



La formation technologique des enseignants : un défi majeur

Michèle Artigue
 LDAR, Université Denis Diderot – Paris 7
 France
michele.artigue@univ-paris-diderot.fr

Résumé

Ce texte concerne la question de la formation, tant initiale que continue, des enseignants de mathématiques aux technologies numériques. Après avoir introduit le problème, j'interroge la seconde étude ICMI consacrée aux technologies numériques qui en avait fait un de ses axes prioritaires, pointant les évolutions et acquis qu'elle met en évidence mais aussi les problèmes ouverts et difficultés résistantes. En m'appuyant ensuite sur différents travaux tant théoriques qu'expérimentaux, menés au sein de mon laboratoire, je m'interroge sur ce que nous connaissons des pratiques des enseignants médiées par les technologies numériques, une connaissance indispensable pour penser la formation. Dans une troisième et dernière partie, je présente le projet EdUmatics mené de 2010 à 2012 dont l'objectif était le développement collaboratif, au niveau européen, de ressources de formation pour favoriser cette intégration.

Palabras clave: éducation, mathématiques, formation des enseignants, technologies numériques, approche instrumentale, genèses d'usage

1. Introduction

Chaque jour davantage, les technologies numériques influencent les pratiques privées et professionnelles d'un nombre croissant d'habitants de cette planète, et ceci d'un nombre exponentiellement croissant de manières. L'Ecole ne saurait échapper à cette évolution, et de fait elle n'y échappe pas. L'évolution technologique modifie les attentes de la société à son égard comme elle modifie les moyens dont l'Ecole dispose pour remplir sa mission éducative, les conditions et contraintes de son action. Elle modifie aussi les caractéristiques de ses différents acteurs, leurs interactions ainsi que les relations entre l'Ecole et le monde extérieur.

S'agissant d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques, la situation peut en un sens paraître paradoxale. Informatique et mathématiques ont entretenu des liens privilégiés dès l'émergence de cette nouvelle discipline. Très tôt, s'est posée la question de savoir en quoi le développement de l'informatique allait, devrait influencer sur l'organisation curriculaire en mathématiques. Très tôt aussi, on a voulu voir dans les technologies nouvelles un levier privilégié pour rénover l'enseignement des mathématiques, à la fois dans son contenu et sa forme, et le rendre à la fois plus motivant, plus accessible et plus efficace. Ce n'est pas un hasard si la première étude lancée par l'ICMI en 1985 était consacrée à l'influence des ordinateurs et de l'informatique sur les mathématiques et leur enseignement (Churchhouse 1986). Dans cette étude, de grands espoirs étaient formulés, des espoirs que les résultats des expérimentations et innovations déjà menées rendaient a priori légitimes. Pourtant, lorsque 20 ans plus tard l'ICMI a lancé sa deuxième étude dans ce domaine, les attentes exprimées dans la première étaient loin de s'être réalisées. Dans le même temps, le paysage technologique avait profondément changé, comme souligné dans l'introduction de cette étude :

Since the first ICMI Study in 1992, there have been major developments in digital technologies in terms of hardware: computers of all types, calculator and handheld technologies, digital technologies widely used in society at large such as mobile phones and digital cameras, and of course the massive influence of the World Wide Web. Aligned to these hardware changes, new software have been developed with potential impact on all phases of education, and on informal contexts of education. By the time of ICMI Study 17, digital technologies were becoming ever more ubiquitous and their influence touching most, if not all, education systems. In many countries, it is hard to conceive of a world without high-speed interactivity and connectivity. (Hoyles and Lagrange 2010, p. 2)

Ce paysage a continué à changer depuis que cette seconde étude a été conduite, et ce à une vitesse qui semble même s'accélérer, donnant l'impression que, malgré les efforts consentis et les avancées indéniables observées, le décalage entre l'École et la Société, s'agissant de technologies numériques, ne peut que croître. De nombreux paramètres contribuent sans aucun doute aux difficultés rencontrées à mettre efficacement les technologies numériques au service de l'enseignement et de l'apprentissage des mathématiques. Une intégration réussie de ces technologies dans l'enseignement des mathématiques suppose bien sûr une volonté politique claire qui permette l'engagement dans la durée de la multiplicité d'acteurs nécessairement impliqués, des équipements adéquats et régulièrement renouvelés et des moyens de maintenance, à la fois matériels et humains, pour ces équipements. Elle suppose aussi un travail approfondi sur ce que l'on souhaite enseigner et comment, des formes d'évaluation compatibles avec les visions développées, en bref des choix curriculaire adaptés, sachant qu'ils devront être régulièrement actualisés. Mais un levier tout aussi fondamental, dans ce domaine comme dans tout autre en éducation, est celui de la formation, tant initiale que continue des enseignants. C'est à ce volet que ce texte est consacré. La seconde étude ICMI déjà mentionnée en a fait un de ses axes prioritaires et, dans la suite, je reviendrais sur les évolutions et acquis qu'elle met en évidence dans ce domaine, mais aussi les problèmes ouverts et difficultés résistantes. En m'appuyant plus particulièrement sur différents travaux tant théoriques qu'expérimentaux, menés au sein de mon laboratoire, je m'interrogerai ensuite sur ce que nous connaissons des pratiques des enseignants médiées par les technologies numériques, une connaissance indispensable pour penser la

formation. Je terminerai enfin en présentant un projet européen, le projet EdUmatrics, visant le développement collaboratif de ressources de formation pour favoriser cette intégration.

2. La formation des enseignants dans l'Étude ICMI 17 sur la technologie

La formation des enseignants à la technologie a été longtemps peu satisfaisante, parce que d'une part, elle était trop centrée sur des apprentissages techniques, d'autre part, elle était trop souvent portée par une vision militante peu sensible aux besoins réels des enseignants. Il s'agissait d'abord de convaincre les enseignants du potentiel offert par les « nouvelles technologies » pour l'enseignement et apprentissage des mathématiques. A ceci s'est ajouté le fait que la recherche dans ce domaine technologique a été longtemps presque exclusivement centrée sur les élèves. La méta-étude que nous avons menée au tournant des années 2000 (Lagrange et al. 2003) montrait ainsi la faible proportion de recherches concernant les pratiques des enseignants en environnement technologique et la formation dans ce domaine. La section 3 de la seconde étude ICMI intitulée « Teachers and Technology » montre qu'à la fin des années 2000, ce n'est plus le cas. La préparation des enseignants à enseigner les mathématiques à l'ère du numérique, l'analyse de leurs pratiques a fait depuis l'objet de nombreux travaux. La complexité de l'intégration des technologies numériques, les profonds changements qu'elle implique en termes de pratiques, la façon dont elle affecte tous les niveaux de la vie de la classe y est maintenant reconnue :

Those studies that do exist indicate that modifying teaching practices to include new tools is no mean feat for teachers. In addition to mastering the various possibilities for doing mathematics offered by different digital tools, they also are faced with the need to rethink a number of classroom management issues, adapt their teaching styles to include new forms of interactions – with students, between students, and between students and mathematical ideas – take a more prominent role in designing learning activities for their students and confront a range of epistemic issues related to the acceptance and legitimization of unfamiliar or even completely new mathematical practices. (Healy et Lagrange 2010, p. 288)

Trois chapitres constituent cette section. Le premier (Fuglestad, Healy, Kynigos et Monaghan 2010) concerne la collaboration entre chercheurs et enseignants dans l'intégration des technologies numériques. Il est basé sur trois études de cas menées dans trois pays différents : Norvège, Grèce et Brésil. Les contextes et les cultures sont différents, les approches théoriques également, mais des régularités se dégagent. La première concerne l'accent mis sur le design collaboratif. Dans chaque cas, le dialogue entre enseignants et chercheurs s'organise autour de la conception itérative et conjointe d'artefacts technologiques et d'activités associées, et de leur expérimentation. La rupture est claire et assumée avec la vision classique de la conception et dissémination de ressources. La seconde régularité tient à ce que, si le design est central, son ambition, en particulier en ce qui concerne le design d'artefacts technologiques, n'est pas forcément de produire des objets achevés mais plutôt des objets adaptables, transformables par les utilisateurs, ce que capture l'idée de « half-baked tools ». Comme exprimé dans la conclusion du chapitre :

Perhaps by involving teacher in all stages of the design process, the full extent of the repercussions involved in using digital tools in the classroom, their impact on not only students' learning and teachers' didactic approaches but also on classroom

management, on teaching time, and on mathematics knowledge itself becomes more apparent. And by increasing the sense of ownership that teachers feel for the tools and tasks to be implemented, perhaps it also becomes more natural for them to accept the challenges of becoming active agents in the process of creating new cultures of practices which capitalize on the possibilities of digital tools. (p. 309).

