synthèse de travaux d'innovations et de recherche permis par ces nouvelles interfaces. Hocquengeim (1998)¹⁵ situe les imagiciels dans une filiation qui mène à la géométrie dynamique.

Le paradigme est celui des « représentations manipulables » : les chercheurs prennent conscience de ce que l'ordinateur offre de nouvelles représentations¹⁶ des objets mathématiques, plus variées et permettant une activité différente. La géométrie dynamique est bien sûr un emblème de ce paradigme mais il est possible d'y situer aussi les usages proposés en mathématiques pour le tableur. En effet la notation utilisée dans le tableur pour exprimer des relations numériques et l'exécution dynamique donnent à cet outil, pour des chercheurs comme Bill, Ainley & Wilson (2006), un grand potentiel pour les débuts de l'algèbre, en préparant les élèves aux notions de variables, d'équations et de fonctions.

Aujourd'hui, c'est le paradigme roi avec beaucoup de travaux d'innovation et de recherche. Même si les usages se développent, il n'est pas certain que le paradigme lui-même passe facilement dans ces usages, car les études d'enseignants utilisateurs (Haspekian 2005, Lens 2003) montrent que le caractère "dynamique" des représentations est celui qui tend à être le moins pris en compte et à poser le plus problème dans le rapport "instrumental" entre objets informatiques et objets mathématiques. Les schèmes d'action instrumentés que l'on observe le plus facilement (Calikstan 2006) sont ceux où l'enseignant utilise la géométrie dynamique en video-projection comme auxiliaire de l'enseignement pour prolonger ou faire la synthèse d'une activité menée en papier/crayon par les élèves¹⁷. Ce type d'usage fait souvent suite à des essais par le professeur d'usages par les élèves en salle informatique, qu'il a abandonnés suite à des difficultés instrumentales.

¹⁴ Merci à Georges-Louis Baron de m'avoir rappelé ce point d'une « histoire » dont il fut un des acteurs.

¹⁵ Je souhaite dans cet article rendre hommage à Serge Hocquengeim qui fut un acteur discret, mais de premier plan des révolutions qu'évoque cet article. J'associe à cet hommage Jim Kaput, un autre acteur de premier plan lui aussi récemment disparu.

¹⁶ Représentation est à prendre ici au sens de « représentation matérielle » qui est celui de l'informatique et non de « représentation mentale » qui est celui de la psychologie cognitive.

¹⁷ Il est intéressant d'observer à ce propos le sujet commun aux académies de l'Est du Concours de Recrutement des Professeurs de Ecoles 2006 qui propose d'analyser un usage de ce type. Disponible en septembre 2006 à l'adresse http://www.education.gouv.fr/siac/siac1/sujets2006/sujet_06.htm.

Intéressons nous, à propos de ces deux premières révolutions aux phénomènes de régression et de possible résurgence. L'apparition des « représentations manipulables » a, comme nous l'avons vu, fortement diminué l'actualité de la programmation et du calcul formel. La régression du paradigme « constructionniste » est par ailleurs contemporaine d'une certaine remise en cause du constructivisme dans ses formes les plus « radicales ».

Parallèlement, dans la recherche, le paradigme « constructionniste » a évolué pour intégrer des « approches sociales » du savoir à travers la notion de « connection » et d'abstraction située (Noss et Hoyles 1996). C'est dans ce cadre que se situent les utilisations de Logo dans des pays comme le Mexique ou le Brésil, où ils apparaissent comme des alternatives à des usages trop dirigés par le maître (Sacristan et Ursini 2006). Le projet MathLab (Noss et Hoyles 2006) montre bien la pertinence du type d'usage auquel peut conduire cette évolution du paradigme : des élèves de niveau collège et de deux pays différents, travaillant ensemble par le biais d'une plate-forme définissent des suites de nombres en programmant un robot. Ils discutent de l'équivalence de définitions de la même suite et s'engagent dans une démarche de preuve.

Les recherches sur les usages du calcul formel sont quant à elles parties de l'observation de difficultés rencontrées en classe. Elles ont contribué à 'déconstruire' le paradigme qui oppose techniques et concepts en reconnaissant aux techniques leur rôle dans la conceptualisation et en montrant que c'est au prix de cette reconnaissance que l'usage du calcul formel peut se révéler pertinent (Lagrange 2001). Les usages n'ont cependant pas "décollé" ; dans un contexte où l'activité algébrique s'est trouvée minorée par l'ajout de nouveaux contenus comme les statistiques et de nouvelles approches –favorisées, comme nous l'avons vu, par le nouveau paradigme des « représentations manipulables », les professeurs, dans leur ensemble, ont retenu les difficultés plutôt que la pertinence du calcul symbolique. Il est à noter que si les recherches se sont intéressées de très près aux genèses instrumentales des élèves, elles se sont situées dans des classes d'enseignants « experts » et ont peu pris en compte les schèmes d'action instrumentés mis en œuvre et développés par ces enseignants.

