

**L'utilisation de ressources en ligne pour l'enseignement
des mathématiques au lycée : du suivi d'une
expérimentation régionale à un objet de recherche**



Michèle Artigue et Groupe TICE¹, IREM et Équipe DIDIREM, Université Paris 7, France

Résumé

Dans ce texte, nous rendons compte du suivi mené par l'IREM Paris 7 d'une expérimentation de ressources en ligne pour l'enseignement des mathématiques en seconde organisée en France à l'initiative de la région Ile-de-France, en collaboration avec les trois académies de cette région. Nous présentons d'abord le contexte de ce suivi, la méthodologie mise en œuvre, résumons les principaux résultats obtenus dans sa première phase et les questions que ces résultats ont suscitées. Nous précisons ensuite l'évolution des modalités du suivi avant d'ébaucher, en nous appuyant sur l'approche instrumentale de l'intégration des technologies informatiques à l'enseignement des mathématiques, un cadre pour une exploitation en termes de recherche didactique de ce travail. Ceci nous conduit à distinguer dans ce type de situation deux processus de genèse instrumentale concernant d'une part les élèves, d'autre part les enseignants, à nous interroger sur ce qui les distingue des processus de genèse instrumentale jusqu'ici étudiés dans les recherches didactiques ainsi que sur la façon dont ils sont susceptibles d'interagir.

1. Introduction

Comme en témoignent différentes synthèses (Kaput, 1992 ; Noss et Hoyles, 2003 ; Lagrange *et al.*, 2003), la recherche en didactique des mathématiques a jusqu'ici, concernant la conception et l'exploitation des technologies pour l'enseignement des mathématiques, privilégié les logiciels ouverts qu'il s'agisse de produits conçus à des fins éducatives comme les logiciels de géométrie dynamique et les calculatrices, ou de produits professionnels importés dans l'enseignement comme les logiciels de calcul symbolique et les tableurs. Pourtant, parallèlement, dans la filiation des premières tentatives d'enseignement assisté par l'ordinateur (Bruillard, 1997) pour une vision synthétique), se sont développés de nombreux produits plus fermés pour le soutien et l'accompagnement scolaire². Le développement des technologies de l'information et de la communication (TIC dans la suite du texte) a conduit plus récemment à la multiplication des ressources en ligne pour cet accompagnement.

En 2003, en France, la région Île-de-France a pris l'initiative d'un projet visant à proposer aux trois académies que comporte cette région une expérimentation de l'usage de tels outils afin d'en éva-

1 Ont participé aux travaux du groupe TICE de l'IREM sur ce projet, en 2003-2004 et/ou 2004-2005, par ordre alphabétique : Maha Abboud Blanchard, Michèle Artigue, Caroline Bardini, Dalila Behaj, Pablo Carranza, Claire Cazes, Mathilde Eckert, Jean-Michel Gélis, Mariam Haspekian, Daniella Lucas, Didier Missenard, Laurent Souchart ainsi que cinq étudiants : Nesrine Asri, Julien Backouche, Jacques Bunrith Lim, Isabella Oliveira et Mireille Saboya.

2 Ainsi en France, par exemple, les logiciels SMAO, qui couvrent tous les niveaux de la scolarité, sont utilisés dans de très nombreux établissements scolaires (www.chrysis.com).

luer l'impact et l'efficacité en tant que soutien à l'action pédagogique en mathématiques. Le niveau visé était celui de la classe de seconde (la première classe du lycée correspondant aussi, du point de vue de l'âge, à la dernière année d'enseignement obligatoire) et les établissements concernés devaient se situer dans des zones socialement défavorisées dont les élèves disposent de moindres ressources que ceux de milieux plus aisés. Elle a souhaité que ce projet fasse l'objet d'un suivi et d'une évaluation universitaires, complémentaires de ceux menés par les inspections régionales de mathématiques des trois académies. C'est l'Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (IREM) de l'université Paris 7 qui a été chargé de ce suivi.

Dans ce texte, nous présentons d'abord l'organisation de la première phase de ce suivi qui s'est déroulée en 2003-2004 et les principaux résultats qui en sont issus³. Nous poursuivons en précisant les modifications intervenues après cette première phase avant d'ébaucher un cadre pour analyser ce type de travail et en faire un objet de recherche.

