

**DOCUMENTS ET TRAVAUX DE RECHERCHE EN ÉDUCATION**

***Enseignement des mathématiques et TICE***

**Étude sur la littérature de recherche francophone  
2002-2008**

Hussein SABRA  
Sous la direction de Luc TROUCHE

**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE**

© INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE, Lyon, 2009

ISBN : 978-2-7342-1161-7

Réf. : BR 064

*chaque époque découvre un aspect de la condition humaine,  
à chaque époque l'homme se choisit en face d'autrui,  
de l'amour, de la mort, du monde*  
*Jean Paul Sartre*



## TABLE DE MATIÈRES

PRÉFACE.....	7
INTRODUCTION.....	9
<b>PARTIE I : LITTÉRATURE DE RECHERCHES FRANCOPHONES SUR L'INTÉGRATION DES CALCULATRICES DANS L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES 2002-2008.....</b>	<b>11</b>
1. INTRODUCTION.....	13
2. MÉTHODOLOGIE.....	15
2.1 Introduction.....	15
2.2 Méthode utilisée.....	15
2.3 La liste des références.....	15
2.4 La sélection de 10 publications pertinentes dans la liste des références.....	17
2.5 La conception d'un modèle de fiche résumé et d'un modèle de fiche analyse.....	18
2.6 Les modèles de fiche résumé et de fiche analyse retenus.....	20
3. LISTE DES RÉFÉRENCES 2002-2008.....	22
4. FICHES RÉSUMÉ ET ANALYSE DES 10 RÉFÉRENCES RETENUES.....	24
5. CONCLUSION DE LA PARTIE I.....	56
<b>PARTIE II : INTÉGRATION DES TICE DANS LES APPRENTISSAGES MATHÉMATIQUES : QUELLE AUTONOMIE DES ÉLÈVES ?.....</b>	<b>60</b>
1. POSITION DU PROBLÈME ET CADRE DE L'ÉTUDE.....	62
1.1 Introduction.....	62
1.2 L'autonomie et son rapport avec le système didactique.....	62
2. MÉTHODOLOGIE.....	66
2.1 La coupe du critère technologique : les calculatrices.....	66
2.2 La coupe de la revue Repères-IREM.....	67
2.3 Liste des articles retenus.....	68
2.4 La conception des fiches d'analyse.....	69
3. FICHES D'ANALYSE DES 10 ARTICLES RETENUS.....	72
4. CONCLUSION DE LA PARTIE II.....	94
<b>PARTIE III : LA FACILITÉ D'UTILISATION DES TICE PAR LES ENSEIGNANTS.....</b>	<b>98</b>
1. INTRODUCTION.....	100
2. LES ENSEIGNANTS FACE AUX OUTILS TECHNOLOGIQUES.....	102
2.1 La facilité d'utilisation du point de vue de l'ergonomie.....	102
2.2 Facilité d'utilisation et processus de construction des instruments.....	103
2.3 L'aspect ergonomique : utilité, utilisabilité et acceptabilité.....	104
2.4 Facilité d'utilisation et dimensions d'évaluation ergonomique.....	105
2.5 Le travail en groupe d'enseignants dans la conception des ressources.....	106
3. MÉTHODOLOGIE.....	110
3.1 La sélection des articles.....	110
3.2 L'analyse des articles retenus.....	115
4. CONCLUSIONS DE LA PARTIE III.....	120
<b>PARTIE IV : IMPACT DE L'INTÉGRATION DE LA TECHNOLOGIE SUR LES RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE.....</b>	<b>122</b>
1. RÉSULTATS D'APPRENTISSAGE SOUS L'INTÉGRATION DES TICE EN MATHÉMATIQUES.....	124
1.1 TICE et processus d'apprentissage.....	124
1.2 Résultats des processus d'apprentissage.....	124
1.3 Evaluation des résultats de l'apprentissage avec la technologie.....	125

2.	MÉTHODOLOGIE .....	126
2.1	Sélection des articles.....	126
2.2	Analyse du contenu : quels résultats des processus d'apprentissage ?.....	127
2.3	Evaluation des résultats des apprentissages avec la technologie.....	129
3.	CONCLUSION DE LA PARTIE IV .....	130
<b>PARTIE V : APPORTS ET INTÉRÊT DES LOGICIELS DE CALCUL FORMEL AU LYCÉE. ....</b>		<b>132</b>
1.	INTRODUCTION .....	134
2.	CADRE DE L'ÉTUDE .....	136
2.1	Le calcul formel, définitions.....	136
2.2	Le calcul formel dans les institutions scolaires .....	136
2.3	Le calcul formel et les TICE.....	137
3.	MÉTHODOLOGIE ET MISE EN ŒUVRE .....	138
3.1	La sélection des articles.....	138
3.2	L'analyse des articles sélectionnés .....	140
4.	CONCLUSION DE LA PARTIE V .....	144
CONCLUSION GÉNÉRALE.....		146
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE .....		148

# Préface

## Une synthèse et une mise en perspective(s) très utiles

Luc Trouche, directeur EducTice (INRP), juillet 2009

Voilà une synthèse bienvenue. On a trop souvent l'impression que les recherches sur les technologies travaillent sans cesse les mêmes questions (quelle plus value pour les apprentissages, quel appui pour les professeurs, quelle évolution nécessaire des dispositifs d'étude...), sans s'appuyer suffisamment sur les résultats antérieurs : il est donc bon de prendre un peu de recul pour tenter de dégager, sur une période bien choisie, l'évolution des problématiques et des enjeux.

C'est ce que Hussein Sabra nous propose ici. J'ai eu le plaisir d'accompagner ce travail, qu'il a développé pendant son année de master 2 et sa première année de thèse. Je voudrais ici rendre un hommage appuyé à sa curiosité, son exigence intellectuelle et sa persévérance : il en a fallu, pour s'approprier un faisceau de questions, parcourir des centaines d'articles, trier, synthétiser, distinguer des invariants et des grandes tendances. On imagine la quantité de travail nécessaire, à conduire en même temps que les études universitaires... et que des vacances à l'université (dans l'attente d'une bourse de thèse).

Cette étude a été financée par Texas Instruments, qui a proposé les questions initiales, organisées en plusieurs étapes, et a suggéré un ensemble de pistes et d'outils pour les explorer. Hussein Sabra a ensuite pu développer librement ses recherches. Merci donc à Raffaella Fiz et Hubert Colombat, de Texas Instruments pour cette aide et cette confiance.

Revenons à la synthèse qui nous est proposée ici. Elle porte sur la période 2002-2008. Comme il faut un certain temps entre l'écriture d'un article et sa publication, on peut estimer que le créneau choisi concerne les recherches menées dans le contexte du début des années 2000. Ce choix est justifié par l'hypothèse, qui semble bien validée par cette étude, qu'il s'agit d'une période charnière :

- charnière du point de vue des technologies étudiées : on passe ainsi d'une période *bipolaire* (calculatrices mobiles d'un côté, logiciels implémentés sur ordinateur fixe de l'autre) à une période où l'on étudie *un* ensemble de technologies hybrides, implémentables dans différents types de coquille, portables ou fixes : des outils nomades ;
- charnière du point de vue des thématiques des recherches : on passe ainsi de thématiques dominées par les *situations de mise en œuvre* de telle ou telle technologie, à des thématiques dominées par les *ressources* (ressources en ligne, notions de ressources *génériques*, de ressources *de qualité*, idées de mutualisation et de travail collaboratif).

Cette synthèse porte sur des articles francophones. Elle ne considère pas, bien sûr, cet ensemble comme isolé du monde : la recherche ne connaît pas de frontières. Cette synthèse s'appuie donc aussi sur des méthodologies et des résultats issus d'autres communautés linguistiques, essentiellement anglaises. Mais il y a certainement un intérêt scientifique à cette restriction linguistique française : la communauté francophone, qui s'intéresse à l'intégration des technologies pour l'enseignement des mathématiques, est marquée par un ensemble de références plus ou moins communes, liées à la didactique des mathématiques et à ses théories fondatrices (théorie des situations de Guy Brousseau, théorie anthropologique du didactique d'Yves Chevallard et théorie des champs conceptuels de Gérard Vergnaud)<sup>1</sup>. Elle a aussi été le lieu de l'émergence d'une approche spécifique, l'approche instrumentale<sup>2</sup>, qui est entrée rapidement en résonance avec d'autres courants de recherche au niveau international, précisément dans la période qui a été choisie pour cette synthèse, qui en porte naturellement la trace. Les colloques EMF (Espace Mathématique Francophone), qui se réunissent

---

<sup>1</sup> Pour une mise en perspective, voir Artigue M., Gras R., Laborde C. et Tavnignit P. (dir.) (1994). *Vingt ans de didactique des mathématiques en France*, La Pensée sauvage.

<sup>2</sup> Voir en particulier, sur ce point, Artigue M. (2002). Learning Mathematics in a CAS Environment : The Genesis of a Reflection about Instrumentation and the Dialectics between Technical and Conceptual Work, *IJCMML* 7(3), 245-274, <http://www.springerlink.com/content/I37tw62107077507/>

tous les trois ans (le dernier à Dakar en avril 2009) expriment bien ces éléments de communauté culturelle.

Cette synthèse est une revue d'articles francophones. Elle s'inspire, dans sa méthode, d'autres revues de recherches, en particulier celle conduites par un ensemble d'équipes de recherche françaises en 2000, qui concernait aussi l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques, mais au niveau international<sup>3</sup>. Cette revue s'appuyait sur une étude statistique conduite à partir de données extraites des 800 articles répertoriés. Dans la présente étude, le nombre d'article pris en compte est plus réduit. Hussein Sabra procède à partir de coupes, raisonnées, dans un ensemble de corpus bien délimités. Il n'y a donc pas d'études statistiques, mais un ensemble d'analyses croisées « à la main », sans appareillage spécifique.

C'est une méta-recherche, qui s'intéresse à ce que des acteurs de l'intégration des technologies dans l'enseignement disent et écrivent. Ces acteurs sont divers : enseignants, chercheurs, formateurs, inspecteurs. Ce qu'ils écrivent est marqué évidemment par leur position dans l'institution. Au-delà de la variété de ces points de vue, apparaissent cependant des éléments communs : la conscience de la *complexité* des processus d'appropriation des technologies, du *temps nécessaire*, de la *contribution nécessaire des différents acteurs* (principalement élèves et enseignants), pas seulement à la mise en œuvre des technologies, par seulement à la conception de l'enseignement, mais aussi au développement des technologies elles-mêmes.

Le travail de Hussein Sabra a pu aussi prendre appui sur les acquis de l'équipe EducTice<sup>4</sup>, plus particulièrement du groupe EducMath<sup>5</sup> de l'INRP, dans lequel il a été en stage. Cette équipe s'intéresse aux enjeux des ressources pour l'enseignement des sciences dans des environnements informatisés, avec une approche où la conception des environnements et des ressources n'est jamais donnée une fois pour toutes : elle se *poursuit*, se développe *à travers les usages*.

Les perspectives dégagées par Hussein Sabra confortent bien cette approche et ouvrent de nouvelles questions, en particulier autour de la documentation des enseignants<sup>6</sup>, des genèses professionnelles, de leurs aspects, entrelacés, individuels et collectifs. Vastes questions, pour l'étude desquelles le temps d'une thèse<sup>7</sup> ne sera pas de trop : il s'agit dès lors de concevoir des méthodologies permettant le suivi du travail des enseignants, en classe et hors classe, de comprendre les ressorts de la co-construction de systèmes d'activité et de systèmes de ressources dans les environnements technologiques variés où se développe l'enseignement des mathématiques. Nouveau challenge qui permettra sans doute d'enrichir le corpus des recherches francophones qu'Hussein Sabra a exploré à travers cette synthèse !