Le second chapitre (Goos et Soury-Lavergne 2010) concerne les cadres théoriques. Les auteurs soulignent d'abord le besoin de cadres théoriques plus élaborés que ceux qui ont accompagné les premières décennies de travaux sur la technologie, pour comprendre le rôle de l'enseignant dans les environnements technologiques, les différents facteurs qui influencent les usages de la technologie par les enseignants et leurs inter-relations, ce que sont des usages productifs et comment progresser dans cette direction. Ils se centrent ensuite sur quelques approches théoriques qui leur paraissent prometteuses dans cette perspective et notamment deux qu'ils perçoivent comme complémentaires. La première est l'approche instrumentale sur laquelle je reviendrai plus amplement dans la partie suivante. La seconde est basée sur la théorie des zones due à Valsiner qui prolonge celle de zone de développement proximal (ZPD) due à Vygotski. Pour rendre compte du développement d'un individu (enseignant ou élève) et de ses interactions avec d'autres acteurs, dans un environnement technologique, cette approche ajoute à la notion de ZPD, deux autres zones : la ZFM (zone de libre mouvement) associée à l'accès aux différents composants de l'environnement et moyens d'action sur ces derniers, et la ZPA (zone d'action favorisée associée aux activités promues dans l'environnement). Les auteurs insistent en conclusion sur la nécessité de continuer à développer des cadres théoriques qui permettent d'approcher à la fois les caractéristiques des enseignants, les contextes institutionnels, et les processus d'apprentissage et de développement professionnel.

Le troisième chapitre, enfin, (Grugeon, Lagrange et Jarvis 2010) est consacré directement à la formation des enseignants. Il s'appuie plus particulièrement sur cinq contributions présentées à la conférence associée à l'étude ICMI en 2006 (Hoyle, Lagrange, Le Hung Son et Sinclair 2006), chacune d'elle étant basée sur un programme de formation spécifique, trois de formation initiale et deux de formation continue. Les contextes de ces programmes, proposés sur trois continents, sont très divers, et c'est aussi le cas pour les programmes eux-mêmes. Pour rendre compte de cette diversité, différents critères sont introduits, concernant respectivement les visions sous-jacentes (implémentation de la technologie, changements dans le rôle de l'enseignant, adaptation des pratiques d'enseignement), le contenu et les stratégies de formation. Des graphiques comme ceux reproduits ci-après synthétisent les résultats de l'étude. On notera la diversité des positionnements sur les contenus répertoriés et les stratégies de formation, et le fait que, parmi les quatre stratégies de formation recensées dans ces cinq exemples, la seule commune est celle qualifiée « demonstration of good practices » !

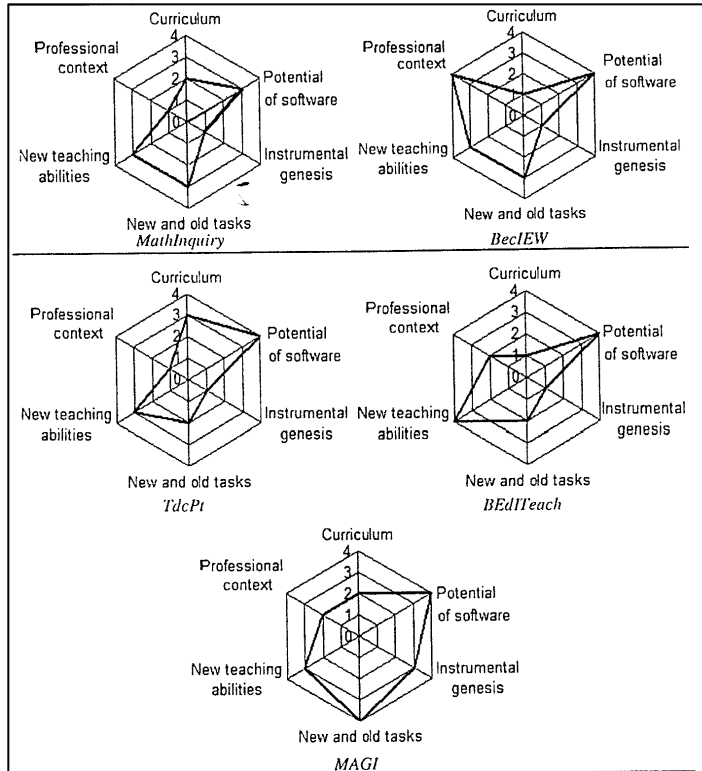


Figure 1 : Position des formations suivant les six contenus répertoriés (Figure 15.4, p.339)

Note : Ces contenus sont les suivants : *Curriculum* (impact de la technologie sur les mathématiques et évolution résultante du curriculum) ; *Potential of software* (potentiel des technologies pour l'apprentissage des mathématiques) ; *Instrumental genesis* (notion de genèse instrumentale et imbrication entre connaissances mathématiques et technologiques) ; *New and old tasks* (création de nouvelles tâches et étude de leur interaction avec les tâches existantes) ; *New teaching abilities* (nouvelles compétences requises des enseignants) ; *Professional context* (introduire la technologie dans un contexte professionnel donné).

	Demonstration	Role	Playing	In practice	Communities
MathInquiry	X	X			X
BecIEW	X	X			
TdcPt	X			X	
BEdITeach	X				X
MAGI	X	X	X	X	X

Figure 2 : Stratégies de formation répertoriées (Figure 15.5, p. 342)

Note : Les stratégies répertoriées sont les suivantes : *Demonstration* (monstration du fonctionnement des artefacts et d'activités les utilisant) ; *Role playing* (les enseignants résolvent des tâches avec la technologie en position d'élèves) et discussion collective ; *In practice* (conception avec le formateur d'une séance d'enseignement, expérimentation dans la classe du formé et analyse réflexive avec le formateur) ; *Communities* (accent mis sur l'apprentissage entre pairs au sein d'une communauté).