2. Présentation du projet

Pour la mise en place du projet, un appel d'offres s'adressant à des fournisseurs de ressources en ligne a été lancé par la Région. Parallèlement, il a été proposé aux établissements situés en ZEP⁴ de participer à cette expérimentation. Six fournisseurs ont répondu à l'appel d'offres et leurs produits ont été présentés lors d'une réunion en début d'année scolaire 2003-2004 aux établissements souhaitant s'engager dans l'opération. Ces derniers ont pu ensuite choisir un ou plusieurs produits, la région s'engageant à financer un certain nombre d'abonnements par établissement dans le cas du choix de produits payants. En revanche, aucun moyen spécifique n'a été accordé aux enseignants s'engageant dans l'expérimentation qui a concerné 41 établissements et plus de 3 000 élèves pour cette première phase.

En fait quatre produits seulement ont été choisis par les établissements, trois produits commerciaux : Paraschool, CNED⁵ et Maxicours et un produit libre : les Pages Interactives Euler développées par l'académie de Versailles, une des trois académies de la région. Le suivi organisé par l'IREM a comporté pour cette première année trois dimensions :

- une analyse des produits concernés ;
- deux questionnaires destinés aux enseignants et aux élèves, en début et fin d'expérimentation ;
- des visites de sites comportant des entretiens organisés respectivement avec le proviseur ou proviseur-adjoint, des enseignants et des élèves impliqués dans l'expérimentation, et l'observation d'une ou deux utilisations représentatives des modes d'utilisation privilégiés par l'établissement.

3 Pour plus de détails, le lecteur pourra se rapporter aux deux rapports associés à cette première phase du suivi accessibles sur le site web de l'IREM Paris 7 : www.ccr.jussieu.fr/iremParis7/.

4 ZEP : Zone d'Education Prioritaire

5 Précisons que Paraschool et le produit du CNED (Centre National d'Enseignement à Distance) utilisaient la même plateforme d'activités.

Il y a eu ainsi 5 visites de sites qui ont permis d'observer des usages des trois produits commerciaux, tandis que les questionnaires ont été respectivement remplis par 45 enseignants et 910 élèves pour le premier, 13 enseignants et 229 élèves pour le second⁶.

Qu'en ressort-il ? C'est ce que nous allons essayer de présenter, de façon synthétique, dans la partie suivante.

3. Les principaux résultats de la première phase du suivi

Nous présentons ces résultats en considérant successivement les trois dimensions distinguées ci-dessus.

3.1. Les questionnaires

Les premiers questionnaires montrent, côté élève, une population mieux équipée et familière de l'usage d'Internet que l'on n'aurait pu a priori le penser (88 %, par exemple, des élèves se disent familiers avec l'informatique, 74 % ont un ordinateur à domicile et 60 % accès à une connexion haut débit, 55 % utilisent Internet presque quotidiennement). C'est aussi une population qui est satisfaite de participer à cette expérimentation, qui en attend en priorité une aide à la compréhension, aux révisions et une amélioration de ses résultats scolaires. Après les premières séances d'utilisation, lorsqu'est donné le premier questionnaire, elle a une appréciation positive sur le produit dont l'accès lui a semblé facile.

Côté enseignant, le premier questionnaire montre une population habituée à l'utilisation professionnelle de logiciels, qui attend de ces produits en priorité une aide pour gérer l'hétérogénéité et les élèves en difficulté, un accroissement de la motivation et de l'autonomie des élèves. Plusieurs enseignants déclarent également chercher, à travers cette expérimentation, une diversification de leurs méthodes d'enseignement. On les sent cependant plus réservés que leurs élèves par rapport aux produits (les entretiens des visites montreront que certains choix ont d'ailleurs été faits par élimination). Ils sont sensibles au risque d'utilisation irréfléchie de la part des élèves et leurs réponses laissent parfois aussi transparaître la crainte de voir ces technologies perçues par l'institution comme un moyen de se passer d'eux et utilisées à moyen terme à cette fin, dans un contexte de réduction du nombre des enseignants.