Luc Trouche

P.-S. : Merci à Maryse Noguès pour sa relecture attentive du document.

---

<sup>3</sup> Cette recherche, conduite par Michèle Artigue, a été menée dans le cadre du CNCRE (Conseil National de Coordination de la Recherche en Éducation). Pour une synthèse, voir : 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, K.S.F. Leung (eds) *Second international handbook of mathematics education, Part 1* (pp. 237-269), Kluwer Academic Publishers.

<sup>4</sup> <http://eductice.inrp.fr>

<sup>5</sup> <http://educmath.inrp.fr>

<sup>6</sup> Voir sur ce sujet Gueudet G., Trouche L. (2008). Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. Le cas des mathématiques. *Éducation et didactique*, 2(3), 7-33.

<sup>7</sup> Thèse engagée en septembre 2008, dans le cadre du laboratoire LEPS de Lyon 1, sous ma direction.



## Introduction

Les travaux de recherche sur l'intégration de la technologie dans l'enseignement des mathématiques ont une longue histoire. Ils ont suivi l'évolution technologique, des « machines à calculer de bureau » évoquées par les programmes scolaires de 1971, aux calculatrices complexes permettant la combinaison dynamique de plusieurs applications (Aldon *et al.* 2008); des logiciels dont la manipulation passe par un langage de programmation aux logiciels basés sur la manipulation directe, comme les logiciels de géométrie dynamique. La problématique de ces travaux a aussi évolué, d'un postulat positif à un questionnement des conditions d'intégration de ces outils (Trouche 1994).

L'étude que nous présentons ici, réalisée dans le cadre d'une convention avec Texas Instruments, questionne cette histoire, dans l'espace francophone, et pour une période délimitée. Concernant les calculatrices, deux travaux ont sans doute marqué une étape importante dans le développement des recherches en France :

- les actes du colloque de La Grande-Motte sur les calculatrices symboliques et géométriques (Guin 1999) ;
- un ouvrage proposant de nouvelles approches théoriques pour analyser les processus d'intégration des calculatrices (Guin et Trouche 2002).

Des travaux de synthèse, basés sur un examen de littérature de recherche, sur l'intégration des technologies dans l'enseignement des mathématiques ont déjà été réalisés :

- l'étude de Burril (2002) concernant l'usage des calculatrices aux États-Unis ;
- une revue des articles de recherche, au niveau international concernant plus largement l'usage des TIC<sup>8</sup> dans l'enseignement des mathématiques (Collectif 2000, Lagrange *et al.* 2003).

Pour cette nouvelle étude, il nous a semblé pertinent de prendre comme point de départ 2002, date de la parution du dernier ouvrage de synthèse évoqué ci-dessus, avec l'hypothèse que cette date marquait une étape : fin d'une période focalisée sur les calculatrices symboliques, début d'une nouvelle période où les travaux sont plus diversifiés, et questionnent les notions de réseau, de travail collaboratif, d'outils nomades, de conception de ressources ou d'artefacts.

Dans la première partie, nous avons interrogé la littérature de recherche sur les calculatrices dont l'usage s'est répandu dans les classes, modifiant sensiblement les conditions de l'enseignement et de l'apprentissage des mathématiques. Cette étude préliminaire a mis en évidence un ensemble de questions, dont certaines ont été abordées dans les parties suivantes de ce travail dans un cadre plus large, sollicitant un ensemble de technologies.

Dans la deuxième partie, nous avons interrogé les recherches sur le développement de l'autonomie dans les apprentissages, dans des environnements TICE. Cette question découlait de la première partie, dans la mesure où l'autonomie des élèves avec calculatrice y était largement évoquée, mais sans être elle un objet d'étude en soi. Nous avons donc précisé, par rapport à la première partie, le questionnement, mais en élargissant les environnements technologiques considérés.

Comme l'autonomie des élèves, la facilité – ou difficulté d'appropriation de la technologie par les enseignants est souvent évoquée, mais rarement étudiée. On dit souvent que l'appropriation personnelle des technologies est aisée pour les professeurs de mathématiques, mais que l'intégration dans la classe pose des problèmes complexes, expliquant les

---

<sup>8</sup> Technologie de l'Information et de la Communication

« résistances » professionnelles à cette intégration. Que dit sur ce point la littérature de recherche ? C'est ce que nous examinerons dans la troisième partie.

Dans la quatrième partie, nous aborderons une question essentielle : quel est l'impact des TIC sur les apprentissages des élèves ? Cette question est souvent traitée sous l'angle de la motivation des élèves pour apprendre, mais que dire des apprentissages eux-mêmes ?

Après un focus sur un artefact particulier (les calculatrices), puis sur les professeurs et sur les élèves, nous terminons cette revue par la considération d'un domaine mathématique particulier : le calcul formel. Ce domaine a joué un rôle particulier dans les recherches, de plusieurs points de vue :

- l'intégration de logiciels de calcul formel sur des calculatrices (dites symboliques) a permis la convergence des recherches sur l'enseignement des mathématiques dans des environnements « ordinateur fixe » et dans des environnements « calculatrice », annonçant les recherches à venir sur tous les dispositifs nomades ;
- cette intégration a aussi suscité le développement de nouvelles approches théoriques (Guin et Trouche 2002) permettant l'analyse des phénomènes liés à cette complexité ajoutée.

La recherche francophone sur l'enseignement des mathématiques s'appuie sur un réseau très riche d'institutions (IREM, INRP...) et de publications dont le large éventail couvre un espace qui va de revues professionnelles (le bulletin vert de l'APMEP) à des revues « purement » recherche (Recherches en Didactique des Mathématiques par exemple), avec de nombreuses revues intermédiaires. Suivant les objectifs de cette étude, nous avons exploré telle ou telle partie de ce répertoire, en donnant à l'expression « revue de recherches » un sens variable, que l'on tentera de préciser à chaque étape.

Une bibliographie générale de toutes les références utilisées se trouve à la fin du document.

**Partie I : Littérature de recherches francophones sur l'intégration  
des calculatrices dans l'enseignement des mathématiques  
2002-2008.**

*La quête scientifique a cela de remarquable  
qu'elle pousse sans cesse l'homme à se dépasser*  
*Blaise Pascal*





## 1. Introduction

Après plus de 30 ans de recherches sur les conditions et les effets de l'intégration des TICE (Technologie de l'Information et de Communication pour l'Enseignement), cette première partie a pour objectif d'interroger les travaux francophones sur l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques dans le domaine plus particulier des calculatrices, entre 2002 et 2008, de plusieurs points de vue :

- repérer les différentes approches didactiques ;
- repérer ce qui est dit des processus d'intégration des calculatrices par les enseignants et les élèves, de point de vue de leurs besoins et de la satisfaction de ces besoins ;
- repérer ce qui est dit de l'influence de cette technologie sur les situations d'enseignement et d'apprentissage ;
- analyser l'évolution des situations mathématiques, des programmes et des institutions éducatives dont témoignent ces travaux.

L'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques suppose/suscite sans doute des modifications profondes du système didactique. En outre, ces environnements technologiques sont en évolution rapide. D'où l'importance et la richesse des recherches en didactique dans ce domaine, qui sont au cœur des travaux de plusieurs équipes en France (DIDIREM à Paris 7, EducTice à l'INRP, MeTAH à Grenoble 1...). Nous nous sommes appuyés sur cette richesse de la didactique en France pour répondre à la commande de Texas Instruments : repérer l'ensemble des publications, concernant les calculatrices, sur la période considérée, puis sélectionner et analyser plus précisément 10 d'entre elles.



## 2. Méthodologie

### 2.1 Introduction

Tout d'abord, il s'agit de répondre à une question essentielle pour notre travail : qu'est-ce qu'une publication qui « parle de l'intégration des calculatrices dans l'enseignement des mathématiques ? ». Nous retiendrons : toute publication concernant les situations d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques d'un point de vue interne (élèves, enseignants, savoir et institution scolaire) ou externe (influence de la société), et ayant comme objet d'étude principal ou secondaire les calculatrices. Dans le cadre de notre étude, nous ne retiendrons que les publications qui se situent au niveau du lycée (du 10<sup>e</sup> au 12<sup>e</sup> grade).

Ainsi, nous n'avons pas conservé les publications qui étudient le rôle des calculatrices dans différents domaines : économie, commerce et autres. Par contre, nous avons retenu des publications qui ont pour objet d'étude les environnements informatisés d'apprentissage et qui donnent des exemples sur les calculatrices (objet d'étude secondaire).

### 2.2 Méthode utilisée

Pour réaliser ce travail, nous avons suivi une démarche qui repose sur la construction conjointe de plusieurs types de documents :

- un document qui contient les références des publications repérées dans la période choisie (§ 3) ;
- un document de synthèse répertoriant ces références sur une feuille de calcul, permettant leur tri suivant des paramètres qui se sont dégagés au cours de notre étude ;
- une fiche « résumé » et une fiche « analyse » pour les 10 publications les plus « représentatives » (suivant des critères qui seront précisés) de la liste des références (Tableau 1) ;
- le présent document qui décrit l'évolution du travail et la méthodologie suivie (§ 2).

Un travail similaire de repérage de publications de recherche et de sélection de publications représentatives pour une analyse détaillée a déjà été fait (Artigue 2000 ; Lagrange *et al.* 2003), et réalisé dans le cadre du Comité National de Coordination de la Recherche en Éducation (CNCRE). Ce travail s'intéressait plus généralement à l'intégration des technologies dans l'enseignement des mathématiques. Nous nous sommes inspirés de certaines de ses méthodes pour concevoir notre travail.

### 2.3 La liste des références

Il s'agissait de repérer les publications francophones sur les calculatrices entre 2002 et 2008. Nous avons pour cela suivi plusieurs pistes.

#### 2.3.1 Interrogation d'experts

Nous avons interrogé des acteurs connus de la recherche dans ce domaine : Gilles Aldon, Benjamin Clerc, Paul Drijvers, Sébastien Hache, Gérard Kuntz, Sophie Soury-Lavergne et Maryse Noguès. Nous avons ainsi obtenu les articles (Drijvers et VandeGiessen 2004) et (Noguès 2007), deux thèses soutenues à Grenoble (Le Thai Bao 2007 ; Nguyen 2005) ainsi que des articles de la revue en ligne MathémaTICE (<http://revue.sesamath.net/>) et le cédérom

36 élèves, 36 calculatrices de l'IREM de Lyon. De plus, la consultation de la bibliographie de ces articles nous a offert une nouvelle source pour enrichir cette liste de références.

### 2.3.2 Interrogation de moteurs de recherche et de bases de données

L'utilisation de moteurs de recherche (Google par exemple) offre des possibilités qui ne peuvent pas être exploitées sans une réflexion préalable : un ou plusieurs mots clés correspondent à un très grand nombre de pages web. La plupart de ces résultats ne sont pas toujours conformes à ce qui est visé, et, de toute façon, il n'est pas possible, faute de temps, de les consulter d'une façon exhaustive. Il faut donc soigneusement choisir les indicateurs qui vont orienter la recherche (des noms des chercheurs qui travaillent sur les TICE, des terminologies spécifiques qui se rapportent au TICE, ...). Voici deux exemples de ce que nous avons trouvé sur Google :

- les mots-clés « calculatrice et orchestration », renvoient à l'adresse <http://subs.emis.de/journals/ZDM/zdm033r2.pdf> qui nous donne accès à la référence (Guin et Trouche 2002) ;
- les mots clés « apprentissage et calculatrice », renvoient à la référence (Verdier 2002).