Les instructions officielles pour le lycée des années 2000 prennent acte de la position réservée d'une grande majorité d'enseignants avec cette formule ambiguë qui peut très bien s'entendre comme une mise en garde contre les usages par les élèves :

L'utilisation des logiciels de calcul symbolique n'est pas prise en compte dans les programmes actuels. Cependant, grâce notamment aux calculatrices intégrant le calcul formel, l'usage de ces logiciels par les élèves se développe. Leur prise en compte par les enseignants devient nécessaire à court terme.

Il est ainsi remarquable que, au moment où la recherche réévalue les paradigmes de cette révolution technologique et leur donne leur pertinence, ceux-ci disparaissent – provisoirement ? du « paysage de l'enseignement » au profit des « représentations manipulables ». En France, par exemple, à la fin des années 1980 un mouvement vers des activités de programmation plus en prise avec le curriculum était amorcé, comme par exemple à travers l'utilisation du logiciel Euclide (Artigue 1991). Au début des années 1990, l'intérêt s'est porté très vite sur la géométrie dynamique: les collèges qui avaient intégré Logo à la suite du plan Informatique pour tous ont alors "basculé" les usages vers Cabri-Géomètre.

Notons cependant (Calikstan, *ibid.*) que si le paradigme des « représentations manipulables » peut se lire dans les activités avec la géométrie dynamique proposées dans les documents d'accompagnement consultés surtout par les formateurs, les programmes mettent plutôt l'accent sur la possibilité d'utiliser ces logiciels comme une alternative « moderne » au papier/crayon. Comme le montre Lens (*ibid.*), les professeurs eux-mêmes semblent peu sensibles aux potentialités « dynamiques » des logiciels. Quand ils le sont, l'actualisation se

heurte à une sous-estimation des « besoins en instrumentation » des élèves, c'est-à-dire que les professeurs pensent que les élèves comprendront facilement les fonctionnalités qui sont à la base de ces potentialités et les intégrerons facilement à une réflexion mathématique.

Parallèlement, la recherche a entamé un travail sur le paradigme des « représentations manipulables » orienté notamment vers la création de logiciels et de situations permettant à ce paradigme d'exister dans les classes. Ainsi, Soury-Larvergne (2006) propose des situations qui donnent du sens à la modification interactive de figures en géométrie dynamique (« déplacement »), et le projet ReMath¹⁸ se donne comme but de développer un cadre théorique et pratique pour exploiter de façon réfléchie le potentiel des nouvelles représentations permises par l'ordinateur. La question reste cependant entière du développement chez les enseignants de mathématiques de schèmes d'action instrumentée correspondant à ces usages.

Aujourd'hui, les réseaux supportés par l'Internet se proposent massivement pour l'enseignement. Autour de l'année 2000, les premières expériences adoptent l'appellation rassurante de « Cartable électronique ». Puis les usages de bases de problèmes ou de ressources en ligne se développent. En France, dans l'enseignement des Mathématiques, le développement d'un mouvement coopératif comme « Math en Poche¹⁹ », mais aussi de sites académiques officiels comme Euler²⁰ proposant des "pages interactives", est un des phénomènes les plus remarquables de ces dernières années.

Comme avec les révolutions précédentes, une régression des usages sous-tendus par des paradigmes « anciens » se produit : les usages liés aux réseaux prennent aujourd'hui largement le pas en exploitant très peu la richesse des représentations permises par l'ordinateur et le potentiel de conceptualisation des activités autour de la programmation et du calcul. Ainsi, les nouveaux usages autour de l'Internet "écrasent" les usages naissants issus des révolutions précédentes en réduisant l'actualité des paradigmes qui les sous-tendent. Par exemple, un site comme Euler utilise un noyau de calcul formel dans ses "pages interactives" seulement pour vérifier les réponses. Il s'agit ainsi de renforcer les routines "papier/crayon", et non d'initier les élèves aux techniques nouvelles qui leur permettraient de s'approprier le calcul formel pour leurs apprentissages.