Les réponses au second questionnaire sont peu nombreuses comparativement et ne concernent que les logiciels Paraschool et du CNED. Elles montrent des élèves globalement satisfaits, mais ayant en moyenne peu utilisé ces ressources en ligne, avec des usages concentrés sur des dispositifs d'enseignement ordinaires (en particulier les séances d'aide individualisée ou de module existant en seconde et fonctionnant avec des effectifs réduits), des avis globalement positifs mais plus différenciés sur les produits après usage. De la part des enseignants, on note deux sous-populations équilibrées entre avis positifs et négatifs. Les points de vue négatifs invoquent en priorité des problèmes techniques récurrents, l'impossibilité pour les élèves en difficulté de travailler de façon autonome et le caractère limité des produits. Les points de vue positifs évoquent, quant à eux, l'in-

6 La passation du second questionnaire a été perturbée par la désorganisation précoce du fonctionnement des lycées au troisième trimestre.

térêt éveillé chez des élèves d'ordinaire peu motivés et l'investissement des élèves dans les séances organisées. Les enseignants ont par ailleurs bien compris que ces produits ne peuvent se substituer à leur action pédagogique mais, même quand ils jugent qu'ils pourraient être utiles, ils disent avoir du mal à concevoir des usages efficaces, à susciter des utilisations hors classe, à articuler ce travail avec les séances ordinaires. La minorité qui a répondu est cependant, à deux exceptions près, prête à se relancer dans l'expérience.

3.2. *L'analyse des produits*

Pour analyser les produits utilisés, nous avons développé une grille multidimensionnelle inspirée de travaux menés dans le domaine des EIAH⁷ (Bastien et Scapin, 2001 ; Hu, Trigano et Crozat, 2001). Cette grille visait à permettre d'évaluer les ressources quant aux trois critères introduits dans (Tricot, 2003) : utilisabilité, utilité et acceptabilité⁸, à travers une analyse conjuguant une dimension ergonomique issue de la recherche sur les EIAH et une dimension didactique.

Cette grille est structurée autour de huit dimensions : les aspects techniques de base, l'interface, la structure et la navigation, la scénarisation didactique, la personnalisation possible (côté enseignant et élève), les documents et activités proposés (forme, contenu, relations), les outils mathématiques spécifiques, les interactions, le suivi des élèves et l'évaluation. Pour chaque dimension, un ensemble de questions structure l'analyse.

Vu les limitations de ce texte, nous ne considérerons ici que deux produits : le produit commercial le plus utilisé : Paraschool et le produit libre : les pages interactives Euler.

Dans le premier cas, les résultats de l'analyse montrent une technologie utilisable mais encore peu évoluée. Elle est caractérisée par :

- une structuration claire et stable au fil du logiciel mais des possibilités de navigation limitées au sein d'une tâche précise ;
- une scénarisation didactique simple en cours, savoir faire et exercices interactifs ;
- une personnalisation limitée côté enseignant : ce dernier peut préparer pour ses élèves des plans de travail mais ces derniers sont non impératifs et limités à un choix non ordonné d'items du menu offert, et une personnalisation faible aussi côté élève ;
- des documents en général corrects mais non exempts d'erreurs, conformes au programme, mais très peu innovants et profitant peu des possibilités technologiques : quelques animations Flash mais pas d'outils de géométrie dynamique ni de calcul symbolique par exemple ;
- des types d'exercices privilégiant fortement les questionnaires à choix multiple (QCM), une caractéristique partiellement induite par l'absence d'analyseur syntaxique des expressions mathématiques et de moteur de calcul ;

7 EIAH : Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain.

8 L'utilisabilité, l'utilité et l'acceptabilité d'un logiciel pour l'apprentissage humain correspondent respectivement aux caractéristiques suivantes : la facilité d'utilisation, le fait que le logiciel permette d'apprendre ce qu'il est censé faire apprendre, sa compatibilité enfin avec les contraintes, les objectifs des apprenants et de l'institution de formation.

- des corrections, commentaires et des aides systématiquement accessibles mais d'une pertinence mathématique et didactique parfois contestables et d'une lisibilité loin d'être idéale ;
- une analyse d'erreurs existante mais très sommaire malgré la domination des QCM permettant de connaître les réponses ;
- un tutorat proposé mais pas d'interaction possible entre élèves ;
- un éventail de tâches limité avec essentiellement des tâches fixes non paramétrées et une progressivité des tâches à améliorer sérieusement ;
- un découpage des tâches complexes en mini-questions rendant difficile la conservation par l'élève d'une vision globale, et un historique des réponses intermédiaires ne permettant pas de remédier efficacement à cette difficulté ;
- une évaluation et un suivi détaillés accessibles à l'enseignant et à l'élève mais des commentaires associés peu informatifs et des orientations proposées, suite à l'exploitation d'un algorithme dit des fourmis⁹, non nécessairement pertinentes.

Il en ressort l'image d'un produit qui ne peut certainement pas se substituer à l'enseignant, et qui, même s'il est utilisable, doit être sérieusement amélioré pour rencontrer les critères d'utilité et d'acceptabilité du système éducatif français.