Comme le soulignent les auteurs dans la conclusion du chapitre, chaque cours a sa propre cohérence, mais les raisons qui fondent les différents choix effectués ne sont pas toujours faciles à identifier dans les contributions. Et ils concluent en soulignant que :

While it is widely acknowledged that teacher development is crucial for the successful integration of technology in the mathematics classroom, there is very little presently available to guide policy makers, researchers and teacher educators regarding the relevance of different viewpoints, content selection, or the actual effectiveness of various teaching and learning strategies involving technology. (p. 344)

Les expériences relatées dans cette seconde étude ICMI datent maintenant d'une dizaine d'années. Comme je le soulignais dans (Artigue 2013), le contexte technologique est certainement aujourd'hui différent. Les technologies numériques affectent, de plus en plus, les différents aspects de nos vies familiales et professionnelles. De nouveaux artefacts se sont imposés en l'espace de quelques années : téléphones portables et tablettes, disposant d'un nombre croissant d'applications mathématiques. On vend aujourd'hui plus de tablettes que d'ordinateurs et c'est en terme de tablettes que l'on pense désormais l'équipement des élèves, le développement de manuels électroniques. Les écrans tactiles deviennent le standard pour les interfaces graphiques, renouvelant l'idée de manipulation directe portée par l'usage des souris. Les ressources éducatives sous forme d'applets et clips vidéos se multiplient exponentiellement. Les réseaux sociaux prennent une part de plus en plus importante dans les modes de communication à tous les niveaux. Il ne fait plus aucun doute que nous vivons aujourd'hui dans l'ère du numérique.

Parallèlement, les formations en présentiel et à distance se sont multipliées, prenant de nouvelles formes comme en témoigne la percée des MOOC (Massive Open Online Courses), un sigle inconnu encore il y a quelques années. Ces formations prennent de plus en plus en compte le fait que, pour enseigner les mathématiques dans cette ère du numérique, il ne s'agit pas seulement d'apprendre à intégrer à son enseignement des technologies qui, telles les calculatrices, les logiciels de géométrie dynamique, les tableurs et les systèmes de calcul formel (CAS), ont longtemps constitué l'emblème de cette intégration, et ceci même si l'intégration efficace de ces 'vieilles' technologies reste encore marginale. C'est apprendre à tirer parti des ressources multiples que fournit le monde numérique pour l'enseignement et l'apprentissage, et les nouveaux modes d'interaction sociale et de communication qu'il promeut. Ceci est bien visible par exemple, dans le cahier de charge élaboré en France pour la formation des enseignants et le certificat d'aptitude C2I2E associé concernant la technologie¹. Plus que jamais, le besoin d'une réflexion approfondie sur les pratiques de formation aux technologies numériques est d'actualité, le besoin d'une meilleure compréhension des pratiques des enseignants en environnement technologique, de leurs déterminants, des dynamiques d'évolution possibles. Dans la partie qui suit, revenant sur l'approche instrumentale mentionnée plus haut et ses récents développements, nous essaierons de montrer son intérêt pour soutenir les réflexions et les recherches nécessaires.

¹ Voir <http://www.c2i.education.fr/spip.php?article87> Le référentiel est organisé en deux grands domaines de compétences, celles générales liées à l'exercice du métier d'enseignant et celles nécessaires à l'intégration des TICE dans la pratique d'enseignement., elles-mêmes déclinées en cinq rubriques : B1 Travail en réseau avec l'utilisation des outils de travail collaboratif, B2 Conception et préparation de contenus d'enseignement et de situations d'apprentissage, B3 Mise en œuvre pédagogique, B4 Mise en œuvre de démarches d'évaluation

3. Pratiques des enseignants en environnement technologique et formation : le filtre de l'approche instrumentale

L'approche instrumentale a émergé en France au milieu des années 90 comme expliqué dans (Artigue, 2007, 2011). Ne pouvant supposer le lecteur familier avec cette approche, je la présenterai d'abord brièvement avant d'examiner ses développements particulièrement intéressants pour étudier pratiques enseignantes et formation. Cette approche s'appuie sur deux piliers, d'une part, l'approche des outils et instruments développée en ergonomie cognitive par Vérillon et Rabardel (Rabardel 1995), d'autre part la théorie anthropologique du didactique (TAD dans la suite) initiée par Chevallard (1991, 1999). Elle a émergé dans le contexte technologique, plus particulièrement celui des recherches menées sur l'intégration des logiciels de calcul formel comme Derive et calculatrices symboliques (TI92 et TI89 notamment) au lycée. Elle retient en priorité de l'approche ergonomique la distinction effectuée entre un artefact et un instrument. Un artefact ici est un artefact technologique, calculatrice, logiciel, tableau numérique interactif, applet, plateforme interne..., ou une partie de celui-ci. L'instrument est ce que cet artefact devient pour un individu, une communauté qui l'utilise intentionnellement pour réaliser une certaine tâche ou un ensemble de tâches. Un instrument est ainsi la combinaison d'un artefact et de techniques ou de schèmes (selon le langage de Rabardel et Vérillon) que l'utilisateur a développés ou s'est appropriés. La transformation d'un artefact en instrument ne va en général pas de soi et c'est particulièrement le cas pour les artefacts numériques complexes actuels. Elle s'opère à travers un processus que Rabardel nomme *genèse instrumentale*, et qui affecte à la fois l'artefact et l'utilisateur. Elle affecte l'artefact parce que l'utilisateur le met à sa main, découvrant progressivement ses usages possibles voire détournant certains de ceux prévus par le constructeur, parce qu'il l'enrichit, y stocke des données, des programmes. C'est le *processus d'instrumentalisation*. Elle affecte l'utilisateur parce qu'il élabore ou s'approprie des techniques, développe des schèmes d'usage, qui le transforment. C'est le *processus d'instrumentation*. La recherche menée dans la dernière décennie autour des logiciels de géométrie dynamique a ainsi bien montré à quel point la genèse instrumentale du déplacement (ou dragging) était chose complexe, dépassant la seule connaissance des commandes et gestes associés. Pendant très longtemps cependant, la recherche concernant les technologies numériques a sous-estimé la complexité de ces genèses instrumentales, voire les a simplement ignorées. Elle a sous-estimé à quel point elles imbriquent connaissances mathématiques et connaissance de l'artefact, faisant que l'usage d'artefacts technologiques affecte profondément non seulement la façon d'apprendre mais aussi ce qui est réellement appris. L'approche instrumentale a rendu cette complexité visible. Elle a fourni un langage pour l'exprimer, des guides pour l'étudier. Elle a aidé à comprendre les limites de visions qui réduisaient la technologie au seul rôle d'outil de motivation et d'adjuvant pédagogique.

Mais comme c'était souligné à la fin de la partie précédente, s'agissant d'éducation et de formation, le rôle, l'influence des institutions et cultures dans lesquelles se construisent ces genèses instrumentales ne doit pas être non plus sous-estimé. C'est pourquoi dans l'approche instrumentale décrite ici, les constructions de Rabardel et Vérillon sont combinées avec celles de la TAD. La TAD nous donne à son tour un langage pour exprimer que toute connaissance émerge de pratiques qui sont institutionnellement situées. Un élément clef de ce langage est la notion de *praxéologie* qui est proposée pour modéliser les pratiques humaines de toute sorte, donc en particulier les pratiques mathématiques et didactiques. Une hypothèse forte est que toute