La connectivité et les réseaux. Quels changements ? Quel(s) paradigme(s) ?

La révolution de l'Internet se présente différemment des révolutions « informatiques » qui l'ont précédées. En effet, alors que ces dernières intervenaient principalement sur la relation élève-savoir, elle intéresse le triangle didactique dans son ensemble -savoir, enseignant, élève- avec l'ambition de transformer les positions des acteurs. Tout comme « la révolution du tableau noir » et bien plus que les révolutions précédentes, elle implique profondément l'organisation et les structures de l'enseignement aussi bien que l'identité professionnelle de l'enseignant.

Partons de l'analyse de Linard (2002) : « La révolution des TIC crée une situation sans précédent dans l'histoire des dispositifs et de l'instrumentation de l'action humaine. Elles font de l'autonomie des acteurs et de la collaboration une condition de l'efficacité technique et du

¹⁸ European Commission, FP6, IST-4, Representing Mathematics with Digital Media, 026751. Voir remath.cti.gr

¹⁹ <http://mathenpoche.sesamath.net/>

²⁰ http://euler.ac-versailles.fr/baseeuler/recherche_fiche.jsp

souci éthique des conséquences de cette efficacité une condition de leur survie. Sans aucun doute, l'éducation et la formation entrent dans une période riche en bouleversements. Elles auront besoin pour y faire face d'acteurs de grande qualité, ceux-là mêmes qu'elles sont censées former. »

L'autonomie et la collaboration permises par les réseaux constituent une rupture avec le paradigme de la « méthode simultanée », associée au tableau noir. En effet, l'organisation en divisions suivant les mêmes apprentissages n'est pas compatible avec l'autonomie des apprenants puisqu'elle ne permet pas le choix d'un parcours et d'institutions de formation. De plus, avec les multiples voies d'accès au savoir qu'offrent les réseaux, il n'est plus possible de conserver un modèle du professeur « qui sait » et utilise ce savoir pour organiser les apprentissages selon ses propres choix.

Il est certes concevable que les changements dont parle Linard intéressent d'abord les secteurs de l'éducation et de la formation les plus éloignés de la « salle de classe » et que l'école au sens restreint soit « à l'abri » pour un certain temps. Cuban (1998) croit fermement à la pérennité de la « salle de classe » et de sa capacité à résister ; parmi trois scénarios qu'il pense possibles, le plus favorable aux technologies est celui où « les écoles (deviennent) de petites communautés d'apprentissage où élèves et adultes s'enseignent réciproquement des choses à travers une application lente et délibérée des technologies à l'éducation. » Ainsi les relations entre acteurs pourraient changer, mais la classe demeurerait.

Nous sommes cependant à une époque où les changements diffusent vite, sous la pression de la recherche d'efficacité par mise en concurrence des acteurs. Ainsi le Times of India du 23 mai 2005, voit la « sous-traitance » (outsourcing) de services éducatifs comme un marché en expansion : « Indian teachers tutor American school children at a far less cost than their US counterparts. ...A New Delhi based firm, which also serves students in the Middle East, tutors about 1,500 American students in math alone... a firm estimates that Indian tutors are now working with some 20,000 American students ». Pour le journal, c'est un phénomène comparable aux délocalisations dans l'industrie, notamment parce que les sociétés de tutorat indiennes pourraient obtenir des fonds des instances fédérales des Etats Unis au titre du « No Child Left Behind ».

Souhard (2006) voit quant à lui ce développement de services éducatifs en ligne comme une expansion d'un phénomène déjà existant, celui de la pluralité des « institutions d'enseignement » dans lesquelles l'élève apprend. Il prend « institution » au sens de groupement social ayant sa légitimité propre (Chevallard 1992, Douglas 1999). Pour lui, l'efficacité de l'école suppose déjà au minimum deux institutions, celle de la classe sous la responsabilité du professeur, et celle du travail personnel où la responsabilité est partagée avec l'élève et la famille. Les services éducatifs en ligne parmi lesquels il étudie particulièrement les logiciels tutoriels fermés d'enseignement des mathématiques en ligne (SMAO, TDMaths, mais aussi Math en Poche) sont pour lui de nouveaux candidats à prendre place parmi la pluralité des institutions dans lesquelles l'élève apprend. Qu'il soit utilisé en classe, recommandé par le professeur pour un usage hors classe ou exploité par l'élève de sa propre initiative, un logiciel tutoriel fermé offre en effet un environnement d'apprentissage qui a sa légitimité propre : choix d'une progression, de notations, de modes d'apprentissage et d'évaluation... Il peut être complémentaire ou en concurrence avec l'environnement de la classe où le professeur est « maître à bord ».