Le produit libre Euler a des caractéristiques différentes. Même s'il propose une rubrique élève, il se veut d'abord un outil au service de l'enseignant comme le montre nettement la page d'accueil.

académie Versailles
Éducation nationale
Enseignement supérieur
Enseignement technique

Mathématiques en classe avec euler

Pages interactives
Présentation et mode d'emploi
Installation préalable - Questions
Guide d'utilisation pour la classe
Lexique
Ressources disponibles
Séances de travail en accès libre
Espaces de travail

Textes officiels
Collège - Lycée - BTS et CPGE
Recommandations

Echanges
Expérimentation pédagogique
Forum mathématiques
Abonnement à la lettre d'information
Contact

LaTeX
Initiation à LaTeX
Ressources

Actualités
euler vous souhaite une bonne rentrée
Espaces personnels sur euler
Un nouveau service sera mis à disposition sur euler avant la fin du mois de septembre. Il permettra à chaque enseignant de composer ses séances de travail. Les fonctionnalités de ce service seront présentées lors de quatre réunions départementales organisées par les Inspecteurs pédagogiques régionaux de mathématiques. Vous pouvez d'ores et déjà vous inscrire à l'une de ces réunions...
> suite...

Les dernières ressources mises en ligne
Si vous souhaitez être informé régulièrement des mises à jour, vous pouvez vous abonner à la lettre d'information...
Déterminer une équation cartésienne d'un plan défini par un point et un vecteur normal (12/09/05)
Equation cartésienne d'un plan défini par un point et un vecteur normal (12/09/05)
Déterminer l'expression analytique d'une translation (12/09/05)
Déterminer l'expression analytique d'une symétrie centrale (12/09/05)
> suite...

Etablissements
Départements de mathématiques
Clubs et ateliers - Olympiades
Conférences et animations
Le problème du mois...

Enseignants
Points de programme
Thèmes d'étude - Interdisciplinarité
Documents téléchargeables
Mathématiques dans la série TMD
Espaces personnels

Elèves
Lexique - Exercices d'apprentissage
Générateur d'exercices
Exercices ouverts - Aide en ligne
Séances de travail

Liens utiles
Eduscol - Edunet
Sites académiques

Figure 1 – Page d'accueil des pages interactives Euler

9 Cet algorithme, développé à l'INRIA, vise, selon les concepteurs, à optimiser le parcours de l'élève en prenant en compte, pour une tâche donnée, les tâches majoritairement choisies ensuite par les utilisateurs et les taux de réussite correspondants.

Entre autres services, l'enseignant peut y trouver des tâches à proposer à ses élèves organisées sous formes de pages interactives, répertoriées par niveau scolaire, type d'activités et thème. Ce produit intègre de plus un logiciel de calcul formel : Web-Mathematica. La possibilité que cette intégration offre pour l'interprétation et l'évaluation des réponses des élèves permet de réduire la part relative des QCM et d'exploiter les possibilités offertes par la génération aléatoire d'exercices à partir d'un moule donné. Mais, si les tâches proposées sont généralement intéressantes, on voit bien que, dans ce site, l'accent n'est pas mis sur le développement d'une interaction didactique directe avec l'élève médiée par la technologie : les réponses sont évaluées mais faiblement commentées ; il n'y a pas de système de suivi des élèves.

3.3. *Les observations*

Les cinq visites de site qui ont été organisées ont permis, via les entretiens et les 14 observations d'élèves menées, de recueillir de nombreuses données. Pour chaque visite, les données issues des différents entretiens ont fait l'objet d'une synthèse et les observations d'élèves ont été retranscrites sous forme de simulations de séance avant analyse et synthèse. En dépit d'une variabilité certaine d'une observation à l'autre, une vision globale s'en dégage et c'est la suivante :

- des élèves le plus souvent attentifs, voire concentrés sur ce qu'ils font, qui semblent en général apprendre assez vite à se repérer dans les logiciels, qui lisent systématiquement les commentaires et corrections, mais trop vite nous a-t-il semblé pour qu'il s'agisse plus que d'une simple lecture, qui ne répondent pas juste au hasard, qui gèrent leur parcours, qui ne se laissent pas piéger par les bonnes notes assez facilement obtenues et qui tiennent un discours très raisonnable sur les potentialités et limites du travail avec ces produits pendant les entretiens ;
- mais aussi des élèves qui, si l'on ne les y incite pas, ne prennent jamais un brouillon, vont rarement voir le cours et les aides proposées, qui enchaînent souvent très vite les questions et les exercices pendant les séances dès qu'il s'agit de QCM et qui, en général, profitent très peu des possibilités offertes hors classe par l'abonnement ;
- des élèves faibles, enfin, qui parfois se laissent tenter par le « scoring »¹⁰ et, de manière générale, semblent avoir des difficultés sérieuses à tirer parti de l'interaction avec le produit.