Nous avons par ailleurs interrogé une base de données bibliographique sur l'enseignement des mathématiques : Publimath. Il y a plusieurs façons de chercher soit par nom d'auteur, soit par mot-clé, soit par revue. Les résultats sont rangés par ordre alphabétique. Voici des exemples de références trouvées :

- avec le mot-clé « calculatrice », plusieurs fiches sont renvoyées dont par exemple (Hivon 2006) ;
- en utilisant comme nom d'auteur « Jean-Baptiste Lagrange », on obtient (Lagrange et Heilbronner 2003).

Cette recherche a ses limites : décider de l'intérêt d'une publication pour notre recherche suppose la consultation du texte intégral ce qui n'est pas possible sur Publimath.

D'autres bases de données bibliographiques ont été interrogées, à partir de la bibliothèque de l'INRP :

La base Education Resources Information Center (ERIC) n'est pas spécifique aux mathématiques, elle permet des recherches suivant des critères différents : titre, auteur, mot-clé, description. Les résultats sont donnés par référence de la publication, résumé, mots clés et parfois le texte intégral. Nous n'avons pas pu trouver ainsi des résultats conformes à nos attentes, surtout du point de vue de la langue : toutes les publications ainsi obtenues sont en anglais.

### 2.3.3 Recherches exhaustives dans un ensemble de revues ou de sites (période 2002-2008)

Nous avons fait le choix des ensembles suivants :

- revues de recherche académique : Recherches en Didactique des Mathématiques ;
- revues de recherche et de compte rendu d'expérience, sous format papier ou en ligne : Repères-IREM, Petit x, Plot, MathémaTICE, Dossiers de l'Ingénierie Éducative ;
- revues professionnelles : Bulletin APMEP (Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public) ;
- les brochures ou cédéroms publiés par les IREM ou le CNDP : SFoDEM, 36 élèves 36 calculatrices ;
- les sites Internet de l'APMEP, des IREM (par exemple le Wiki du groupe Mathenpoche de l'IREM de La Réunion, [http – wiki IREM](http://wiki.irem.fr)) et de l'INRP (EducMath : <http://educmath.inrp.fr>),



à l'intérieur desquels nous avons utilisé les moteurs de recherche proposés (ainsi, au 7 janvier 2008, le moteur de recherche de l'APMEP donne 114 pages web pour le mot-clé « calculatrice ») ;

Les thèses en didactique des mathématiques et TICE soutenues en France n'ont pas été explorées systématiquement. Cela pourrait être l'objet d'une étude ultérieure.

La recherche a été réalisée pour l'essentiel depuis la bibliothèque de l'INRP, qui possède une des bibliothèques les plus complètes d'Europe en matière de recherche sur l'éducation. Les références ont été complétées au fur et à mesure à partir des indications bibliographiques proposées par les publications consultées.

Le choix a été fait de ne pas retenir, dans un premier temps, les revues de vulgarisation, du type Tangente, Quadrature...

Il est important de noter que les recherches sur les sites, à partir des bases de données bibliographiques et la consultation des revues ne sont pas tout à fait indépendantes mais au contraire ces trois pôles nous ont offerts une mutualisation des informations pour compléter la liste des références : les sites et les bases de données nous donnent les références des publications dont on trouve le texte intégral dans les revues consultées.

Cette recherche a abouti au repérage de 35 publications (§ 3). Toutes ces publications ont été répertoriées dans une feuille de calcul, qui nous a facilité différents tris permettant de diversifier les points de vue sur cet ensemble de références, et ainsi d'aider à la sélection de 10 publications.

À noter : la date de la publication ne correspond pas forcément à la date d'écriture de celle-ci. Ainsi l'ouvrage (Floris et Conne 2007) met à disposition les contributions d'un colloque qui s'est tenu en 2003.

## **2.4 La sélection de 10 publications pertinentes dans la liste des références**

La sélection de ces publications a été faite pour assurer la représentation d'une diversité de valeurs dans un ensemble de champs :

- type de publication : article de recherche, description d'une expérimentation, réflexion générale ou présentation d'un produit technologique ;
- type de technologie utilisée : calculatrice graphique, symbolique, réseau, ordinateur ;
- public visé : chercheurs, enseignants, institution scolaire et éducative ;
- statut de l'auteur : chercheur, formateur, enseignant, occupant ou non un poste administratif. Ce dernier critère devrait permettre de prendre en compte le point de vue des différentes institutions concernées ;
- type de diffusion : en ligne, revue, livre ;
- éléments du système didactique étudiés : études se centrant sur les élèves et leurs tâches ; études se centrant sur les enseignants du point de vue de la transformation de leur pratique lors de l'intégration d'un nouvel outil technologique ; études se centrant sur le rapport au savoir et le rôle des institutions éducatives et scolaires en particulier dans l'écriture des programmes ;
- répartition dans le temps : entre 2002 et 2008.

Par ailleurs, lorsque nous avons le choix entre plusieurs publications correspondant aux mêmes valeurs, nous avons choisi celle qui nous paraissait la plus riche en matière de réflexion sur l'intégration des calculatrices, au-delà des circonstances particulières d'une expérimentation donnée.

La représentativité ne doit donc pas s'entendre ici au sens de « importance de la publication dans le domaine », mais au sens de représentant un élément de la diversité des publications repérées. Les publications retenues, ainsi que les valeurs correspondantes des différents champs sont données dans le tableau ci-dessous.

Article	Auteur	Type d'article	Technologie	Public	Publication	Didactique
Aldon et al 2008	Professeurs, chercheurs	Expérimentation	Calculatrice symbolique, réseau	Formateurs, professeurs	Article revue	Apprentissage
Artigue 2008	Chercheur	Réflexion Générale	TIC	Chercheurs, formateurs, institutionnels	Actes de conférence	Général
Boursey et al 2003	Formateurs	Présentation de produits et propositions d'utilisation	Calculatrice	Professeurs	Cédérom	Technique, apprentissage, enseignement
Caron 2007	Chercheur	Recherche	Calculatrice graphique	Chercheurs, formateurs	Article papier	Apprentissages
Drijvers 2004	Chercheur	Présentation	TIC	Formateurs	Article papier	Institutionnel
Hivon 2006	Formateur	Expérimentation	Réseau	Professeurs	Article ligne	Élèves/situations
Moisan 2006	Inspecteur	Présentation	TIC	Professeur et formateurs	Article	Institutionnel
Trouche 2002	Chercheur	Recherche	Calculatrice	Chercheurs, formateurs	Chapitre	Intégration
Trouche 2007	Chercheur	Recherche	Calculatrice Symbolique	Chercheurs	Chapitre	Apprentissage et enseignement
Verdier 2002	Prof T3	Expérimentation	Calculatrice numérique	Professeur	Article revue	Apprentissages

**Tableau 1.** Les publications retenues et leur représentativité dans les différents champs

## 2.5 La conception d'un modèle de fiche résumé et d'un modèle de fiche analyse

Nous sommes partis des modèles disponibles : les modèles suggérés par Texas Instruments pour les deux fiches résumé et analyse (Fig. 2) et le rapport CNCRE qui évoque deux modèles notés *grille de repérage* et *grille de lecture* (Fig. 1). Nous les avons mis à l'épreuve sur des articles de type différent : des articles plutôt de type « expérimentation » (Hivon 2006) ou plutôt de type « recherche » (Trouche 2007). Bien persuadés que la conception se poursuit dans l'usage (Rabardel et Pastré 2005), au fur et à mesure de l'avancée de nos travaux, nous avons ajusté les champs et leurs contenus.

<i>La grille de repérage</i>	<i>La grille de lecture</i>
1. Auteurs	1. Raison de la sélection
2. Titre	2. Cadre théorique
3. Année	3. Problématique
4. Référence	4. Méthodologie /dispositif
5. Type d'article	5. Analyse
6. Matériel utilisé	6. Résultats /Conclusions
7. Domaine mathématique	7. Observation du lecteur
8. Niveau de formation	
9. Problématique	
10. Intérêt du document	
11. Pays	

**Tableau 2.** *Les modèles des grilles suivant le rapport de CNCRE (2000)*

<i>Research Abstract</i>	<i>Research Analysis</i>
1. Citation	1. Date
2. Background	2. Auteur
3. Purpose	3. Research design
4. Setting	4. Population
5. Study Sample	5. Product
6. Intervention	6. Subject
7. Product	7. Goals of study
8. Research Design	8. Summary
9. Control Groups	9. Details : sample and results Potential risks
10. Data Collection and Analysis	
11. Findings	

**Tableau 3.** *Les modèles des fiches résumé et analyse suggérés par Texas Instruments*

La grille de repérage (Tableau 2) expose les caractéristiques principales des publications répertoriées : elle correspond à la fiche résumé de notre travail, le but est le même mais les critères ont été un peu différenciés en fonction des objectifs propres de notre projet. Le modèle de fiche résumé proposé par Texas Instruments (Tableau 3) nous a paru convenir à des articles qui décrivent des expérimentations, mais convient moins pour des articles plus théoriques. Le modèle que nous avons retenu (§ 2.6) intègre certains éléments avec parfois une reformulation des rubriques (matériels utilisés est reformulé sous le nom *environnements technologiques*), parfois un groupement de plusieurs rubriques en une (*élèves*), parfois un ajout de nouvelles rubriques permettant de mieux situer le projet (*l'auteur impliqué ou observateur, documentation des enseignants, temps d'expérimentation*). Il est important de noter que le *rôle du temps est essentiel* comme variable didactique dans des environnements où les outils jouent un rôle majeur, comme l'a relevé le rapport CNCRE.

Pour la fiche analyse, en plus des modèles proposés par Texas Instruments et CNCRE, nous avons exploité une liste de questions proposées par Burril (2002) pour analyser une série d'articles sur les calculatrices graphiques. Il analyse les articles sélectionnés de la façon suivante : première étape, les articles sont regroupés suivant les réponses données à cinq questions centrales (Tableau 4) ; deuxième étape, les informations relevées pour chacune des

questions sont organisés suivant quatre critères : résultats et conclusions, points faibles, lacunes de l'étude et effets dans les pratiques de classe.

**Question 1.** How do teachers use handheld graphing technology and how is this use related to their knowledge and beliefs about technology, mathematics, and teaching mathematics? What do teachers know and believe about handheld graphing technology and how is this related to their beliefs about mathematics and mathematics education?

**Question 2.** With What Kinds of mathematical tasks do students choose to use handheld graphing technology? How do students use the technology to carry out these tasks?

**Question 3.** What mathematical Knowledge and skills are learned by students who use handheld graphing technology? In what ways do students use this knowledge and these skills?

**Question 4.** What is gained mathematically by students using handheld technology that cannot be observed in a non-technology environment? In what ways do students use this knowledge and these skills?

**Question 5.** What impact does handheld graphing technology have on the performance of students from the different gender, racial, socio-economic status, and achievement groups?

**Tableau 4.** *Les cinq questions centrales (Burill 2002)*

Notre fiche analyse (§ 2.6) est conçue au départ comme un modèle synthétique de ces trois modèles, ajusté suivant deux contraintes : nécessaire complémentarité avec la fiche résumé et adéquation avec la problématique de notre travail. Cette étude des outils d'analyse existants a fait apparaître l'existence de différences culturelles : alors que, dans la culture des USA, l'impact des différences de sexe et des différences « ethniques » est souvent objet d'étude, nous n'avons pas trouvé trace de telles études en France.