praxéologie est constituée de deux blocs : un *bloc pratique* et un *bloc théorique* discursif. En d'autres termes, il n'existe pas de pratique humaine institutionnellement située sans une forme de discours qui la décrit, l'explique, la justifie, sous des formes plus ou moins élaborées. Au niveau le plus élémentaire, le bloc pratique d'une praxéologie est constitué d'un *type de tâches* et d'une *technique* pour résoudre ce type de tâche (non nécessairement algorithmique) ; le bloc théorique est constitué d'un *discours dit technologique* (au sens étymologique du terme) décrivant, expliquant, justifiant la technique, ce discours étant lui-même justifié par un *discours théorique* plus ou moins élaboré et explicite. Dans les travaux sur les environnements numériques, au-delà de la perspective institutionnelle qui lui est consubstantielle – les praxéologies mathématiques et didactiques sont conditionnées et fortement contraintes par les institutions où elles se développent et vivent - cette approche a été particulièrement utile pour dépasser l'opposition trompeuse souvent faite entre activité technique et conceptuelle en mathématiques. Par la vision dialectique qu'elle présente des rapports entre techniques et théories, elle a aidé à rendre claire et exprimable la double fonction des techniques (donc aussi des techniques instrumentées) : une *fonction pragmatique* car elles sont des moyens d'action sur le monde, de production de résultats, une *fonction épistémique*, car elles contribuent de façon essentielle à la compréhension des objets (notamment mathématiques) qu'elles engagent. La légitimité didactique des techniques enseignées est fondée sur des équilibres subtils obtenus entre ces deux fonctions comme le montrent les débats récurrents autour de la place à accorder dans le curriculum à l'enseignement de la technique opératoire de longue division. Il a été montré que l'introduction d'artefacts technologiques perturbe les équilibres entre ces deux fonctions, au détriment de la fonction épistémique. Ceci est dû notamment à ce que les tâches spontanément conçues par les enseignants sont le plus souvent des tâches adaptées de l'environnement papier-crayon où les artefacts technologiques sont principalement utilisés pour leur potentialité pragmatique. Il est important donc qu'au-delà de l'attention portée aux genèses instrumentales, les formations proposées aux enseignants sachent ne pas tomber dans des dichotomies sommaires qui risquent de se constituer en obstacle à une intégration productive, qu'elle rendent les enseignants sensibles à la nécessité d'établir des équilibres satisfaisants et les outillent pour exploiter le potentiel épistémique des techniques instrumentées.

Les travaux menés dans le cadre de l'approche instrumentale ont d'abord concerné les élèves, cherchant à comprendre les processus de genèse instrumentales chez ces derniers, d'abord dans le cadre d'environnements de calcul formel, puis en engageant progressivement d'autres technologies : tableurs et logiciels de géométrie dynamique notamment. Mais assez vite, ils se sont élargis à l'enseignant, à ses genèses instrumentales tant personnelles que professionnelles, et à la contribution de la connaissance de ces genèses à l'intelligibilité des pratiques et de leurs dynamiques, observées ou possibles. Cet élargissement a débuté avec l'incorporation à la théorie de la notion d'orchestration instrumentale par Trouche (2005), cette notion étant ensuite retravaillée en collaboration avec Drijvers (2011) pour aboutir à une typologie de formes d'orchestration. Une orchestration instrumentale est en fait définie comme un couple constitué :

1. d'une configuration didactique (une organisation de l'environnement artefactuel qui comprend en général plusieurs artefacts),
2. d'un mode d'exploitation de cette configuration.

Trouche par exemple a exploité dans ses travaux et décrit de façon détaillée ce qu'il a appelé le mode Sherpa. Dans ce mode, un élève vient piloter un artefact devant la classe,

devenant porteur des intentions et réalisations du collectif de la classe et permettant leur visibilité et leur partage, aidant aussi à l'enseignant de recueillir des informations importantes sur l'état des genèses instrumentales au sein de la classe. Ces théorisations sont décrites et illustrées par divers exemples dans la seconde étude ICMI. L'accent y est mis sur la sous-estimation dans la plupart des formations de l'importance et la complexité de ces processus de genèses instrumentales, tant en ce qui concerne les élèves que les enseignants, ainsi que de leurs imbrications.

Ces dernières années, au sein de mon laboratoire, le LDAR, le potentiel de l'extension de l'approche instrumentale à l'enseignant a été systématiquement exploré pour mieux comprendre les pratiques des enseignants et penser les formations. Ceci s'est effectué notamment dans le cadre du projet national GUPTEN sur les genèses d'usage des technologies numériques des enseignants débutants (Lagrange 2013). Ce faisant, sur le plan théorique, son ancrage s'est modifié. En effet, les travaux de recherche ont combiné l'approche instrumentale que je viens de décrire avec la *double approche ergonomique et didactique* (DA dans la suite) des pratiques enseignantes initié au sein du LDAR par Robert et Rogalski (2002). La référence à l'ergonomie cognitive est commune aux deux approches mais la DA s'appuie sur les théories de l'activité et non sur la TAD. L'enseignement est vu comme un métier, et un métier particulièrement exigeant parce que l'enseignant travaille dans un système complexe et ouvert. Les pratiques des enseignants sont vues comme un système cohérent, complexe et stable. Elles sont définies comme l'ensemble de ce que le professeur fait, dans et en dehors de la classe, en tant que professionnel enseignant, et sont approchées via les cinq composantes suivantes : *cognitive, médiative, institutionnelle, sociale et personnelle* (Vandrebouck, 2013). La dimension cognitive concerne les choix de l'enseignant relatifs au contenu mathématique : les tâches proposées aux élèves, leur organisation dans le temps. Cette dimension est directement en jeu dans le travail de préparation fait par l'enseignant en dehors de la classe. La dimension médiative, comme son nom l'indique, est associée à ce que l'enseignant fait dans la classe lorsqu'il implémente son projet, comment les tâches sont présentées, transformées, quelles aides sont données... Les trois autres dimensions concernent différents types d'assujétissement qui influencent ces deux premières composantes et agissent comme déterminants des pratiques. Ce sont les composantes sociale, institutionnelle et personnelle.

L'exploitation faite de ce cadre théorique pour analyser les pratiques des enseignants dans des environnements technologiques a conduit les chercheurs à distinguer trois contextes d'usage technologique pour des enseignants (Abboud-Blanchard and Vandrebouck 2012) (Abboud-Blanchard 2013). Le premier, *le contexte privé*, correspond aux activités technologiques développées par les enseignants dans leur sphère privée, sans relation directe avec leurs activités en classe ; le second, *le contexte professionnel privé* correspond aux activités technologiques menées en prévision d'activités en classe mais en dehors de la classe ; le troisième, *le contexte professionnel public* correspond aux activités technologiques réalisées en classe. Les technologies numériques instrumentent l'activité des enseignants dans chacun de ces trois contextes, même si c'est uniquement dans le troisième que l'activité instrumentée de l'enseignant interagit avec l'activité instrumentée de l'élève. Les genèses instrumentales des enseignants doivent donc être pensées en prenant en compte ces trois contextes. Les résultats des études menées dans le cadre du projet GUPTEN tendent à montrer qu'une utilisation professionnelle efficace des technologies numériques requiert en fait une synergie entre les pratiques dans ces différents contextes, et ceci a bien sûr des implications évidentes en termes de formation.

Inspirés par de récents développements en ergonomie cognitive et didactique professionnelle (Rabardel and Pastré 2005), les chercheurs du projet GUPTEN ont également éprouvé le besoin d'étendre la notion de genèse instrumentale concernant un artefact donné à celle de genèse d'usage. Il s'agissait par là de mieux prendre en compte la multiplicité de contextes et la combinaison d'usages personnels et professionnels mentionnée ci-dessus, mais aussi d'acter « que les instruments ne sont pas isolés et que l'activité du sujet implique souvent le recours à un système d'instruments [...] mobilisés au fil de l'action en fonction des buts et des besoins opérationnels du moment ». (Abboud-Blanchard 2013, p.32). Comme expliqué dans (Lagrange, 2013), l'idée de genèse d'usage transcende les artefacts et leur diversité, et elle prend en compte la cohérence des pratiques propres à un enseignant donné. Enfin, pour analyser l'évolution des pratiques des enseignants, la double approche distingue aussi trois niveaux dans leur organisation : le *niveau micro* qui est celui des automatismes et des routines, le *niveau local* qui est celui de la vie quotidienne de la classe, et le *niveau global* qui est celui des projets et scénarios, à la temporalité plus longue. L'introduction d'artefacts technologiques induit des perturbations dans cette organisation qui touchent à la fois ces trois niveaux et leurs interactions. Par exemple, les analyses menées sur les pratiques des enseignants débutant dans l'usage des technologies numériques montrent que l'absence chez ces derniers à la fois de routines spécifiques au niveau micro et d'une vision globale des usages au niveau macro induit pour eux une surcharge de travail au niveau local de la classe souvent problématique. Les analyses menées dans la durée montrent aussi que les évolutions positives observées peuvent s'exprimer en termes de mouvements entre ces différents niveaux (Abboud-Blanchard and Vandebrouck 2012), (Abboud-Blanchard 2013). Tous ces outils conceptuels, et ce sont loin d'être les seuls, nous aident aujourd'hui à mieux comprendre la complexité des processus en jeu dans les genèses d'usage et les dynamiques d'évolution possibles, donc à mieux comprendre les besoins de formation des enseignants.