3.4 *Les questions suscitées par cette première phase du suivi*

Cette première phase du suivi a suscité dans l'équipe de nombreuses questions et nous les repreneons ci-après telles qu'elles ont été formulées lors du colloque Espaces Numériques de Travail en mai 2005 (Groupe TICE IREM Paris 7, 2005). Elles rejoignent celles de divers chercheurs confrontés à ce type d'environnement d'apprentissage (Cazes, Gueudet, Hersant et Vanderbrouck, 2004, par exemple) et portent sur les aspects suivants.

¹⁰ Le caractère non paramétré des tâches proposées dans cette première phase par les logiciels commerciaux utilisés faisait qu'un élève recommençant une tâche non réussie se voyait proposer la même tâche, seul variant l'ordre des réponses proposées dans les QCM. Ce système permettait aux élèves en échec de réussir assez systématiquement la tâche à la deuxième tentative par simple mémorisation des réponses exactes et d'obtenir de bons scores. Cette stratégie a été baptisée « scoring ».

- Sur les processus cognitifs en jeu dans l'activité mathématique avec ce type de produit, où en particulier il s'agit bien plus souvent de reconnaître la réponse correcte que de la produire, et sur la difficulté à juger des effets cognitifs possibles par simple comparaison avec le fonctionnement dans l'environnement papier/crayon qui obéit à une économie très différente.
- Sur les types d'usage à privilégier : usages dans le cadre des dispositifs d'enseignement ordinaires ou usages hors classe, voire hors établissement, et comment ?
- Sur le degré de liberté à laisser aux élèves dans le choix des activités et dans leur ordre.
- Sur la façon de gérer l'articulation entre le travail dans ces environnements et en environnement papier/crayon, l'organisation d'un système de traces.
- Sur la façon plus généralement de constituer ces outils en composants de l'espace de travail de l'élève en complémentarité avec les outils usuels de cet espace.

C'est sur ces questions que le groupe a essayé de travailler à partir de 2004-2005, dans le cadre d'un système de suivi partiellement modifié, pour prendre en compte l'évolution des demandes des partenaires académiques. Nous précisons ci-après les modifications intervenues.

3.5 L'évolution du suivi

Le rapport élaboré à la fin de la première année de suivi a conduit à une redéfinition du protocole de suivi en concertation avec les partenaires du projet sur la période 2005-2007. D'une part, il a été décidé que, pour mieux cerner les usages et leur évolution au fil du temps, l'IREM centrerait son suivi sur six établissements : un lycée général et technologique et un lycée d'enseignement professionnel dans chaque académie, l'expérimentation étant étendue à partir de 2004-2005 à ce second type d'établissement¹¹. Parallèlement à ce suivi, il a été décidé que les trois membres du groupe IREM enseignant en seconde seraient inclus dans l'expérimentation avec leurs classes, avec l'objectif d'une part de recueillir des données précises sur l'évolution du travail de l'enseignant grâce à un système de cahier de bord, d'autre part de construire et tester des dispositifs spécifiques pour travailler les questions énoncées ci-dessus. Enfin, il a été demandé à l'IREM de mettre en place, pour l'année 2005-2006, un site web pour favoriser la diffusion des résultats du suivi et les échanges avec les enseignants engagés dans l'expérimentation.

L'expérimentation a été aussi ouverte à de nouvelles ressources en ligne, en particulier le produit MathenPoche, réalisé par l'association Sesamath¹². Précisons cependant que MathenPoche, qui a commencé à se développer au niveau collège, n'offre pour l'instant, au niveau seconde, que des tâches relatives au domaine des fonctions.

4. Un cadre pour penser l'analyse de ce type de projet

Nous voudrions, dans ce qui suit, quitter le registre narratif pour interroger les perspectives offertes par ce type de travail pour la recherche didactique. Il est clair que le suivi, élaboré en réponse à une commande institutionnelle, n'a pas été conçu à l'origine comme un projet de recherche

¹¹ Pour des raisons administratives, ce suivi n'a pu commencer qu'en avril 2005.