La réflexion encore embryonnaire sur la pluralité des institutions où l'élève peut apprendre situe bien les enjeux pour l'enseignant de la révolution de l'Internet. Au delà des logiciels tutoriels, l'élève aura de plus en plus accès à une multiplicité d'environnements d'apprentissage ayant leur légitimité propre : forums d'aide aux devoirs, compétitions

mathématiques, encyclopédies coopératives sont quelques exemples. Un professeur peu motivé et peu formé est directement menacé dans son emploi à la fois par les cours en ligne de multinationales et le tutorat à distance de professeurs « délocalisés », sous-payés, mais qualifiés et motivés. Dans un modèle libéral, il ne lui reste qu'à tenter tant bien que mal d'enseigner aux élèves qui, faute de moyens ou de bagage culturel n'intéressent pas les nouvelles institutions. A l'inverse, il est possible d'imaginer un modèle professoral où l'enseignant fait fonctionner la pluralité des institutions : « directeur des études » de ses élèves, il les oriente vers les institutions qu'il juge les plus adaptées, il prend en compte les apprentissages réalisés qui y sont réalisés et en fait la synthèse.

Une dualité de modèles se propose ainsi et fait penser à l'alternative à laquelle sont confrontées d'autres professions comme par exemple la médecine générale : d'une part une fonction de traitement des maux qui n'intéressent pas les institutions spécialisées et d'accompagnement social et d'autre part un rôle d'interlocuteur privilégié du patient l'aidant à s'orienter vers les institutions les plus adéquates.

Synthèse et points d'entrée pour la recherche

A partir de l'exemple des Mathématiques, cet article s'est efforcé de réfléchir aux processus à l'œuvre dans l'éducation avec le développement des technologies liées à l'ordinateur et aux réseaux. Décrire ces processus comme des « révolutions » permet de mettre l'accent sur les paradigmes qui accompagnent ce développement. Pour l'enseignant, ces nouveaux paradigmes appellent un changement de la professionnalité et des genèses instrumentales spécifiques aux nouveaux outils qui lui sont proposés. L'exemple du tableau noir a montré que cet outil « simple » peut être vu comme associé à un paradigme fondamental, celui de la « méthode simultanée », à une professionnalité nouvelle et à des schèmes d'action instrumentés spécifiques. L'ensemble a mis près d'un siècle à s'imposer.

La révolution de la programmation et du calcul formel et celle de la visualisation et de l'interactivité, peuvent être vues comme locales aux mathématiques. Les paradigmes sous-jacents sont porteurs de potentialités pour l'enseignement, mais leur intégration dans la professionnalité de l'enseignant paraît problématique. Les révolutions se télescopent et un paradigme perd son actualité au moment même où la recherche didactique, après l'avoir 'déconstruit', travaille à le reconstruire, notamment en prenant en compte les genèses instrumentales des enseignants.

La révolution de l'Internet est plus globale et pourrait conduire les enseignants à rejoindre d'autres professions dans une confrontation à une dualité de modèles : le modèle du « bouche-trou » où l'enseignant fait « ce que les autres institutions ne trouvent pas intéressant » et celui du « directeur d'études » où sa compétence lui permet de gérer la complémentarité d'institutions diverses et spécialisées. La révolution de l'Internet remet ainsi en question la professionnalité de l'enseignant, comme celle du tableau noir l'a fait en son temps. Dans le modèle du « directeur d'études » le professeur devra disposer de compétences étendues ce qui rejoint l'idée de Linhart (ibid.) sur la nécessité d'acteurs de grande qualité.

Il n'est pas aisé pour la recherche en didactique de trouver des points d'entrée en vue d'étudier les changements en cours dans la professionnalité enseignante. Comme pour les autres révolutions, les usages et les genèses sont difficiles à observer. Une première problématique est celle de la gestion de la complémentarité des institutions par l'enseignant. Etudier les usages de l'Internet par les élèves dans leur travail personnel et la prise en compte de ces usages par le professeur peut être une entrée dans cette problématique. L'analyse des usages des environnements tutoriels et bases d'exercices par le professeur et des schèmes associés en est une autre (Gueudet 2006, Vandebrouk, Cazes 2005). L'étude de l'évolution de ces usages chez des enseignants permettrait de situer des genèses possibles.