L'approche instrumentale s'est enfin élargie ces dernières années à ce qui est appelé le travail documentaire des enseignants (Gueudet and Trouche, 2009), (Gueudet, Pépin and Trouche, 2012). La vision instrumentale a conduit ces auteurs à introduire à ce niveau une distinction parallèle à celle établie entre artefact et instrument. Ils distinguent donc le document (manuel ou plutôt partie de manuel, document internet, vidéo...) constituant l'analogue de l'artefact de la ressource qui est l'instrument professionnel qu'elle va devenir pour un enseignant qui en fait usage, l'adapte à ses besoins spécifiques (instrumentalisation) et se constitue ou s'approprie des schèmes d'usage. La recherche dans ce domaine est encore récente mais elle questionne la vision usuelle des ressources éducatives et de leur dissémination. Elle rejette en effet la dichotomie concepteur/utilisateur, en mettant l'accent sur le travail de transformation produit par l'enseignant et sa participation au travail de conception. Elle met aussi l'accent sur le fait que l'activité de conception dans l'usage se poursuit dans la durée, dans une succession de cycles d'usage. Une telle approche nous semble particulièrement intéressante dans le contexte actuel marqué par des modifications importantes dans les systèmes de production de ressources éducatives, et dans les possibilités nouvelles offertes aux utilisateurs pour les faire évoluer en fonction de leurs besoins et styles propres. Ceci résonne avec l'idée de « half-baked tool » évoquée plus haut.

Comme je l'indiquai en introduction à cette partie, ces avancées conceptuelles appuyées sur l'analyse des pratiques effectives des enseignants, devraient nous aider à mettre en place des formations mieux adaptées aux besoins réels des enseignants que cela n'a été souvent le cas dans le passé, plus respectueuses de la complexité du travail de l'enseignant dans des environnements

numériques, capables de prendre en compte la diversité croissante des impacts de ce monde numérique sur le métier d'enseignant, et sachant aussi créer les synergies et collaborations nécessaires. Ces avancées inspirent les formations d'enseignants que nous organisons au sein de l'IREM Paris 7 et dans les IUFM associés au LDAR, mais également la formation technologique au sein du Master didactique de formation de formateurs qui a été mis en place dans mon université. Car, s'il est question dans ce texte de formation d'enseignants, une formation d'enseignants de qualité ne peut exister sans formateurs eux-mêmes bien formés. Or, dans ce domaine, les travaux même récents (Abboud-Blanchard et Emprin 2010) montrent que beaucoup reste à faire. Dans la dernière partie de ce texte, élargissant la perspective, je vais utiliser ce qui précède pour présenter et discuter un projet européen dans lequel j'ai été impliquée de 2010 à 2012 et qui se propose d'aider à la fois enseignants et formateurs.

3. Le développement collaboratif de ressources pour la formation : le projet EdUmatics

Le projet EdUmatics est un projet Européen Comenius. Pendant deux années, de 2010 à 2012, il a réuni vingt partenaires (10 universités et 10 lycées associés) de sept pays qui avaient déjà pour bon nombre d'entre eux noué des contacts dans le cadre d'expérimentations de la calculatrice TI-nSpire de Texas Instrument organisées à partir de 2006, des expérimentations dans lesquelles enseignants et chercheurs avaient collaboré étroitement. C'était le cas notamment en France où les trois IREM impliqués, ceux de Lyon, Montpellier et Paris 7 avaient collaboré au sein du projet e-colab2 piloté par l'INRP, pour produire collectivement des ressources pour l'enseignement utilisant cette calculatrice, dans un processus de design itératif. Les ressources ou germes de ressources produits par un IREM y étaient testés et éventuellement adaptés par un autre IREM au moins, adaptations et résultats des expérimentations étant ensuite systématiquement analysés et comparés, soit lors de réunions présentesielles, soit par l'intermédiaire de la plateforme du projet. Ce travail collaboratif avait donné lieu à la production et publication de trois livres, un par année du lycée (grades 10, 11 et 12) (Aldon, 2009, 2010, 2011) et à différents articles, articles de recherche ((Artigue et Bardini 2010) par exemple) mais aussi articles à destination des enseignants dans des revues d'interface, comme la revue *Repères IREM*, éditée par le réseau des IREM (Aldon et al. 2008).

Le but du projet EdUmatics³ était sensiblement différent puisqu'il s'agissait cette fois de développer collaborativement des modules non directement pour l'enseignement, mais pour des formations d'enseignants qui pourraient se dérouler en grande partie à distance et seraient ciblées sur l'intégration des technologies numériques dans l'enseignement des mathématiques. Cinq modules ont été décidés, une structure commune élaborée, la réalisation de chacun d'eux étant prise en charge par deux binômes (université, lycée) de deux pays différents. Là encore la conception du design était itérative. Les situations didactiques qui serviraient de base aux modules de formation étaient choisies ou élaborées conjointement par chercheurs et enseignants des deux binômes concernés, puis testées dans les classes de ces enseignants, et diverses données recueillies à cette occasion. Ces premières expérimentations, menées dans des contextes différents, étaient ensuite analysées, comparées, discutées et, à partir d'elles, les deux binômes élaboraient un projet de module de formation. Ce projet, mis en ligne sur la plateforme du projet,

2 Information accessible à <http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/archives/parteneriat-inrp-08-09/e-colab>

3 voir <http://www.edumatics.eu>

était ensuite soumis à une évaluation externe (aux équipes de conception) par deux autres binômes d'EdUmatics, selon une grille élaborée collectivement par tous les partenaires. Cette évaluation impliquait si possible l'utilisation du module dans une formation effective avec des enseignants extérieurs au projet mais ceci fut rarement le cas. Le bilan tiré de ces évaluations était lui aussi collectivement discuté pour décider des modifications à apporter à chaque module mais aussi pour renforcer les liens et la cohérence entre les différents modules. Ils avaient en effet été développés largement indépendamment les uns des autres, après les cadrages initiaux. Dans une dernière étape, enfin, les modules une fois finalisés ont été traduits pour être accessibles sur la plateforme publique non seulement en anglais mais aussi en allemand, français, italien, solvène et tchèque⁴ comme nous nous y étions engagés vis à vis de la Commission Européenne. La collaboration entre les partenaires combinait des modes de communication synchrones (réunions en présentiel ou à distance, de sous-groupes ou collectives) et asynchrones via la plateforme et les échanges de courrier électronique. Comme on pouvait l'anticiper, la diversité des contextes éducatifs et des curricula a fait de ce projet un réel défi. Elle a été source d'une créativité sur laquelle je voudrais insister dans le contexte régional qui est celui de CANP. Elle s'inscrit dans la vision mentionnée plus haut des ressources comme des objets flexibles et pensés pour que leur conception puisse se poursuivre dans l'usage, de collaboration étroite entre chercheurs et enseignants, et d'attention portée à la complexité du travail de l'enseignant en environnement technologique, des genèses instrumentales et des genèses d'usage.