¹² Pour plus d'informations, nous renvoyons le lecteur au site : <<http://www.sesamath.net>>.

académique. Il conjugue l'observation d'une expérimentation dont l'élaboration est externe et un accompagnement de celle-ci, au départ limité à quelques établissements mais élargi à partir de 2005-2006, du fait du site web associé. Le suivi a nécessité le développement d'outils méthodologiques comme la grille élaborée pour l'analyse des ressources mais il n'a pas été d'emblée problématisé dans un cadre théorique précis. C'est une telle problématisation que nous souhaitons ébaucher dans ce qui suit, en nous appuyant sur l'approche dite instrumentale de l'intégration des TICE à l'enseignement des mathématiques telle qu'initiée par Artigue, Lagrange, Guin et Trouche (Guin et Trouche, 2002) pour une première synthèse). Nous nous y inspirons aussi du travail collectif mené lors du 9^e Symposium REF (Réseau Éducation et Formation) sur les environnements informatisés pour l'éducation et la formation scientifique qui s'est tenu à Montpellier en septembre 2005 et n'est pas encore publié, ainsi que sur la thèse d'Haspekian (Haspekian, 2005) qui, étendant au tableur cette approche instrumentale, a conduit à la retravailler.

L'approche instrumentale utilisée ici est une conjugaison de l'approche instrumentale développée en ergonomie cognitive par Rabardel et Vérillon (Rabardel, 1995) et de l'approche anthropologique développée en didactique des mathématiques par Chevallard (Chevallard, 1991, 2003), cette dernière permettant en particulier de prendre en compte la dimension institutionnelle des processus d'intégration étudiés.

L'ergonomie cognitive met l'accent sur la distinction entre l'objet logiciel, dénommé artefact, et l'instrument qu'il devient pour celui qui en fait usage. Elle souligne la complexité des processus individuels et sociaux de genèse instrumentale qui sous-tendent la transformation de l'artefact en instrument, processus dépendant des contraintes et potentialités créées par l'artefact ainsi que des situations d'utilisation. Elle distingue dans ces genèses deux processus distincts : ceux d'instrumentalisation tournés vers l'artefact et ceux d'instrumentation tournés vers le sujet et se traduisant par le développement de schèmes d'action instrumentée. Cette théorisation souligne aussi l'existence générale de détournements ou catachrèses conduisant à un décalage entre les usages prévus par les concepteurs d'artefacts (fonctions constituantes) et les usages effectifs (fonctions constituées).

L'approche anthropologique met l'accent sur la dimension institutionnelle des processus d'enseignement et d'apprentissage, les systèmes de normes et valeurs institutionnelles qui en conditionnent la légitimité. Elle nous conduit ainsi à situer les genèses instrumentales individuelles au sein de genèses institutionnelles, et à interroger les artefacts introduits dans le système éducatif quant à leur compatibilité avec les environnements usuels de l'enseignement et les systèmes d'artefacts associés. Cette perspective a conduit Haspekian à introduire une notion de distance instrumentale qui est explorée à partir de deux types de critères servant les uns à caractériser la distance créée par la transposition informatique (Balacheff, 1991), les autres à caractériser la distance aux valeurs institutionnelles dominantes. Précisons que, comme souligné par Haspekian et Artigue (2005), les éléments constitutifs de cette distance ne jouent pas nécessairement contre l'intégration même si c'est souvent le cas et qu'une certaine distance est nécessaire pour qu'une technologie puisse avoir un rôle producteur.

Ce cadre théorique hybride a été exploité jusqu'ici dans des contextes différents de celui de l'utilisation de ressources en ligne mais il nous semble tout à fait pertinent pour problématiser l'utilisation

de telles ressources et contribuer à l'identification et à l'intelligibilité des phénomènes didactiques associés. Dans ce qui suit, nous voudrions faire sentir ce que pourrait apporter une telle approche.