## 2.6 Les modèles de fiche résumé et de fiche analyse retenus

### 2.6.1 Modèle de fiche résumé de publication

C'est une fiche descriptive de la publication, elle se compose des champs suivants (qui seront renseignés différemment, suivant le type de publication) :

- *référence de la publication* : mise aux normes de la revue RDM (Recherches en Didactique des Mathématiques) ;
- *mots clés* : en distinguant les mots clés se trouvant dans la publication et les mots clés ajoutés par nous ;
- *résumé* : moins de dix lignes précisant les hypothèses et résultats de la publication ;
- *type de publication* : distinguant, suivant l'étude CNCRE (Collectif 2000), parmi les quatre types : publication de recherche, compte rendu d'expérimentation, publication de réflexion générale ou publication concernant la conception, la description ou l'analyse d'un produit technologique ;
- *problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel* : s'agit-il d'une réflexion réduite à une expérimentation, ou d'une problématique d'une intégration institutionnelle de portée plus générale ? Pour la méthodologie de travail, il s'agit de préciser les choix de l'auteur et le type d'études, étude interne ou comparaison avec un échantillon témoin ;
- *environnement technologique* : il s'agit de mentionner le type de calculatrices supports de l'étude, ainsi que d'autres technologies éventuellement associées ;
- *domaine mathématique* : quel est le domaine mathématique concerné dans cette étude ?

- *auteurs et enseignants impliqués* : il s'agit de préciser les relations éventuelles de l'auteur avec des constructeurs de calculatrices, avec les institutions (ministère, IREM, INRP), l'existence ou non d'une équipe, est-ce que l'auteur est impliqué dans l'expérimentation ou est-il un observateur d'extérieur ?
- *temps de l'expérimentation* : combien de séances analysées, de combien de temps chacune, quelle durée entre le début et la fin de la période d'étude ?
- *élèves* : niveau scolaire concerné, nombre de classes, nombre d'élèves ;
- *documentation du professeur* : des environnements technologiques différents influent certainement sur la pratique des enseignants, sur les ressources pédagogiques et leurs conceptions. Cette rubrique décrit le rôle de la publication dans ce domaine ; propose-t-elle des ressources spécifiques pour l'environnement technologique ? Si oui, quelles sont les sources évoquées ? Des ressources originales sont-elles proposées, lesquelles, et conçues par qui ?

### 2.6.2 Modèle de fiche d'analyse de la publication

Cette fiche est complémentaire de la fiche résumé. Elle se centre plutôt sur les modifications et les transformations au niveau du système didactique (savoir, élève, enseignants et institution) liées à l'intégration des calculatrices et des technologies informatiques :

- *objectifs généraux de la publication et public concerné* : préciser les objectifs de la publication et à qui elle s'adresse (enseignant, chercheur, institution éducative, ...) ; il se peut que le public concerné ne soit pas précisé, on pourra le déduire des objectifs généraux qui seront explicités ;
- *du point de vue de la recherche* : quels sont les apports théoriques éventuels de la publication ?
- *du point de vue des mathématiques* : quelles innovations au niveau des thèmes d'enseignement, des façons de traiter des thèmes classiques, des types de problèmes et des situations mathématiques ?
- *du point de vue des élèves* : analyse de l'impact des calculatrices et autres technologies informatiques sur les processus d'apprentissage ; développement de l'activité (en classe et hors classe), réalisation des tâches, développement des apprentissages ;
- *du point de vue des professeurs* : analyse de l'impact des nouvelles technologies sur les pratiques des enseignants ; évolution du rôle du professeur (dans la classe, hors la classe), facilitation/complexification, appauvrissement/enrichissement ;
- *du point de vue de la technologie* : facilité/difficulté d'usage, potentialités/contraintes, suggestions d'amélioration ;
- *du point de vue institutionnel* : évaluation du travail des élèves en général, évaluation de l'utilisation par les élèves de leurs calculatrices, rapport au curriculum, rapport au temps (l'intégration des calculatrices fait-elle gagner du temps, ou demande-t-elle plus de temps ?) ;
- *autres résultats et conclusion* : il s'agit d'exprimer si les objectifs de la publication sont atteints, si les conclusions et les résultats sont conformes aux hypothèses, si de nouveaux problèmes, de nouvelles pistes de recherche évoquées ;
- *commentaire sur la publication* : validité des résultats au-delà de l'expérience évoquée, publication originale ou non (l'auteur a-t-il écrit d'autres publications, retrouve-t-on le même type d'idées dans d'autres publications référées), influence de l'auteur (est-il évoqué dans d'autres publications ?), relations avec les recherches au niveau international ?

### 3. Liste des références 2002 – 2008

Nous présentons la liste des références retenues, parmi lesquelles nous avons fait une sélection de 10 avec une diversité de représentativité dans des différents champs (Tableau 1) :

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., ZUCHI I. (2008), Nouvel environnement technologique, nouvelles ressources, nouveaux modes de travail : le projet e-CoLab, *Repères-IREM 72* et EducMath.

[http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

ARTIGUE M. (2004), L'enseignement du calcul aujourd'hui : problèmes, défis et perspectives, *Repères-IREM 54*, 23-39.

ARTIGUE M. (2008), L'influence des logiciels sur l'enseignement des mathématiques, contenus et pratiques, *Actes du séminaire DGESCO de février 2007*, [http://eduscol.education.fr/D0217/actes\\_math\\_et\\_tice.pdf](http://eduscol.education.fr/D0217/actes_math_et_tice.pdf)

BOURSEY E., NOYARIE D., THOMAS R. (2003), 36 élèves 36 calculatrices, *IREM de Lyon*, cédérom.

CARON F. (2007), Au cœur de « la calculatrice défectueuse » : un virus qu'on souhaiterait contagieux ! *Petit x 73*, 71-82.

COSTE R. (2002), Programmes, nouveautés et calculatrices, *Chantiers de pédagogie mathématique 115*, 3-4, Bulletin de la Régionale APMEP d'Île-de-France.

COSTE R. (2002), Programmes, nouveautés et calculatrices (2), *Chantiers de pédagogie mathématique 116*, 6-7, Bulletin de la Régionale APMEP d'Île -de-France.

DE GRAEVE R., HELMSTTELER C. (2003), Si on prend  $2/3 = 0,677$ , est-ce que c'est grave ? *Bulletin de l'APMEP 445*, 214-224.

DRIJVERS P., VANDEGIessen C. (2004), L'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques : la situation hollandaise, *Ac-Tice 38*, 28-35.

EGGER B. (2002), Représentation graphique et nombres rationnels, *Bulletin de l'APMEP 438*, 89-113.

FLORIS R., CONNE F. (dir.) (2007), *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques. Intégrer des artefacts complexes, en faire des instruments au service de l'enseignement et de l'apprentissage*, Bruxelles : De Boeck.

TROUCHE L., Environnements informatisés d'apprentissage : quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques ? p. 19-38

LAGRANGE J.-B., Pratiques instrumentées et démarche expérimentale dans l'apprentissage de la notion de fonction, p. 161-180

KRYSINSKA M., MERCIER A., SCHNEIDER M., Gestion d'instrumentation didactique de calculatrices graphiques dans l'étude de classes paramétrées de fonctions, p. 135-160.

GUIN L., TROUCHE L. (dir.), *Calculatrices symboliques, transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, Grenoble : La Pensée Sauvage.

ARTIGUE M., L'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement secondaire : les leçons de quelques ingénieries didactiques, p. 277-349

LAGRANGE J.-B., Étudier les mathématiques avec les calculatrices symboliques : quelle place pour les techniques, p. 151-185

LAGRANGE J.-B., Les outils informatiques entre « sciences mathématiques » et enseignement, une difficile transposition ? p. 89-116

- TROUCHE L., les calculatrices dans l'enseignement des mathématiques : une évolution rapide des matériels, des effets différenciés, *p.* 21-52
- TROUCHE L., Une approche instrumentale de l'apprentissage des mathématiques dans des environnements de calculatrice symbolique *p.* 187-214
- TROUCHE L., Genèses instrumentales, aspects individuels et collectifs, *p.* 243-276
- HIVON L. (2006), Vers une mutualisation de la calculatrice en classe, Les calculatrices pour qui, pour quoi et comment, *MathémaTICE* 1, 13 p., <http://revue.sesamath.net/spip.php?article29>
- HIVON L., MANUEL P., TROUCHE L. (2008), D'un réseau de calculatrices à la construction collaborative du savoir dans la classe, *Repères-IREM* 72 et EducMath  
[http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)
- JUNCA S. (2005), Calculatrices, nombres positifs, précisions relatives, pourcentages et distance logarithmique, *Bulletin de L'APMEP* 458, 395-406.
- KUNTZ G. (2006), Des examens sans calculatrices personnelles, *Bulletin de l'APMEP* 463, 266-297.
- LAGRANGE J.-B. (2007), Le calcul algébrique au premier trimestre de Première S. Utilisation d'un outil géométrique et symbolique, *MathémaTICE* 7,  
<http://revue.sesamath.net/spip.php?article112>.
- LAGRANGE J.-B., HEILBRONNER L. (2003), Adapter un logiciel de calcul formel pour l'utiliser avec des élèves de Lycée, *Bulletin de L'APMEP* 445, 225-232.
- LE THAI BAO T. T. (2007), *Étude didactique des relations entre enseignement de la notion de limite au lycée et décimalisation des nombres réels dans un environnement 'calculatrice'* Une étude de cas au Viêt-nam. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier Grenoble I.
- MOISAN J. (2006), Des outils numériques pour l'enseignement des mathématiques. *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 4-8.
- NGUYEN C. T. (2005), *Étude didactique de l'introduction d'éléments d'algorithmique et de programmation dans l'enseignement mathématique secondaire à l'aide de la calculatrice*, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier Grenoble I.
- NOGUÈS M. (2006), Des calculatrices en classe. *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 47-49.
- ROUSSEL D. et le Groupe lycée professionnel de l'IREM d'Aix-Marseille (2006), Les calculatrices formelles en classes de baccalauréat professionnel, *MathémaTICE* 1, 6 p.,  
<http://revue.sesamath.net/spip.php?article=27&x=16&y=11>
- TROUCHE L. (2005), Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques, nécessité des orchestrations, *Recherches en Didactique des Mathématiques* 25(1), 91-138.
- TROUCHE L. (dir.) (2007), Sur l'épreuve pratique de mathématique au baccalauréat, question de Michèle Artigue et réponses, Débat EducMath, <http://educmath.inrp.fr/Educmath/en-debat/epreuve-pratique/>
- TROUCHE L., FAURE C., NOGUÈS M., SALLES S. (2008), Zoom sur une technologie, in D. Guin, M. Joab et L. Trouche (dir.), *Conception collaborative de ressources pédagogiques, l'expérience du SFoDEM (2000-2006)*, INRP et IREM (Université Montpellier 2), cédérom.
- VASSARD C., PHILIPPE C., LASSALLE O., COLESSE S., LE HIR G., IREM de Rouen Groupe Arithmétique (2002), *Arithmétique et TI 89/92 en Terminale S*, vol. 1 et 2, CRDP de Haute-Normandie Mont-Saint-Aignan.
- VERDIER J. (2002), Les calculatrices n'ont pas toujours raison, un exemple le calcul de  $A = 9x^4 - y^4 + 2y^2$  pour  $x = 10\ 864$  et  $y = 18\ 817$ , *Bulletin de l'APMEP* 440, 293-302.