Cinq modules ont été développés :

1. Commencer à travailler avec les TICE
2. Des représentations statiques aux représentations dynamiques
3. Modéliser et construire des fonctions
4. Utiliser les TICE dans la classe
5. Relations entre logiciels

Excepté le quatrième qui est structuré autour de l'analyse de 13 courts clips vidéos, les différents modules sont organisés autour de quelques situations mises au point et expérimentées dans des classes dans le cadre de ce projet. Je m'appuierai ici plus particulièrement sur le module 3 dans la réalisation duquel notre équipe s'est particulièrement investie. Il est présenté sur le site selon une structure commune à tous les modules :

1. Que vais-je apprendre dans ce module ?
2. Que dois-je déjà connaître ?
3. Comment ce module se rattache-t-il aux autres modules ?
4. Quelles activités propose ce module et combien de temps faut-il pour l'effectuer en entier ?

et structuré autour de trois familles de situations. Pour cette réalisation, nous nous sommes en effet appuyés sur l'idée de « famille de situations » qui nous a paru pertinente, à la fois pour concevoir des ressources flexibles et pour faciliter le travail didactique sur ces dernières dans une perspective de formation. Penser la flexibilité de ressources, c'est en effet distinguer dans une ressource :

4 Une partie de ces traductions avait déjà été réalisée pour les besoins des expérimentations.

1. d'une part ce qui en constitue l'essence, les ressorts essentiels, ce qui faute d'être préservé risque de priver la ressource de ses raisons d'être et de son potentiel didactique,
2. d'autre part, ce qui est de nature plus contingente.

Il existe sans aucun doute différentes façons de conceptualiser cette distinction. Notre culture didactique, nourrie de la théorie des situations didactiques initiée par Guy Brousseau (Brousseau, 1997) et de la théorie anthropologique du didactique initiée par Yves Chevallard (Chevallard, 1992, 1999) a sans aucun doute dirigé la façon dont nous l'avons exprimée, à travers l'idée de famille de situations. La théorie des situations didactiques postule notamment que l'on pourrait associer à chaque savoir une situation fondamentale, objet idéal qui en exprime l'essence, l'épistémologie. Une situation fondamentale se décline en fait, à travers le choix des variables didactiques qui lui sont associées, en une famille de situations qui préservent l'essence de ce savoir et peuvent soutenir son émergence progressive. Nous nous sommes inspirés de cette idée dans le module pour concevoir notamment deux des familles de situations, la famille des enseignes et celle des intersections. Je prendrai comme exemple ici celle des enseignes, associée à une modélisation fonctionnelle interne aux mathématiques, à partir de problèmes concernant longueurs et aires. Il s'agit là d'un contexte de modélisation présent dans l'enseignement de plusieurs des pays européens impliqués dans le projet, donc a priori familier à des enseignants en formation. L'enjeu est de travailler sur ce que peut apporter son traitement dans un environnement technologique, en insistant tout particulièrement sur les connections dynamiques entre cadre algébrique et géométrique qu'elle permet, et les représentations dans chacun de ces cadres qu'elle permet. Cette famille est présentée de la façon suivante :

« La famille des Enseignes que nous utilisons comme illustration est une famille de situations qui peut être décrite de la façon suivante : on donne une forme géométrique (carré, rectangle, cercle... ou même forme 3D) et un point mobile dans cette forme (sur un côté, une diagonale, une médiane, un diamètre, une ligne particulière...) qui permet de la diviser en plusieurs parties ; à partir de cette division, une enseigne est créée dont l'aire dépend de la position du point mobile (cf. les exemples de la figure 1 où le point mobile est M et le segment sur lequel il se déplace est tracé en rouge). Plusieurs questions émergent naturellement concernant la variation de l'aire globale de l'enseigne ou celle de ses différentes parties et leurs rapports, les valeurs minimales et maximales... Pour y répondre, une modélisation fonctionnelle est particulièrement utile. Elle peut être envisagée de façon différente suivant les questions posées. Elle peut faire intervenir une diversité de fonctions, depuis des fonctions linéaires jusqu'à des fonctions complexes pour un élève du secondaire. Précisons que nous avons présenté cette famille de situations dans un contexte de modélisation interne aux mathématiques mais que cette situation géométrique peut résulter d'une modélisation d'enseignes dont les parties colorées et non colorées correspondent à des matériaux de coûts différents. »

Les deux exemples ci-après sont des représentants parmi bien d'autres possibles de cette famille :

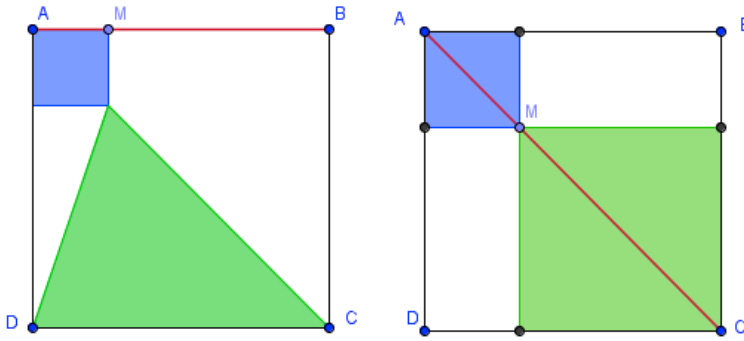


Figure 3 : Deux exemples d'enseignes

Pour construire un modèle fonctionnel, il faut choisir une variable indépendante, par exemple un nombre réel positif représentant la longueur AM pour les enseignes de la figure ci-dessus. Cette question est abordée explicitement dans la présentation de la famille, avant celle des potentialités offertes par la technologie. L'accent y est mis sur la diversité des usages possibles et notamment le fait :

1. que l'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique permet une première approche des variations avec une idée de dépendance fonctionnelle qui peut rester implicite,
2. que l'on peut explorer et conjecturer sans introduire d'expression algébrique pour les fonctions en jeu, et que grâce à la commande « lieu de points », on peut en obtenir des représentations graphiques et les explorer,
3. que des données capturées en déplaçant le point mobile peuvent aussi être transférées dans le tableur associé et les points correspondant tracés, cette technique permettant elle aussi de faire des conjectures sur les variations, les extrema, les types de fonctions en jeu avant de les exprimer sous forme algébrique, et que l'utilisation du tableur permet aussi d'aider à conjecturer les équations en utilisant les fonctions de régression,
4. que suivant la forme de l'enseigne et les questions posées, les valeurs particulières recherchées peuvent être plus ou moins simples et être accessibles exactement ou seulement en valeur approchée, une variable sur laquelle l'enseignant pourra jouer s'il souhaite travailler dans ce contexte technologique les rapports entre calcul exact et approché,
5. que l'intervention de questions faisant intervenir des périmètres peut conduire à des expressions complexes pour l'étude desquelles, des modules de calcul formel comme ceux offerts par les calculatrices symboliques peuvent être utiles,
6. que l'usage d'un curseur enfin n'est pas nécessaire et qu'il induit une modélisation fonctionnelle qui peut rester invisible aux élèves.