Cette approche nous invite à considérer les produits expérimentés comme des artefacts conçus en visant certains usages et certains types d'utilisateurs et à distinguer ces artefacts des instruments qu'ils sont susceptibles de devenir pour des utilisateurs, initialement prévus ou non, dans des contextes initialement prévus ou non. Il est, de ce point de vue intéressant de pointer que certains de ces produits, même s'ils essaient de pénétrer le marché scolaire, ont au départ été conçus pour une utilisation parascolaire, comme le montre le discours promotionnel qui les accompagne. C'est par exemple, nous semble-t-il, le cas de Paraschool, le plus utilisé dans cette expérimentation. Les attentes initiales des élèves et enseignants mettant l'accent sur l'aide au travail autonome, sur son individualisation, sur l'aide aux révisions, nous semblent en phase avec ce discours. Le public cible est ainsi d'abord l'élève et l'utilisation visée d'abord une utilisation non encadrée. Dans ce cas, la tendance observée dans l'expérimentation d'une utilisation très majoritaire dans le cadre des dispositifs d'enseignement ordinaires peut être interprétée comme un détournement d'usage. Que nous apprend ce détournement d'usage, même si l'on prend en compte le fait que le dispositif conçu le favorise ? C'est une question que l'approche instrumentale conduit naturellement à se poser.

Elle conduit aussi dans ce cas précis à dédoubler l'analyse instrumentale, en considérant les deux types d'acteurs effectifs que sont les enseignants et les élèves, et le double processus d'instrumentation qui en résulte, comme outil d'apprentissage pour les élèves, comme outil didactique pour l'enseignant. Ce dédoublement a été jusqu'ici peu opéré dans l'approche instrumentale. Il conduit donc à distinguer, dans leurs dimensions individuelles et institutionnelles, deux processus distincts mais non indépendants de genèses instrumentales, à l'œuvre chez les élèves et chez les enseignants, et à analyser aussi de ce double point de vue les distances instrumentales. Comme le souligne l'anthropologie didactique, les positions institutionnelles des deux types d'acteurs ne sauraient en effet être confondues, même s'ils sont tenus de partager certaines valeurs institutionnelles, et la notion de topogénèse a été introduite pour travailler ces différences de position en ce qui concerne les relations au savoir mathématique : savoir à enseigner pour l'enseignant, savoir à apprendre pour l'élève. Dans le contexte précis étudié ici, cette différence de position concerne non pas directement le savoir mathématique mais des outils qui vont assurer une médiation dans les relations avec ce savoir et auront une fonction différente pour l'élève et l'enseignant.

Si l'on considère les recherches déjà menées sur les genèses instrumentales en didactique des mathématiques, que le langage utilisé soit celui des schèmes et des invariants opératoires de la psychologie cognitive ou celui des techniques et technologies de l'anthropologie didactique, l'attention instrumentale s'est centrée sur des objets mathématiques. Ces objets n'apparaissent plus au premier plan quand on cherche à interpréter en termes de genèse instrumentale les observations faites. Ils semblent masqués par d'autres apprentissages instrumentaux de type tactique ou relatifs au contrat didactique. Ceci tendrait à confirmer qu'est à l'œuvre comme en fait l'hypothèse Souchard (Souchard, 2006), même s'il reste du domaine du non dit, un dédoublement institutionnel et que ce qui est d'abord visible dans les genèses instrumentales côté élève, c'est la façon dont ces derniers s'y adaptent.

Versant enseignant, la genèse instrumentale exprime la transformation de l'artefact en un instrument du travail professionnel de ce dernier. Mais, de ce point de vue, au moins pour les produits considérés dans l'expérimentation, les fonctions constituantes restent floues. La genèse expérimentale suppose une réorganisation des praxéologies didactiques pour le moins mais ce travail est à l'entière charge de l'enseignant. À quel(s) moment(s) de l'étude va-t-il par exemple choisir d'utiliser cet outil, comment va-t-il organiser et guider le travail des élèves en classe ou hors classe, quelles règles va-t-il instaurer par rapport aux usages ? Quel statut institutionnel va-t-il donner à ces usages ? Dans l'expérimentation, tout ceci est laissé au choix des enseignants sans qu'ils disposent de repères pour anticiper les effets possibles de leurs décisions.

Et se pose, non indépendamment, la question des praxéologies mathématiques implémentées dans l'artefact et de leur relation avec celles portées par l'institution scolaire, à leurs décalages éventuels et à leur gestion.