#### **4. Fiches résumé et analyse des 10 références retenues**

On trouve dans cette partie les 10 publications retenues, par ordre alphabétique. Pour chaque publication, nous présentons :

- une fiche résumé qui sera limitée à une seule page ;
- une traduction anglaise de cette fiche résumé ;
- une fiche analyse de l'article, qui sera encore limitée à une seule page.

Le fait de se limiter, pour chaque fiche, à une seule page (demande de Texas Instruments) demande un effort important de synthèse, permettant d'avoir d'un coup d'œil (ou presque) une vision générale des objectifs de l'auteur.



## Article Aldon *et al.* 2008, résumé

### *Référence de la publication*

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., ZUCHI I. (2008), Nouvel environnement technologique, nouvelles ressources, nouveaux modes de travail : le projet e-CoLab, *Repères-IREM 72* et EducMath.

### *Mots Clés*

Calculatrice, communauté de pratique, ressources pédagogiques, modèle de ressources, travail collaboratif.

### *Résumé*

L'article présente la recherche collaborative menée par trois équipes (INRP et IREM de Lyon, Montpellier et Paris) expérimentant une nouvelle calculatrice de Texas Instruments qui offre de nouvelles possibilités pour le travail mathématique. La recherche porte sur les conditions de la mutualisation des ressources pédagogiques conçues par les trois équipes, sur les apprentissages réalisés par les élèves dans l'expérimentation.

### *Type de la publication*

Publication décrivant une expérimentation et un nouveau produit technologique.

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Problématique : 6 classes de seconde sont engagées dans l'expérimentation ; les 6 professeurs sont accompagnés par une équipe de chercheurs ; travail des professeurs en présence et à distance, via une plate-forme web ; mutualisation des ressources ; analyse *a priori* et *a posteriori* des séances et analyse des apprentissages des élèves grâce à des comptes rendus d'observation et d'expérimentation et des questionnaires pour les élèves ; cadres théoriques présents : communauté de pratique (Wenger 1998), orchestration instrumentale (Trouche 2005) ; situations didactiques (Brousseau 1998) ; approche instrumentale (Rabardel 1999).

### *Domaine mathématiques*

Fonctions, calcul, géométrie (triangles semblables, transformations, théorème de Thalès).

### *Environnement technologique*

Calculatrice TI-nspire.

### *Auteurs et enseignants impliqués*

Les auteurs sont des enseignants et enseignants-chercheurs à l'INRP et IREM de Lyon, Montpellier et Paris, ils sont impliqués dans 3 équipes suivant l'expérimentation.

### *Temps de l'expérimentation*

L'article parle de l'expérimentation durant l'année 2006/2007.

### *Élèves*

Niveau scolaire : six classes de seconde (10<sup>e</sup> grade) ; nombre d'élèves non précisé.

### *Documentation du professeur*

Ressources de types évolutifs, disponible sur l'espace de travail du site EducMath : L'hélicoptère, Le plus court chemin, Sangaku, A vo(u)s Paris, L'enseigne, Descartes.

## Article Aldon *and al.* 2008, summary

### *Reference of the publication*

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., ZUCHI I. (2008), Nouvel environnement technologique, nouvelles ressources, nouveaux modes de travail : le projet e-CoLab, *Repères-IREM 72* et EducMath.

### *Keywords*

Calculator, community of practice, pedagogical resources, resources model, collaborative work.

### *Abstract*

This article offers collaborative experimenting research conducted by three teams (INRP and IREM Lyon, Montpellier and Paris) for a new calculator from Texas Instruments, which offers new opportunities for mathematical work. The research focuses on the conditions for pooling of educational resources developed by the three teams on the learning achieved by the students in experimentation.

### *Type of publication*

Publication describing experimentation and new technology product.

### *“Problematique”, methodology and theoretical framework possible*

Problematique : 6 grade 10 classes are engaged in experimentation, and 6 professors are accompanied by a team of researchers working in the presence of teachers and remotely via a web platform; pooling of resources; *a priori* analysis of the periods and analysis of student learning through the reports of observation and experimentation and questionnaires for students; theoretical frameworks present: community of practice (Wenger 1998), instrumental orchestration (Trouche 2005); didactical situation (1998 Brousseau); instrumental approach (Rabardel 1999).

### *Mathematics fields*

Functions, arithmetic, geometry (similar triangles, transformations, Thales' Theorem).

### *Technological Environment*

Calculator TI-nspire.

### *Authors and teachers involved*

The authors are teachers and searcher to the INRP and IREM Lyon, Montpellier and Paris, they were involved in 3 teams after experimentation.

### *Time of experimentation*

The article speaks of experimentation during the year 2006/2007.

### *Students*

Grade : six classes of second (10th grade); number of students not defined.

### *Documentation of teacher*

Resources types of scalable, available on the workspace site EducMath : The helicopter, the shortest way, Sangaku, A vo (u) s Paris, l'enseigne, Descartes.

## Article Aldon *et al.* 2008, analyse

### *Objectifs généraux de la publication et public concerné*

Analyser l'articulation nécessaire entre apprentissage mathématique et appropriation d'une calculatrice ; s'interroger sur l'évolution des ressources à travers le travail collectif des professeurs. Le public visé est un public de formateurs, d'enseignants et de chercheurs.

### *Du point de vue recherche*

Premières réflexions sur l'intégration d'un environnement complexe, articulant différentes applications de façon dynamique, et permettant une gestion de dossiers.

### *Du point de vue des mathématiques*

De multiples pistes d'exploitation apparaissent : la résolution des exercices banals par papier-crayon apparaît plus riche. La possibilité d'articulation entre plusieurs cadres (géométrique, graphique, algébrique) enrichit les activités mathématiques.

### *Du point de vue des élèves*

Visualisation dynamique des constructions en géométrie ; un engagement des élèves dans la recherche est relevé ainsi que le développement de discussions collectives ; des aspects de motivation apparaissent pour l'apprentissage des mathématiques ; utilisation limitée aux classes de mathématiques ; les opinions des élèves deviennent plus favorables au fur et à mesure de l'expérimentation.

### *Du point de vue des professeurs*

Partage de ressources et échanges entre enseignants en présence et à distance (mel ou espace de travail) ; les propositions et les réflexions communes enrichissent le rôle de l'enseignant ; gestion commune de problèmes d'appropriation de la machine et de contrôle ; la richesse qu'offre la machine entraîne une complexité des choix des situations d'enseignement et d'apprentissage sur plusieurs plans : choix de la progression, gestion du temps, etc.

### *Du point de vue de la technologie*

Les premières expérimentations montrent que le prototype de la machine demande des améliorations au niveau de l'interface ; Sa complexité pose des problèmes d'appropriation ; mise en relation de différents types d'application ; possibilité de projeter l'écran de la calculatrice ; nouveauté et complexité des commandes.

### *Du point de vue institutionnel*

Des fiches d'évaluation d'apprentissage avec la calculatrice sont conçues par les enseignants engagés dans l'expérimentation ; pas de bénéfice de temps offert par la machine dans le premier temps de l'expérimentation.

### *Autres résultats et conclusion*

L'intérêt du travail collectif dans le monde éducatif ; difficultés des élèves surmontées grâce à l'aide de l'enseignant ; une mise en évidence de l'articulation entre développement de communautés d'enseignants et intégration de nouvelles technologies.

### *Commentaire sur la publication*

Un exemple de la mise en place d'un travail collectif, lié à l'émergence d'un modèle de ressources lié à l'environnement technologique. L'expérimentation de la machine continue en France, en relation avec des recherches dans d'autres pays européens pour l'année 2007/2008.

## Article Artigue 2008, résumé

### *Référence de la publication*

ARTIGUE M. (2008), L'influence des logiciels sur l'enseignement des mathématiques, contenus et pratiques, *Actes du séminaire DGESCO Utilisation des outils logiciels dans l'enseignement des mathématiques*, février 2007, [http://eduscol.education.fr/D0217/actes\\_math\\_et\\_tice.pdf](http://eduscol.education.fr/D0217/actes_math_et_tice.pdf)

### *Mots Clés*

Mots-clés (HS) : Calculatrices, logiciel, influence, usages, programme scolaire.

### *Résumé*

Dans cet exposé dédié à l'influence des logiciels et plus généralement des outils informatiques sur les contenus de l'enseignement des mathématiques, j'essaie d'abord de clarifier la question, en précisant comment j'entendrai le terme « influence » dans ce contexte précis. J'essaie ensuite de catégoriser ces influences en revenant sur l'historique des rapports entre logiciels et plus généralement outils informatiques et enseignement et apprentissage des mathématiques. Enfin, dans la dernière partie, j'aborde la question des rapports entre influences potentielles et influences effectives.

### *Type de la publication*

Publication de réflexion générale

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Problématique d'une intégration institutionnelle (contenus et pratiques).

Éléments de cadrage théorique présents : théorie anthropologique (Chevallard, 1992, 1999) ; approche instrumentale (Rabardel 1995) ; jeu des cadres (Douady 1986) ; registres de représentation (Duval 1995).

### *Environnement technologique*

Calculatrice symbolique TI-92 ; logiciel de géométrie dynamique : Cabri-géomètre ; micromonde : Logo ; logiciel de calcul symbolique ; tableurs.

### *Domaine mathématique*

Équations différentielles, études des fonctions, statistiques, construction des triangles.

### *Auteurs et enseignants impliqués*

Michèle Artigue, chercheur en didactique des mathématiques, DIDIREM, IREM, Université Paris 7.

### *Élèves*

Niveau scolaire : collège et lycée (grades 6 à 12), séries scientifique et littéraire ; première année universitaire. Le nombre de classes et d'élèves n'est pas précisé.

Les travaux d'élèves sont présentés sous forme des copies d'écran au cours de l'activité.

### *Documentation du professeur*

Des ressources spécifiques : les ressources tableur du site Educnet pour la scolarité obligatoire ; l'accès à des bases de données substantielles, intégrant ou non des logiciels éducatifs, aide à renouveler l'enseignement (en particulier des statistiques) ; un exemple de construction des triangles par l'environnement Cabri-géomètre (Arzarello & al., 2002).

## Article Artigue 2008, summary

### *Reference of publication*

ARTIGUE M. (2008), L'influence des logiciels sur l'enseignement des mathématiques, contenus et pratiques, *Actes du séminaire DGESCO de février 2007*, [http://eduscol.education.fr/D0217/actes\\_math\\_et\\_tice.pdf](http://eduscol.education.fr/D0217/actes_math_et_tice.pdf)

### *Keywords*

Keywords (HS): Calculators, software, influence, uses, curriculum.

### *Abstract*

In this talk dedicated to the influence of software and more generally computer tools on the content of mathematics teaching, I try to clarify the issue, indicating how we understand the term "influence" in this context. Then, i try to categorize these influences by returning to the history of the relationship between software and, more generally, tools and teaching and learning of mathematics. Finally, in the last part, I turn to the issue of the relationship between potential influences and effective influence.

### *Type of publication*

Publication of general reflection

### *“Problematique”, methodology and theoretical framework possible*

Problematique of an institutional integration (content and practices).

Elements of theoretical framework present: anthropological theory (Chevallard 1992, 1999); instrumental approach (Rabardel 1996); jeu de cadres (Douady 1986); registers representation (Duval, 1995).

### *Technological Environment*

Calculator symbolic TI-92; dynamic geometry software : Cabri-géomètre; microworld: Logo; software of symbolic calculation; tableurs.