La notion de famille de situations est aussi déclinée dans le module d'une autre façon, plus en ligne avec la forme d'ingénierie didactique portée par la théorie anthropologique du didactique, en termes de programmes d'étude et de recherche (Chevallard, à paraître). Dans cette approche, ce qui est essentiel, c'est l'existence d'une question à fort pouvoir générateur autour de laquelle le travail conjoint de l'enseignant et les élèves va pouvoir s'organiser, combinant des élaborations propres et l'étude de travaux fournissant déjà des réponses partielles existant dans la

culture, à comprendre, à discuter ou à adapter. Dire qu'une question a un fort pouvoir générateur, c'est dire qu'elle peut générer elle-même de multiples sous-questions et permettre la rencontre progressive d'un ensemble consistant de savoirs et pratiques, en en faisant percevoir la raison d'être. Dans le module, la famille des jeux de poursuite qui met en jeu la modélisation fonctionnelle de « réalités » extra-mathématiques, me semble davantage de ce type. Dans cette famille, le point de départ est une série de vidéos qui visualisent diverses situations de poursuites. La question de départ est : qu'est-ce qui est commun, différent entre toutes ces situations ? Il s'agit là pour les élèves, d'identifier différents types de poursuites, de les schématiser et de les caractériser. On leur propose ensuite d'en élaborer des modèles simplifiés simulables avec Géogebra ou avec un tableur, et d'exploiter ces simulations. Des modélisations fonctionnelles, implicites puis explicites, peuvent émerger à la fois dans la réalisation des simulations, et dans les questions que soulève leur usage. Autour de cette trame commune, une diversité de parcours est possible suivant les vidéos que l'on utilise, les sous-questions que l'on choisit de privilégier, la responsabilité donnée aux élèves dans la réalisation des simulations, l'extension que l'on souhaite donner à ce travail et, bien sûr, les connaissances mathématiques des élèves. On le voit bien en comparant les réalisations dans les classes françaises et tchèques réalisées à deux niveaux de scolarité différents (fin de collège, grade 9 en Tchéquie et première année du lycée, grade 10 en France), avec deux technologies différentes (tableur en Tchéquie, Geogebra en France), et dans des conditions permettant de consacrer à ces jeux de poursuite un nombre de séances différent (de 2 séances en Tchéquie à 6 séances en France dans le cadre d'un enseignement optionnel d'ouverture « Méthodes et pratiques scientifiques » introduit dans la récente réforme du lycée).

Le travail de formation proposé sur les trois familles de situation du module est organisé en plusieurs phases. Pour la famille des enseignes et celle des équations et intersections, le scénario est similaire et nous le décrivons ci-après pour la famille des enseignes. Il débute par une analyse a priori mathématique et technologique visant à identifier le potentiel de modélisation fonctionnelle et le potentiel technologique de la famille, à travers l'étude d'exemplaires de cette famille, et combinant travail en groupes sur des exemplaires différents avec des artefacts éventuellement différents, discussions et synthèses collectives. Cette phase est suivie d'une phase d'analyse pédagogique organisée autour de l'analyse de quelques épisodes vidéo issus des expérimentations menées et montrant des cas susceptibles de nourrir des discussions intéressantes concernant le comportement des élèves, les interactions entre enseignant et élèves, et l'utilisation de la technologie. Enfin, dans une troisième phase, « chaque formé est engagé à construire un scénario pour une situation d'enseigne, en considérant son propre contexte éducatif. Le scénario doit rendre clairs les objectifs didactiques précis de cette situation, les connaissances mathématiques et instrumentales supposées des élèves, les choix effectués dans la famille des enseignes et leurs raisons, la ou les outils technologiques qui sont envisagés et comment ils sont supposés aider l'apprentissage des élèves, les rôles respectifs prévus pour les élèves et l'enseignant dans les différentes phases du scénario, et les ressources fournies aux élèves ». Il est proposé que ces scénarios soient ensuite échangés, comparés et discutés collectivement avec l'aide des formateurs.

Pour la famille des jeux de poursuite, la situation est différente. Si les deux premières familles renvoient en effet à des problèmes familiers à beaucoup d'enseignants, qu'ils utilisent ou non les technologies numériques dans leur enseignement, ce n'est plus le cas pour celle-là. Elle se veut dans le module une ouverture sur des pratiques médiées par la technologie :

1. ne se bornant pas à l'usage logiciels dédiés aux mathématiques comme ceux de géométrie dynamique mais combinant l'usage de différents types de ressources,
2. mettant en jeu la réalisation de simulations et leur exploitation créative,
3. mobilisant potentiellement une grande diversité de types de fonctions connues ou inconnues des élèves.

On ne fait pas l'hypothèse que, après avoir travaillé ce module, un enseignant va pouvoir nécessairement se lancer dans de telles pratiques. Il s'agit davantage, en termes de genèses d'usage, de travailler sur contextes personnels et professionnel privé, d'ouvrir de nouvelles perspectives. Si, dans le cadre de la formation, il est proposé qu'une expérimentation au moins soit réalisée et rapportée, il est clair que ce sont les deux premières familles qui semblent les plus exploitables pour de telles réalisations.

Le scénario global de formation est décrit pour une formation en présentiel mais il est pensé pour pouvoir être adapté à une formation partiellement réalisée à distance. Divers documents sont en effet fournis pour aider le travail autonome des enseignants comme celui de formateurs souhaitant utiliser ce module : des fichiers et aplets Geogebra associés aux différentes potentialités offertes par cet artefact pour exploiter cette famille (exploration géométrique des variations, association de courbes obtenues comme lieux de points ou à partir d'une entrée algébrique, usages du tableur), des scénarios envisageables en classe et des comptes rendus d'expérimentation, les clips vidéos mentionnés plus haut montrant des épisodes de travail d'élèves, d'interaction élèves-enseignant, ou des captures d'écran d'ordinateur, des références bibliographiques. Ces documents constituent autant de briques que l'enseignant ou le formateur pourront transformer en ressources.

On voit donc clairement comment l'approche est façonnée par les visions exprimées plus haut et les acquis de la recherche didactique. Une attention particulière est ainsi portée aux genèses instrumentales et aux interactions dans ces dernières entre le développement de connaissances mathématiques et instrumentales. L'influence de la théorie des situations est, elle, visible dans l'attention portée à l'analyse a priori des situations et à leur potentiel a-didactique, à l'identification de leurs variables didactiques. Le scénario de formation proposé met l'accent sur le travail collaboratif des enseignants, les échanges, et cherche à outiller le nécessaire travail de conception des enseignants. Il contient des situations plus ou moins distantes des pratiques curriculaires existantes, y compris concernant les pratiques curriculaires instrumentées et essaie de prendre en compte les différents contextes identifiés dans les genèses d'usage. Ce module n'est pour autant en rien un modèle. Les contraintes de ce type de projet européen, notamment en termes de durée (2 ans) et de financement (couvrant essentiellement les rencontres nécessaires entre enseignants et chercheurs, et entre partenaires), l'absence de suivi une fois le projet achevé, le défi qu'a représenté la réalisation d'un objet au carrefour de différentes cultures, font que ce qui a été réalisé est très imparfait. Par exemple, nous n'avons pas réussi à construire un scénario de formation unifié sur la plus délicate famille des jeux de situation, ni à prendre en charge pour chaque famille, la diversité des artefacts technologiques susceptibles d'être utilisés, les documents fournis pour soutenir un travail autonome sont très insuffisants. Néanmoins, l'ensemble des modules s'est révélé pour nous un outil très intéressant pour monter en 2013 à l'IREM une formation de trois jours pour les enseignants dans le cadre des plans de formation des académies de la région parisienne. Cette formation qui a combiné une exploration des différents modules, un travail plus spécifique sur le module 3, la mise au point par binôme d'une

expérimentation inspirée par une des activités des trois premiers modules au choix, le retour sur ces expérimentations au cours de la dernière journée, sur la base d'une grille décidée en commun, puis la mise en commun sur une plateforme de formation de toutes les ressources élaborées par les enseignants, a été très appréciée. Elle est reconduite en 2013-2014. Elle a aussi été appréciée par l'ouverture internationale qu'elle offrait. L'intense travail de coordination mené dans le projet EdUmatic n'empêche pas en effet chacun des modules de refléter la culture propre des partenaires qui l'ont conçu. Cela a soulevé de nombreuses questions lors de la formation et des discussions qui ont permis aux participants de voir leur propre culture avec un regard nouveau et d'interroger certaines certitudes.