Une problématique complémentaire est celle des référentiels de compétence : en effet, si l'enseignant n'est plus celui « qui enseigne tout », si l'élève peut apprendre « par lui-même », alors la démarche adéquate est celle où l'enseignant est en situation de « valider des compétences » qu'il n'a pas nécessairement directement « enseignées ». Un terrain d'étude propice est donc celui des TICE où l'institution privilégie précisément cette démarche autour de référentiels B2i et C2i²¹ (Laisne 2004, Lagrange et al. 2006). Il faut se saisir de ces points d'entrée. Le travail réalisé sur les précédents paradigmes montre en effet que la recherche coure inévitablement loin derrière les révolutions, mais aussi qu'il n'est pas inutile qu'elle continue à courir !

Bibliographie

- Ainley, J., Bills, L., Wilson, K. (2005), Designing spreadsheet-based tasks for purposeful algebra. *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 10: 191–215
- Artigue, M. (1991). Analyse de processus en environnement informatique *Petit x*. Num. 26. p. 5-27
- Baron G.L. (2005) Les TICE, de l'innovation à la scolarisation : problèmes et perspectives. *Actes du colloque national "Accompagner les TICE à l'école"*. AFT-RN. <http://aft-rn.net/>
- Baron G.L., Bruillard E. (1996) *L'informatique et ses usagers dans l'éducation*, Puf, Paris
- Calikstan N. (2006) Usages de la géométrie dynamique par des enseignants de collège. Des potentialités à la mise en œuvre : quelles motivations, quelles pratiques ? *Thèse de doctorat*, Université Paris VII
- Chevallard, Y. (1992) — *Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique*, Recherches en didactique des mathématiques, Vol. 12, n°1, 73-121.
- Cornu, B., Ralston, A. (eds). 1992. *The Influence of Computers and Informatics on Mathematics and its Teaching*. 2nd edition, UNESCO (Science and Technology Education No. 44).
- Cuban, L. (1998).- Salle de classe contre ordinateur : vainqueur la salle de classe. – *Recherche et formation : Les nouvelles technologies : permanence ou changement ?*; n° 26. - pp. 11-29.
- Czarnocha, B., Dubinsky, E., Prabhu, V., Vidakovic, D., (1999). One theoretical perspective in undergraduate mathematics education research. In O. Zaslavsky (Ed.), *Proceedings of the 23rd PME International Conference*, 1, 95-110
- Douglas, M. (1999) *Comment pensent les institutions*, La Découverte, Mauss, Paris, Traduction française.
- Galupeau, Y., Rozinoer, C. (2001) L'espace de la classe. In *Textes et Documents pour la Classe* n°808. CNDP / INRP / musée national de l'éducation
- Gueudet G. (2006) Conséquences sur les activités des élèves et les apprentissages de l'utilisation d'une base d'exercices en ligne : étude d'un exemple. *A paraître dans les actes du colloque EMF 2006, Université de Sherbrooke*.
- Guin D., Trouche L. (eds.) 2003 *Intégrer les calculatrices symboliques : un problème didactique*. La Pensée Sauvage, Grenoble

²¹ Brevet informatique et Internet à l'école, au collège et au lycée, Certificat informatique et Internet à l'université et dans les formations professionnelles.