### *Mathematics fields*

Differential equations, functions studies, statistics, construction of triangles.

### *Authors and teachers involved*

Michèle Artigue, a researcher in mathematics teaching, DIDIREM, IREM, Université Paris 7.

### *Students*

Grade: high school (grades 6 to 12), scientific and literary series, the first academic year. The number of classes and students is not defined.

Student Work are presented in the form of screenshots during the activity.

### *Documentation of teacher*

Some specific resources: resources of tableur from Educnet site for obligatory education; the access to databases substantial, integrating or not educational software, helps to renew the teaching (particularly in statistics); an example of construction triangles by the environment Cabri-géomètre (Arzarello & al., 2002).

## Article Artigue 2008, analyse

### *Objectifs généraux de la publication et public concerné*

Identifier l'influence des logiciels sur l'enseignement, en distinguant entre influence potentielle et influence observée. Conférence pour des enseignants, inspecteurs et chercheurs.

### *De point de vue recherche*

Théorisation des potentialités et des effets des logiciels sur l'enseignement des mathématiques, application et articulation de plusieurs cadres théoriques dans cet objectif.

### *Du point de vue des mathématiques*

En partant d'un exemple, l'auteur note que les possibilités de visualisation des interfaces graphiques permettent de traiter les équations différentielles d'une façon différente de la résolution algébrique : faire sentir aux élèves comment les champs tangents conditionnent physiquement les tracés. Même réflexion dans le domaine statistique. Possibilités offertes par la technologie : réification et manipulation directe des objets mathématiques ; accès à des situations qui ne sont pas directement accessibles à une résolution exacte ou approchée ; rapport différent au savoir (exemple des logiciels de calcul formel et des tableurs).

### *Du point de vue des élèves*

L'auteur étudie l'influence des différents logiciels sur les activités et les apprentissages des élèves : transition d'une appréhension perceptive des figures vers une appréhension géométrique, d'une exploration tâtonnante vers l'élaboration des conjectures et leur contrôle ; rôle du tableur dans la réconciliation des élèves avec l'algèbre surtout en série L.

### *Du point de vue des professeurs*

L'auteur note la nécessité, dans ces environnements, de phases de discussion entre élèves orchestrées par l'enseignant pour soutenir la continuité entre exploration et preuve.

### *Du point de vue de la technologie*

Le passage des logiciels de manipulation par langage de programmation (Logo) aux logiciels de manipulation directe (cabri géomètre) ; les limites de visualisation dans les calculatrices graphiques à un certain zoom.

### *Du point de vue institutionnel*

Une influence certaine des calculatrices sur les programmes (réforme de 1982) ; le rôle des documents d'accompagnement dans ce renouvellement profond au niveau de l'enseignement ; la difficulté de l'appropriation des machines sous-estimées institutionnellement.

### *Autres résultats et conclusion*

L'auteur relève l'insuffisance des ressources, pour les professeurs, spécifiques à ces environnements ; ceci contribue aux décalages observés entre attentes institutionnelles et réalisations effectives ; penser les usages de la technologie dans la durée, la progression dans le temps des connaissances instrumentales et mathématiques ; mettre en place une formation des enseignants qui soutienne des dynamiques d'évolution.

### *Commentaire sur la publication*

Cet article prend en compte l'influence des logiciels sur les mathématiques, l'enseignement et l'apprentissage ainsi que les programmes scolaires, il s'appuie sur un vaste corpus de recherches et ouvre de nouvelles pistes de recherche.

## **Cédérom Boursey *et al.* 2003, résumé**

### *Référence de la publication*

BOURSEY E., NOYARIE D., THOMAS R. (2003), 36 élèves 36 calculatrices, *IREM de Lyon*, cédérom.

### *Mots Clés*

Mots clés (HS) : modèles de calculatrices, contraintes des calculatrices, potentialités des calculatrices, exemples d'utilisations, ressources pour le professeur, usages.

### *Résumé*

Résumé (HS) : la présence de plusieurs modèles de calculatrices rend plus complexe le travail de l'enseignant de mathématiques. Le cédérom veut assister le professeur dans son travail d'intégration. Il propose des fiches spécifiant les caractéristiques de différentes calculatrices et facilitant la mise en œuvre de situations mathématiques dans différents environnements. La publication sous forme de cédérom a pour objectif de faciliter son utilisation par les enseignants.

### *Type de la publication*

Description de produits technologiques.

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Postulat d'amélioration de l'enseignement ; problématique d'une intégration institutionnelle générale ; pas d'éléments de cadrage théorique présent.

### *Environnement technologique*

36 modèles de calculatrice sont présentés, numériques et graphiques, de type : Casio, TI, HP, Sharp.

### *Domaines mathématiques*

Statistiques, fonctions et tracé de courbes, suite, dérivée, intégrale définie et matrices.

### *Auteurs et enseignants impliqués*

Les trois auteurs sont animateurs à l'IREM de Lyon, enseignant aux niveaux collège et lycée.

### *Temps de l'expérimentation*

Pas d'expérimentations présentées.

### *Élèves*

On peut conclure en observant les thèmes mathématiques étudiés dans ce cédérom que toutes les classes de lycée et collège sont concernées. Pas de travaux d'élèves présentés.

### *Documentation du professeur*

Des fiches enseignants existent pour chacun des thèmes traités (cf. domaine mathématique) : propositions d'utilisation et explications des fiches élèves, précision des contraintes de chaque type de machine pour chacun des thèmes traités. La publication de ce travail sous forme de cédérom rend les fiches accessibles et ajustables par les enseignants suivant les utilisations envisagées et leurs besoins propres.

## **Cederom Boursey *and al.* 2003, summary**

### *Reference of the publication*

BOURSEY E., NOYARIE D., THOMAS R. (2003), 36 élèves 36 calculatrices, *IREM de Lyon*, cédérom.

### *Keywords*

Keywords (HS) : models of calculators, calculators' constraints, potential of calculators, examples of uses, resources for the teacher, uses.

### *Abstract*

Abstract (HS) : The presence of several models of calculators makes the job more complex for Teachers of Mathematics. The CD-ROM wants to assist the professor in his work of integration. It offers information specifying the characteristics of different calculators and facilitating the implementation of mathematical situations in different environments. The publication in the form of CD-ROM aims to facilitate its use by teachers.

### *Type of publication*

Description technology products.

### *“Problematique”, methodology and theoretical framework possible*

Postulancy education improvement; problematique of a general institutional integration; no theoretical frame elements present.

### *Technological Environment*

36 calculator models are presented, and digital graphics, type : Casio, TI, HP, Sharp.

### *Mathematics fields*

Statistics, functions and drawing curves, sequence, derivative, definite integral and matrices.

### *Authors and teachers involved*

The three authors are animators in the IREM Lyon, mathematics teacher at the high school.

### *Time of experimentation*

No experiments presented.

### *Students*

Can be drawn on the basis of mathematical topics studied in this CD-ROM that the school level is concerned all classes of high school and college. No student work submitted.

### *Documentation of teacher*

the files are available to teachers in each of the subjects treated (cf. mathematics fields) in the CD: proposals for the uses and explanations about the files students, accuracy constraints of each type of machine for each of the topics covered. The publication of this work in the form of CD-ROM makes the files accessible and adjustable by teachers depending on the uses and their own needs.



## **Cédérom Boursey *et al.* 2003, analyse**

### *Objectifs généraux de la publication et public concerné*

Faciliter le travail des enseignants qui intègrent la calculatrice dans leur enseignement des mathématiques malgré la multiplicité des modèles de calculatrices. Les enseignants de mathématiques constituent donc le public principalement concerné.

### *Du point de vue des mathématiques*

L'introduction des calculatrices dans l'enseignement amène à la conception de nouvelles formes d'étude des thèmes mathématiques. Les fiches d'activités et d'exercices proposées concernent : l'écriture de programmes et de calculs des valeurs d'une fonction, la saisie et l'affichage, la compréhension des programmes internes qui permettent la résolution d'équations et de systèmes d'équations, etc.... Ces fiches constituent des modèles de traitement de thèmes mathématiques par une calculatrice.

### *Du point de vue recherche*

Pas d'apport théorique particulier.

### *Du point de vue des élèves*

Ce cédérom permet aux élèves de se familiariser, d'utiliser au mieux les machines, aussi variées soient-elles, dans le but d'enrichir leurs apprentissages en mathématiques.

### *Du point de vue des professeurs*

Les fiches conçues dans ce cédérom veulent faciliter le travail de l'enseignant aux prises avec les différents modèles de calculatrice de ses élèves. Cette diversité entraîne un enrichissement potentiel de l'enseignement des mathématiques : la possibilité d'aborder de différentes façons les thèmes mathématiques.

### *Du point de vue de la technologie*

Le cédérom a pour objectifs de faciliter l'usage de différents types de calculatrices ainsi que d'exploiter leurs différentes fonctionnalités (on trouve par exemple des fiches d'exercices sur la programmation des boucles). Pas de suggestion d'amélioration.

### *Du point de vue institutionnel*

Les fiches élèves conçues pour ce cédérom ont pour objectif de faciliter l'intégration, dans la classe, d'une diversité de matériels prescrits institutionnellement.

### *Autres résultats et conclusion*

Pas d'autres résultats et conclusion.

### *Commentaire sur la publication*

Ce cédérom semble original dans son contenu. Après cinq années de diffusion de ce cédérom publié en 2003, une nouvelle version va paraître en 2008, prenant en compte les nouveaux modèles de calculatrices apparus dans cette période.

## Article Caron 2007, résumé

### *Référence de la publication*

CARON F. (2007), Au cœur de « la calculatrice défectueuse » : un virus qu'on souhaiterait contagieux ! *Petit x* 73, 71-82.

### *Mots Clés*

Enseignement des mathématiques, technologie, calculatrice, arithmétique, algèbre, fonctions, représentations.

### *Résumé*

Ce texte présente d'abord un environnement informatique conçu par Gisèle Lemoine, « la calculatrice défectueuse », en soulignant ses apports didactiques pour l'approfondissement des apprentissages en arithmétique. Il montre ensuite comment les principes didactiques qui sous-tendent cet environnement pourraient être appliqués à d'autres outils de calcul et contribuer tant au développement chez l'élève des connaissances mathématiques et informatiques qu'à un contrôle accru de l'utilisation de ces outils.

### *Type de la publication*

Article de recherche et description d'un environnement technologique.

### *Domaine mathématique*

Opérations sur les nombres, trigonométrie dans un triangle rectangle, logarithme et exponentielle, études de fonctions, équations et statistiques.

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Postulat d'amélioration de l'enseignement.

Éléments de cadrage théorique : théorie des situations didactiques (Brousseau 1998).

### *Environnement technologique*

Le tableur ; l'environnement informatique d'apprentissage « la calculatrice défectueuse » élaborée par Gisèle Lemoine. Cet environnement fonctionne comme une calculatrice (arithmétique, scientifique et graphique) avec une possibilité de désactivation des touches.

### *Auteurs et enseignants impliqués*

L'auteur est un enseignant-chercheur à l'université de Montréal.

### *Élèves*

Niveau scolaire : du 6<sup>e</sup> grade au 12<sup>e</sup> grade. Pas de productions d'élève présentes.

### *Documentation du professeur*

Des exemples sont donnés dans cet article, sur les ressources proposées lors de l'exploration de cet environnement dans des différents domaines mathématiques.

## Article Caron 2007, summary

### *Reference of the publication*

CARON F. (2007), Au cœur de « la calculatrice défectueuse » : un virus qu'on souhaiterait contagieux ! *Petit x* 73, 71-82.