4. Conclusion

Dans ce texte consacré à la formation des enseignants aux technologies numériques, je suis partie de la référence constituée par la seconde étude ICMI qui montrait que si des avancées avaient été obtenues depuis la première étude, menée 20 ans plus tôt, cette question cruciale de la formation des enseignants restait largement ouverte. M'appuyant ensuite sur un ensemble de travaux initiés par l'émergence et le développement d'approches instrumentales de l'intégration technologique, j'ai essayé de montrer que nous disposons aujourd'hui d'un outillage conceptuel cohérent et a priori performant pour avancer sur cette question, en la reliant à ce qui concerne plus largement les pratiques instrumentées des enseignants. J'ai enfin essayé d'illustrer comment ces outils conceptuelles et les visions qu'ils portent peuvent guider la construction collaborative de formations et de ressources, en se situant dans un contexte régional et non plus national. J'espère ainsi avoir contribué à la réflexion et au travail collectif plus que jamais nécessaire sur ces questions à l'heure où devient clair qu'une intégration efficace des technologies numériques, dans la diversité de leurs facettes, est une condition de survie pour l'Ecole.

Références bibliographiques

- Abboud-Blanchard, M. (2013). Les technologies dans l'enseignement des mathématiques. Etude des pratiques et de la formation des enseignants. Synthèses et nouvelles perspectives. Habilitation à Diriger les Recherches. Université Paris Diderot – Paris 7.
- Abboud-Blanchard, M., & Vandebrouck, F. (2012). Analysing teachers' practices in technology environments from an Activity Teoretical approach. *The International Journal for Technology in Mathematics Education*, 19(4), 159-164.
- Aldon G., Artigue M., Bardini C., Baroux-Raymond D., Bonnafet J.L., Combes M.C., Guichard Y., Hérault F., Nowak M., Salles J., Trouche L., Xavier L. et Zuchi I. (2008). Nouvel environnement technologique, nouvelles ressources, nouveaux modes de travail : le projet e-CoLab (expérimentation Collaborative de Laboratoires mathématiques), *Repères-IREM* n° 72, 51-75.
- Aldon, G. (2009). *Mathématiques dynamiques. Activités avec la TI-nspire pour la classe de Seconde*. Paris: Hachette Education.
- Aldon, G. (2010). *Mathématiques dynamiques. Activités avec la TI-nspire pour la classe de Première et complements de Seconde*. Paris: Hachette Education.
- Aldon, G. (2011). *Mathématiques dynamiques. Activités avec TI-nspire CX pour la classe de Terminale*. Paris: Hachette Education.
- Artigue, M. (2007). Tecnología y enseñanza de las matemáticas : desarrollo y aportaciones de la aproximación instrumental. In E. Mancera, C. Pérez, *Historia y Prospectiva de la Educación Matemática, Memorias de la XII Conferencia Interamericana de Educación Matemática*, pp. 9-21.

- Mexico : Edebé Ediciones Internacionales. Reproduced in Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática, 8, 13-33 (2011).
- Artigue M., Bardini C. (2010). New didactical phenomena prompted by TI-nSpire specificities – The mathematical component of the instrumentation process. In V. Durand-Guerrier, S. Soury-Lavergne, F. Arzarello (Eds.), *Proceedings of the Sixth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. January 28th - February 1st 2009, Lyon (France), pp. 1171-1180. INRP www.inrp.fr/editions/cerme6.
- Artigue, M. (2013). Teaching Mathematics in the Digital Era: Challenges and Perspectives. In Y. Baldin (Ed.), *Anais do VI HTEM*. Universidade Federale de San Carlos.
- Brousseau, G. (1997). *Theory of didactical situations in mathematics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12(1), 77-111.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221-266.
- Chevallard, Y. (à paraître). Teaching mathematics in tomorrow's society: A case for an oncoming counterparadigm. *Regular lecture at ICME-12* (Seoul, 8-15 July 2012). http://www.icme12.org/upload/submission/1985_F.pdf (Accessed 28/09/2013).
- Churchhouse, R.F. (Ed.) (1986). *The influence of Computers and Informatics on Mathematics and its Teaching*. ICMI Study Series. Cambridge: Cambridge University Press.
- Drijvers, P. (2011). From 'work-and-walk-by' to 'sherpa-at-work'. *Mathematics Teaching*, 222, 22-26.
- Fuglestad, A.B., Healy, L., Kynigos, C. & Monaghan, J. (2010). Working with Teachers : Context and Culture. In C. Hoyles & J.B. Lagrange (Eds.), *Mathematics Education and Technology – Rethinking the Terrain. The 17th ICMI Study* (pp. 293-310). New York : Springer.
- Goos, M. & Soury-Lavergne, S. (2010). Teachers and Teaching : Theoretical Perspectives and Issues Concerning Classroom Implementation. In C. Hoyles & J.B. Lagrange (Eds.), *Mathematics Education and Technology – Rethinking the Terrain. The 17th ICMI Study* (pp. 311-328). New York: Springer.
- Grugeon, B., Lagrange, J.B., & Jarvis, D. (2010). Teacher Education Courses in Mathematics and Technology : Analyzing Views and Options. In C. Hoyles & J.B. Lagrange (Eds.), *Mathematics Education and Technology – Rethinking the Terrain. The 17th ICMI Study* (pp. 329-345). New York: Springer.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2009) Towards new documentation systems for teachers? *Educational Studies in Mathematics* 71(3), 199-218.
- Gueudet, G., Pepin, B., & Trouche, L. (2012). *From text to 'Lived resources': Mathematics Curriculum Material and Teacher Development*. New York: Springer
- Healy, L. & Lagrange, J.B. (2010). Introduction to Section 3. In C. Hoyles & J.B. Lagrange (Eds.), *Mathematics Education and Technology – Rethinking the Terrain. The 17th ICMI Study* (pp. 287-292). New York : Springer.
- Hoyles, C., Lagrange, J.B., Le Hung Son, & Sinclair, N. (Eds.) (2006). *Proceedings of the Seventeenth Study Conference of the International Commission on Mathematical Instruction*. Hanoi Institute of Education and University Paris 7.

- Hoyles, C., & Lagrange J.B. (Eds.) (2010). *Mathematics Education and Technology – Rethinking the Terrain. The 17th ICMI Study*. New York : Springer.
- Lagrange J.B., Artigue M., Laborde C., Trouche L. (2003). Technology and Mathematics Education : a Multidimensional Study of the Evolution of Research and Innovation, in A.J. Bishop, M.A. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, & F.K.S. Leung (eds). *Second International Handbook of Mathematics Education*, 239-271. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Lagrange, J.B. (Ed.) (2013). *Les Technologies numériques pour l'enseignement. Usages, dispositifs et génèses*. Toulouse: Editions OCTARES.
- Rabardel P. (1995). *L'homme et les outils contemporains*. Paris : A. Colin. English version (2002), accessible at <http://ergoserv.psy.univ-Paris8.fr>
- Rabardel, P., & Pastré, P. (Eds.) (2005). *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement*. Toulouse: Editions OCTARES.
- Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques: une double approche. *Revue canadienne de l'enseignement des mathématiques, des sciences et des Technologies*, 2(4), 505-528.
- Trouche, L. (2005). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 25, 91-138.
- Vandebrouck F. (Ed.) (2013). *Mathematics Classrooms: Students' Activities and Teachers' Practices* (pp. 229-245). The Netherlands: Sense Publishers.