Si l'on compare avec les logiciels ouverts que les systèmes éducatifs ont d'abord essayé d'intégrer, les logiciels expérimentés ici sont plus rassurants pour les enseignants. Ils obéissent à des modèles pédagogiques transmissifs traditionnels, les exercices proposés sont, dans leur esprit sinon dans leur forme, proches des exercices d'entraînement usuels, les parties de cours essaient de coller aux contenus institutionnels. Ceci influe sans doute sur leur acceptabilité, les genèses instrumentales associées et les usages qui en découlent. La situation est-elle sensiblement différente si l'on s'intéresse à des produits d'abord conçus pour les enseignants sous le contrôle de l'institution scolaire comme Euler ou à des produits comme Paraschool initialement conçus pour les élèves et hors contrôle de l'institution scolaire ? Comment expliquer les différences d'accueil et d'usage qui se dessinent entre lycées généraux et professionnels ? Le dédoublement de l'analyse, la notion de distance instrumentale permettent-ils de mieux comprendre à la fois similarités et différences observées, côté élève comme côté enseignant ? Il s'agit là de questions ouvertes.

Les réactions des élèves lors des entretiens montrent bien, par exemple, le caractère dual des distances repérées. Ils s'accordent par exemple sur le fait que le langage utilisé dans Paraschool présente une distance certaine avec celui de leurs enseignants, dans son lexique et son organisation. Certains y voient un enrichissement, du fait de la rencontre avec d'autres points de vue, d'autres modes d'expression. D'autres en revanche, perçoivent cette différence comme une source de perturbation, un obstacle à l'efficacité de l'aide qu'ils attendent. Ce sont pourtant souvent ceux que les enseignants voudraient en priorité voir bénéficier de l'expérimentation.

Nous arrêtons ici cette ébauche, espérant avoir fait sentir au lecteur la complexité des problèmes qui se posent et l'intérêt pour les didacticiens de s'y attaquer sérieusement, compte-tenu d'une évolution technologique qui leur échappe largement. Nous espérons aussi avoir fait sentir que l'approche instrumentale, convenablement adaptée, peut se révéler pertinente dans ce nouveau contexte. Soulignons pour terminer que l'ébauche que nous venons d'esquisser entre en résonance avec divers travaux présentés dans le groupe de travail à EMF 2006, ceux concernant les tutoriels et ressources en ligne bien sûr mais aussi ceux d'Assude sur les niveaux d'intégration technologique et ceux de Soury-Lavergne et Laborde sur la formation des enseignants à la géométrie dynamique.

Références :

- Artigue, M. (2002). Learning Mathematics in a CAS Environment : The Genesis of a Reflection about Instrumentation and the Dialectics between Technical and Conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7(3). 245-274.
- Bastien, C. et Scapin, D. (1996). *Critères ergonomiques pour l'évaluation des interfaces homme-machine*. Rapport de recherche. INRIA.
- Bruillard, E. (1997). *Les Machines à Enseigner*. Paris : Hermès.
- Cazes, C., Gueudet, G., Hersant, M. et Vanderbrouck, F. (2005). Problem solving and web resources at tertiary level. *Actes du Colloque CERME 4*. San Feliu de Guixols, Espagne, février 2005.
- 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. (2003). Organiser l'étude. 3. Écologie et régulation. In, J.L. Dorier et al. (dir.), *Actes de la XI^e École d'été de Didactique des Mathématiques*. 41-56. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Guin, D. et Trouche, L. (2002). *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Groupe TICE IREM Paris 7 (2005). Suivi d'une expérimentation de ressources en ligne : le projet Ile de France. Communication au Colloque *Espaces Numériques de Travail et Enseignement des Mathématiques*. Cergy, mai 2005. <http://www.univ-irem.fr/commissions/ci3m>
- Haspekian, M. (2005). *Intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des mathématiques : étude du cas des tableurs*. Thèse de doctorat. Université Paris 7.
- Haspekian, M. et Artigue, M. (2005). *L'intégration de technologies professionnelles à l'enseignement dans une perspective instrumentale : le cas des tableurs*. Contribution au Symposium REF Environnements informatisés pour l'éducation et la formation scientifique et technique. Septembre, Montpellier.
- Hu, O., Trigano, P. et Crozat, S. (2001). Une aide à l'évaluation de logiciels multimédias de formation. In, E. Delozanne, P. Jacoboni (dir.), *Interaction Homme Machine pour la Formation et l'Apprentissage Humain*. Sciences et Techniques Éducatives. Vol. 8 (n°3-4).
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Tricot, A. (2003). *Utilité, Utilisabilité, Acceptabilité*. Communication au Colloque EIAH. Strasbourg.

Pour joindre l'autrice

Michèle Artigue
Équipe DIDIREM et IREM, Université Paris 7,
Case 7018, 2 place Jussieu, 75251 Paris cedex 05, France
artigue@math.jussieu.fr