### *Keywords*

Teaching mathematics, technology, calculator, arithmetic, algebra, functions, performances.

### *Abstract*

This text first sets an environment designed by Gisele Lemoyne, the “defective calculator”, pointing out its contributions in furthering educational learning arithmetic. It then shows how the educational principles underlying this environment could be applied to other tools for calculating and so contributes to development in a student of mathematics and computer knowledge that greater control in the use of these tools.

### *Type of Publication*

Research article along with a description of a technological environment.

### *Mathematics fields*

Operations on the numbers, trigonometry in a right-angled triangle, logarithm and exponential functions studies, equations and statistics.

### *“Problematique”, methodology and theoretical framework possible*

Postulancy education improvement.

Elements of framing theory : theory of didactical situations (Brousseau, 1986).

### *Technological Environment*

The tableur, and the learning environment “defective calculator” developed by Gisele Lemoyne. This environment works as a calculator (arithmetic, scientific and graphic) with a possibility of disabling buttons.

### *Authors and teachers involved*

The author is a teacher researcher at the University of Montreal.

### *Students*

Grade: from the 6th grade to the 12th grade. No student productions present.

### *Documentation of teacher*

The examples provided in this article that is designed for the exploration of this environment in various fields mathematics.

## Article Caron 2007, analyse

### *Objectifs généraux de la publication et public concerné*

Décrire un environnement expérimental « la calculatrice défectueuse » et ses propriétés didactiques, montrer que, avec une certaine règle du jeu (désactivation de quelques touches), les calculatrices pourraient permettre la conception de nouvelles situations d'apprentissage. Le public concerné est : chercheurs et formateurs.

### *Du point de vue recherche*

L'article généralise l'emploi des principes de la calculatrice défectueuse à un ensemble plus vaste d'outils.

### *Du point de vue des mathématiques*

« La calculatrice défectueuse » permet de réinvestir les connaissances sur les nombres ; construire des algorithmes itératifs ; la possibilité d'implémenter la méthode babylonienne pour le calcul des racines ; la compréhension des liens entre plusieurs domaines mathématiques (algébrique, graphique et géométrique).

### *Du point de vue des élèves*

La désactivation des touches que permet cet environnement développe chez l'élève un usage contrôlé de l'outil ; il demande une créativité de sa part, pour qu'il sache résoudre les activités proposées avec un nombre limité de touches autorisées. Cet environnement permet à l'élève de s'engager dans un processus d'adaptation et de coordination des connaissances, en effet le nombre limité des touches nécessite de mobiliser et d'articuler des connaissances dans différents domaines ; la liberté d'action donnée à l'élève lui permet de réfléchir sur ses résultats et de décider de nouvelles actions.

### *Du point de vue des professeurs*

L'enregistrement des traces informatiques possible dans cet environnement permet à l'enseignant de repérer le degré de difficultés des tâches proposées et la richesse des stratégies des élèves, ce qui éclaire ses choix didactiques. Cet environnement conduit l'enseignant à mieux suivre la construction des connaissances des élèves.

### *Du point de vue de la technologie*

Cet environnement permet d'implémenter facilement des algorithmes numériques simples ; il permet l'enregistrement des essais successifs des élèves ; les tableurs ne sont pas conçus en principe pour l'enseignement des mathématiques et ce logiciel a des limites dans ce domaine, on trouve dans l'article une approche qui consiste à contourner d'une façon créative les limites du tableur (fonction ZOOM, QUARTILE).

### *Du point de vue institutionnel*

Pas évoqué dans l'article.

### *Autres résultats et conclusion*

Pas d'autres résultats et conclusion.

### *Commentaire sur la publication*

C'est un article original, dont la validité s'étend hors de « la calculatrice défectueuse ». Ses résultats pourraient être mis à profit pour tout environnement : faire appel à la créativité des élèves, suivre les processus d'appropriation et d'enrichissement de cet outil.

## Article Drijvers 2004, résumé

### *Référence de la publication*

DRIJVERS P., VANDEGIessen C. (2004), L'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques : la situation hollandaise, *Ac-Tice* 38, 28-35.

### *Mots Clés*

Mots-clés (HS) : TICE, manuels scolaires, calculatrices, logiciels.

### *Résumé*

Cet article reprend les présentations faites par les auteurs à la conférence ITEM (Intégration des Technologies dans l'Enseignement des Mathématiques, 2003, actes en ligne : <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr/ITEM2003/fr/>). Il décrit comment l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques se développe, pas à pas, aux Pays-Bas, de l'intégration de la calculatrice graphique suscitée par des mesures gouvernementales concernant le baccalauréat, à la description de nouvelles pratiques d'enseignement combinant plusieurs médias, qui essaient d'intégrer le manuel traditionnel et les environnements TICE en passant par la distribution d'outils logiciels directement aux élèves, qui a commencé 1998 et qui dépasse le professeur.

### *Type de publication*

Publication de réflexion générale qui présente un état des lieux.

### *Domaine mathématique*

Barycentre, trigonométrie, proportionnalité et fonction linéaire.

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Problématique d'une intégration institutionnelle générale des TIC dans l'enseignement des mathématiques. Pas de cadrages théoriques explicites.

### *Environnement technologique*

Calculatrice graphique : TI-83(+), Casio *cfx-9850 +* ; logiciels : VU-Graphe, logiciel pour analyser les données statistiques, logiciels Java interactifs.

### *Auteurs et enseignants impliqués*

Les auteurs sont des chercheurs néerlandais dans le domaine des TICE, ayant une notoriété internationale.

### *Élèves*

Niveau scolaire : collège et lycée.

Les productions d'élèves sont présentes sous forme des copies d'écran (VU-Graphe).

### *Documentation du professeur*

Des ressources spécifiques sont proposées : activité concernant la transformation d'une sinusoïde utilisant VU-Graphe ; exemple d'activité de patron d'un cube intégrant l'outil informatique par la méthode de résolution (Extrait du manuel) ; exercice du barycentre (Extrait baccalauréat scientifique en Pays Bas 2002) ; activité « tirer les ballons » réalisée par le Freudenthal Institut.

## Article Drijvers 2004, Summary

### *Reference of the publication*

DRIJVERS P., C. VANDEGIESSEN (2004), the integration of technology in the teaching of mathematics : the Dutch situation, Tice Ac-38, 28-35.

### *Keywords*

Keywords (HS) : TICE, scolar books, calculators, software.

### *Abstract*

This article includes presentations by the authors at the conference ITEM in 2003 (act on line <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr/ITEM2003/fr/>) . It describes how the integration of technology in the teaching of mathematics grows, step by step, in the Netherlands, from the integration of graphing calculator caused by government measures concerning the high school to the description of the new practice of education combining several media, which try to integrate the traditional manual and environments TICE through the distribution of software tools directly to students, which began in 1998 and which exceeds the professor.

### *Type of publication*

Publication of general reflection that presents an inventory.

### *Mathematics fields*

Barycenter, trigonometry, proportionality and linear function.

### *“Problematique”, methodology and theoretical framework possible*

Problematique of a general institutional integration of ICT in the teaching of mathematics. No explicit theoretical frameworks.

### *Technological Environment*

Graphing calculator : TI-83 (+), Casio cfx-9850 +; software : VU-Graph, software to analyze statistical data, interactive Java software.

### *Authors and teachers involved*

The authors are of Netherlander researchers in the field of ICT, with an international reputation.

### *Students*

Grade : high school.

The productions of students are present in the form of screenshots (VU-Graph).

### *Documentation of Professor*

Some specific resources are proposed activity on the transformation of a sinusoid using VU-Graph; example of a cube boss of integrating the software tool by the method of resolution (From the manual); exercise of the barycenter (Excerpt of scientific grade 12 in the Netherlands 2002); activity "shoot balloons" created by Freudenthal Institute.

## Article Drijvers 2004, analyse

### *Objectifs généraux de la publication et public concerné*

Décrire l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques au Pays-Bas.

Le public concerné : formateurs et enseignants

### *Du point de vue recherche*

Pas d'apport théorique explicite dans cet article.

### *Du point de vue des mathématiques*

De nouveaux types de problèmes mathématiques qui intègrent l'outil dans la méthode de résolution ; l'utilisation de différents types de représentations est suggérée afin de développer un regard cohérent et critique sur les problèmes mathématiques. L'intégration des calculatrices permet d'accorder plus d'attention à la mathématisation et à l'interprétation des résultats.

### *Du point de vue des élèves*

Les activités guidées dans les manuels, intégrant des logiciels, rendent l'élève plus indépendant du professeur, ce qui permet de développer l'activité hors la classe ; le travail interactif avec les logiciels est motivant pour les élèves.

### *Du point de vue des professeurs*

Les auteurs soulignent la nécessité de cours de formation continue pour les enseignants ; présence de l'enseignant indispensable pour permettre le transfert des compétences TICE vers le papier-crayon et la correspondance entre livre et environnement TICE.

### *Du point de vue de la technologie*

Point faible : la limitation de la taille de l'écran, d'où difficulté de communication (entre élèves et avec la machine). Point fort : la portabilité de la machine permet un emploi régulier et facilite son appropriation par les élèves ; pas de suggestion d'amélioration.

### *Du point de vue institutionnel*

Nécessité d'une intégration institutionnelle des calculatrices dans l'enseignement (examens du baccalauréat), d'une diffusion de supports numériques accompagnant les manuels, d'instructions d'utilisation des calculatrices intégrées dans les manuels scolaires car les cours dans les salles informatiques sont perçus comme une interruption des cours dits normaux.

### *Autres résultats et conclusion*

L'intégration des TICE aux Pays-Bas est loin d'être accomplie. Des travaux sont à poursuivre dans plusieurs directions : articulation entre manuels et TICE, rôle des TICE dans les épreuves et les examens (des expérimentations sont mises en place au Pays-Bas), besoin d'équipement informatique des salles de classe.

### *Commentaire sur la publication*

L'article étudie la situation hollandaise, mais on peut relever des invariants dans les difficultés et les contraintes de l'intégration des TIC dans l'enseignement, au-delà de ce pays. L'implication de l'auteur dans de nombreux ouvrages de synthèse et son influence au niveau international est reconnue.

## Article Hivon 2006, résumé

### *Référence de la publication*

HIVON L. (2006), Vers une mutualisation de l'utilisation de calculatrice en classe, 13 p., MathemaTICE 1, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article29>.

### *Mots Clés*

Mots-clés (HS) : mutualisation du travail, débat dans la classe, orchestration.

### *Résumé*

Résumé (HS) : cet article se situe dans le cadre de l'expérimentation du dispositif TI-Navigator au lycée. L'auteur présente des situations mathématiques permettant d'exploiter ce dispositif (QCM, fenêtrages multiples, concaténation de données), montre la nouvelle organisation de la classe qu'il suppose (travail individuel, travail en groupe, travail en classe entière). Il met en évidence l'influence de ce dispositif sur l'implication des apprenants dans leur travail et sur le développement d'un débat scientifique dans la classe.

### *Type de la publication*

Description d'un produit technologique/ Compte rendu d'expérimentation

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Postulat d'amélioration de l'enseignement ; étude interne ; réflexion réduite à une expérimentation ; Éléments de cadrage théorique : approche instrumentale, orchestration (Guin et Trouche 2002).

### *Auteur et enseignants impliqués*

L'auteur est un bon connaisseur des produits TI (il a fait un stage à Houston, Texas). Il est responsable de l'équipe INRP-IREM, dont la recherche porte sur l'intégration des TICE au lycée, et qui est à la base de l'article.