- Guin D., Trouche L. (eds.), (2005) *The integration of symbolic calculators*. Kluwer
- Haspekian, M. (2005), An “instrumental approach” to study the integration of a computer tool into mathematics teaching: the case of spreadsheets. *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 10: 109–141
- Heid, M.K. (1988), Resequencing skills and concepts in applied calculus. *Journal for Research in Mathematics Education*. 19.1 pp 3-25
- Hocquenghem S. (1998) Evolution de la notion de figure géométrique depuis les Imagiciels jusqu'à GéoplanW. In *Des outils informatiques dans la classe aux calculatrices symboliques et géométriques : quelles perspectives pour l'enseignement des mathématiques*. Actes de l'Université d'été. 26 Août au 31 Août 1996. IREM Rennes, p. 77-95
- INRP (1983) *Imagiciels. Enseignement des mathématiques illustré par ordinateur*. Rencontres Pédagogiques. INRP
- Julia, D. (1981) *Les trois couleurs du tableau noir*. La Révolution. Paris : Belin.
- Kuhn T. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions* (1962) publ. University of Chicago Press
- Lagrange, J.B., Lecas, J.F., Parzysz, B. (2006) Les professeurs stagiaires d'IUFM et les technologies. Quelle instrumentation? *Recherche et Formation*
- Lagrange, J.-B. (2001) L'intégration des instruments informatiques dans l'enseignement. Une approche par les techniques. *Educational Studies in Mathematics*. 43(1), 1-30
- Laisne, M. (2004), Le B2I en collège. *STICEF*, Volume 11, 2004, <http://sticef.org>
- Lavoie, P. (1997) L'arithmétique dans les petites écoles du Bas-Canada au début du XIXe siècle. In *L'apprentissage et l'enseignement des sciences et des mathématiques dans une perspective constructiviste*, Volume XXV No 1, printemps-été 1997
- Lens, B. (2003) Actual meanings, possible uses: secondary mathematics teachers and Cabri-géomètre. *On line proceedings CERME 4*. http://ermeweb.free.fr/CERME3/Groups/TG9/TG9_list.html
- Licklider, J., Taylor, R. (1968) The Computer as a Communication Device. Science and Technology. Réédité in *In Memoriam : J.C.R. Licklider 1915-1990, Digital Systems Research Center , Palo Alto, Californie*, 1990, cité par Patrice FLICHY, La place de l'imaginaire dans l'action technique : le cas d'internet. *Réseaux* 2002, n°109
- Linard, M. (2002) Conceptions de dispositifs et changement de paradigme de formation. *Education Permanente*, n° 152,
- Mialaret, G., Vial, J. (1983) *Histoire mondiale de l'éducation des origines à nos jours*. T. 3 : de 1815 à 1945
- Nicolas, G. (2004) *Le grand débat de l'école au XIXe siècle. Les instituteurs du Second Empire*. Belin, Paris
- Nonnon, E., 2000, Le tableau noir de l'enseignant, entre écrit et oral. *Repères* n°22, INRP
- Noss R. & Hoyles, C. (2006), Exploring Mathematics through Construction and Collaboration. In K.R. Sawyer (Ed) *Cambridge handbook of the Learning Sciences*. Cambridge: CUP
- Noss, R. & Hoyles, C., (1996). *Windows on mathematical meanings*. Kluwer

- Papert, S., and Harel, I. (1991) Situating Constructionism. In Harel & Papert (eds.) *Constructionism*. Norwood, NJ: Ablex
- Perrenoud P. (1995), *La formation des enseignants entre théorie et pratique*. L'Harmattan, Paris.
- Rabardel P. (1995), *Les hommes et les technologies - Approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin, Paris
- Rachlin, S. (1989). The research agenda in algebra: a curriculum development perspective. In Kieran and Wagner (eds) *Research Issues in the Learning and Teaching of Algebra*, NCTM-LEA
- Robert, A., Vandebrouck, F., (2003). Utilisations du tableau par des professeurs de mathématiques en classe de seconde. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, Vol. 23
- Sacristan & Ursini, (2006). On the Role and Aim of Digital Technologies for Mathematical Learning: Experiences and Reflections Derived from the Implementation of Computational Technologies in Mexican Mathematics Classrooms. In Hoyles, Lagrange, Le Hung Son and Sinclair (eds.) *Proceedings of the Seventeenth ICMI Study Conference "Technology Revisited"*, Hanoi Institute of Technology
- Sacristán, A.I. & Ursini, S. (2001) Incorporating New Technologies to the Mexican School Culture: The EMAT Project and its Logo Extension. In Futschek (ed.) *Eurologo 2001: A Turtle Odyssey (Proceedings 8th European Logo Conference, Linz, Austria, 2001)*. Vienna: Österreichische Computer Gesellschaft.
- Souchard (2006) Les Logiciels Tuteurs Fermés : des institutions complémentaires pour l'apprentissage. *A paraître dans les actes du colloque EMF 2006, Université de Sherbrooke*.
- Soury-Larvergne, S. (2006) Instrumentation du déplacement dans l'initiation au raisonnement déductif avec Cabri-géomètre. *A paraître dans les actes du colloque EMF 2006, Université de Sherbrooke*.
- Tall, D. (1999) Reflections on APOS theory in Elementary and Advanced Mathematical Thinking. In O. Zaslavsky (Ed.), *Proceedings of the 23rd PME International Conference*, 1, 111–118
- Vandebrouck F., Cazes C. (2005) Analyse de fichiers de traces d'étudiants : aspects didactiques, STICEF, Volume 12, 2005, <http://sticef.org>