### *Environnements technologiques*

TI Navigator ; Calculatrices TI 83-Plus ou TI 84-Plus.

### *Temps de l'expérimentation*

Durée totale : de septembre 2005 à juin 2007, le nombre de séances étudiées n'est pas précisé.

### *Élèves*

Les exemples étudiés dans cet article concernent trois niveaux de lycée : terminale Scientifique, et terminale Économique et Sociale (12<sup>e</sup> grade, sections scientifiques et économiques) et seconde (10<sup>e</sup> grade).

### *Domaine mathématique*

Les fonctions et leurs représentations graphiques.

### *Documentation du professeur*

L'article présente des ressources spécifiques :

- utilisant le travail de Gasquet (Fenêtres sur courbes) pour le fenêtrage et le travail de Remy Coste (Hypothèse n° 17) pour la concaténation de données ;
- proposant des activités originales sur ces thèmes, conçues par l'équipe INRP-IREM, exploitant en particulier la possibilité de réaliser des QCM.



## Article Hivon 2006, summary

### *Reference of publication*

HIVON L. (2006), Vers une mutualisation de l'utilisation de calculatrice en classe, 13 p., MathemaTICE 1, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article29>.

### *Keywords*

Keywords (HS) : pooling work, debate in the classroom, orchestration.

### *Abstract*

(HS) Abstract : This article falls within the framework of the experiment device TI-Navigator in high school. The author presents mathematical situations to exploit this device (QCM, multiple windowing, data concatenation), shows the new organization of the class that requires (individual work, group work, classroom work full). It highlights the influence of this device on the involvement of students in their work on the development of a scientific debate in the classroom.

### *Type of publication*

Description of a technological product / the report of experimentation.

### *Problem, methodology and theoretical framework possible*

Postulancy of education improvement; internal study; reduced to a thought experiment. Elements of framing theory : instrumental approach, orchestration (Guin and Trouche 2002)

### *Author and teachers involved*

The author has a good knowledge of IT products (was placed in Houston, Texas). He is the supervisor for the team INRP-IREM, whose research focuses on the integration of ICT in high school, which is the basis for the article.

### *Technology Environments*

TI Navigator; TI Calculators 83-Plus or TI-84 Plus.

### *Time experimentation*

Total time : from September 2005 to June 2007, the number of meetings addressed is not specified.

### *Students*

Examples discussed in this article are the examples in 3 classes: 12th grade, scientific and economic sections and 10th grade. No presentation of the work or performance of students.

### *Mathematics fields*

The functions and their graphical representations.

### *Documentation of teacher*

This article offers specific resources : He uses the work of Gasquet (Windows on curves) for windowing, and the work of Remy Coste (hypothèse No. 17) for the concatenation of data; It offers innovative activities on these themes, designed by the team INRP-IREM; Operator in particular the possibility of realization to QCM.

## Article Hivon 2006, analyse

### *Objectifs généraux de la publication, public concerné*

L'article suggère des pistes pour l'exploitation de TI-Navigator et ses modules dans les classes, à destination des enseignants de mathématiques intéressés par les TICE.

### *Du point de vue des mathématiques*

De nouvelles situations sont proposées, qui exploitent les possibilités de visualisation des courbes (par exemple : recherche de courbes passant par un nombre donné des points et satisfaisants à des contraintes données) et les possibilités de concaténation des données (permettant de mutualiser l'ensemble des résultats proposés par les élèves).

### *Du point de vue recherche*

Pas d'apport théorique particulier dans cet article.

### *Du point de vue des élèves*

Influence positive de TI-Navigator sur la motivation des élèves et leur implication dans le travail : un débat mathématique est toujours présent même sur des thèmes délicats, comme les suites numériques. Les élèves réussissent à traiter les problèmes qui leur sont proposés. Cependant, on ne peut pas mesurer les apprentissages réalisés sur le long terme.

### *Du point de vue des professeurs*

L'article montre une évolution forte du rôle de l'enseignant rendue nécessaire par cet environnement : concepteur de nouvelles situations mathématiques et chef d'orchestre durant les séances (gestionnaire du dispositif TI-Navigator, régulateur des débats dans la classe). Le travail du professeur apparaît plus complexe et plus riche.

### *Du point de vue de la technologie*

L'article indique les potentialités de TI-Navigator : possibilité d'affichage des écrans des calculatrices des élèves, partage d'un même espace de travail, envoi des réponses sur l'ordinateur du professeur. Il montre aussi que l'actualisation de ces potentialités suppose une réorganisation de la classe (par exemple une nouvelle disposition des tables). Pas de suggestions particulières d'amélioration de la technologie.

### *Du point de vue institutionnel*

Questions non traitées dans l'article

### *Autres résultats et conclusion*

TI-Navigator semble pouvoir devenir un instrument permettant de favoriser de nouveaux et nombreux échanges au sein du groupe classe. L'article mentionne la difficulté de l'entreprise et les modifications profondes qu'elle requiert du point de vue du travail du professeur et des organisations didactiques qu'il doit concevoir et mettre en œuvre dans la classe.

### *Commentaire sur la publication*

Les résultats mentionnés dépendent évidemment du dispositif en réseau mis en œuvre (c'est la seule expérience d'intégration du TI-Navigator en France), mais on retrouve des idées de réorganisation de l'espace-classe et de mutualisation déjà présentes dans d'autres articles sur le travail dans un environnement calculatrices. L'auteur a participé à la rédaction d'un autre article sur ce thème (Hivon, Péan et Trouche 2008), article plus approfondi, où est évoquée une expérience italienne du même type.

## Article Moisan 2006, résumé

### *Référence de la publication*

MOISAN J. (2006), Des outils numériques pour l'enseignement des mathématiques. *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 4-8.

### *Mots Clés*

Mots-clés (HS) : logiciels, calculatrices, usages, évaluation, programmes scolaires.

### *Résumé*

Résumé (HS) : L'article décrit l'état des lieux de l'utilisation des outils numériques dans l'enseignement des mathématiques. L'usage des logiciels et calculatrices de différents types demande, tout d'abord, une maîtrise de ces outils avant d'apporter, dans un deuxième temps, un enrichissement au niveau du raisonnement, de la résolution des problèmes et de l'apprentissage des mathématiques. L'intégration des outils numériques dans l'enseignement permet de poser des questions sur l'évaluation, l'autorisation de ces outils dans les examens et le type d'épreuve mise en œuvre. L'auteur relève l'évolution qu'ont subie les concours de recrutement des enseignants, dans le sens de la prise en compte de l'informatique dans l'enseignement des mathématiques.

### *Type de publication*

Publication de réflexion générale.

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Problématique d'une intégration institutionnelle générale des TIC dans l'enseignement des mathématiques. Pas de cadre théorique particulier.

### *Domaine mathématique*

Pas de domaine précisé

### *Environnement technologique*

Calculatrices : graphiques et symboliques ; logiciels : tableur-grapheur, logiciel de construction géométrique, logiciel de calcul et traçage.

### *Auteurs et enseignants impliqués*

Jacques Moisan est le doyen du groupe des mathématiques de l'inspection générale de l'éducation nationale.

### *Élèves*

L'auteur cite dans l'article les outils numériques utilisés dans les différents niveaux scolaires, collège et lycée. Pas des travaux d'élèves présentés directement (les travaux des élèves de Luc Trouche sont évoqués, dans une publication antérieure).

### *Documentation du professeur*

Pas de ressources spécifiques proposées par cet article.

## Article Moisan 2006, summary

### *Reference of the publication*

MOISAN J. (2006), Des outils numériques pour l'enseignement des mathématiques. *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 4-8.

### *Keywords*

Keywords (HS) : software, calculators, use, evaluation, curriculum.

### *Abstract*

Abstract (HS) : The article describes the status of the use of digital tools in the teaching of mathematics. The use of calculators and software of various kinds demand, first of all, a mastery of these tools before making, as a second step, an enrichment level of reasoning, problem solving and learning mathematics. The integration of digital tools in education to ask questions on the evaluation, the authorization of such tools in the exams and the type of testing implementation. He tracks the evolution suffered the concours for recruitment of teachers, in line with the incorporation of computers in the teaching of mathematics.

### *Type of publication*

Publication of general reflection.

### *Problematique, methodology and theoretical framework possible*

Problematique of a general institutional integration of ICT in the teaching of mathematics. No particular theoretical framework.

### *Mathematics fields*

No clear field

### *Technological Environment*

Calculators : graphical and symbolic; software tableur-grapheur, software of geometrical construction, calculation software and tracing.

### *Authors and teachers involved*

Jacques Moisan is the dean of the mathematics of the General Inspectorate of national Éducation.

### *Students*

The author quoted in the article the digital tools used in the various levels of education, college and high school. No work of students submitted directly (students' work by Luc Trouche are mentioned in a previous publication).

### *Documentation of teacher*

No specific resources offered by this article.

## Article Moison 2006, analyse

### *Objectifs généraux de la publication et public concerné*

Dresser un état des lieux de l'utilisation des outils numériques dans l'enseignement des mathématiques. Repérer les obstacles et les difficultés d'utilisation de ces environnements dans l'enseignement des mathématiques. Les enseignants des mathématiques et les responsables institutionnels constituent le public visé.

### *De point de vue recherche*

Pas de nouveaux apports théoriques dans cet article.

### *Du point de vue des mathématiques*

L'auteur évoque le rôle des outils numériques dans la façon de traiter les thèmes classiques : l'utilisation raisonnée dans l'enseignement des mathématiques d'un logiciel de calcul formel permet de résoudre des problèmes complexes, plus proches de ceux de la vie courante. L'usage du tableur-grapheur peut intervenir dans des exercices de tirage aléatoire et d'échantillonnage. Les calculatrices formelles permettent d'aborder des problèmes « réels » de statistiques. Pas de propositions de nouveaux types de problèmes et de situations.

### *Du point de vue des élèves*

L'auteur cite dans son article : l'aide qu'offrent les logiciels de géométrie pour l'apprentissage de la démonstration, ceux de géométrie 3D permettent de développer la vision dans l'espace. Les logiciels de calcul formel facilitent la résolution des problèmes complexes.

### *Du point de vue des professeurs*

L'auteur remarque que les concours de recrutement d'enseignants de mathématiques ont évolué avec des objectifs et des modalités différents selon les concours : les environnements informatisés sont pris en compte dans les épreuves de l'agrégation et du CAPES.

### *Du point de vue de la technologie*

La technologie n'est pas analysée dans cet article.

### *Du point de vue institutionnel*

Les calculatrices, en général, sont autorisées dans les examens, mais aucun examen dans l'enseignement au lycée ne prévoit l'utilisation des ordinateurs dans l'évaluation. L'auteur évoque l'expérimentation d'une épreuve pratique des mathématiques qui exploite les ordinateurs pour le baccalauréat et le brevet des collèges.

### *Autres résultats et conclusion*

L'auteur note que les obstacles à l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques ne sont pas négligeables : des difficultés d'équipement, des problèmes de formation et d'utilisation de ces outils par les enseignants, l'inadaptation des salles informatiques disponibles dans les établissements pour l'apprentissage des mathématiques.

### *Commentaire sur la publication*

L'originalité de l'article est liée, en particulier, à la position institutionnelle de l'auteur.

## Article Trouche 2002, résumé

### *Référence de la publication*

TROUCHE L. (2002), Les calculatrices dans l'enseignement des mathématiques : une évolution rapide des matériels, des effets différenciés, in D. Guin, L. Trouche (eds.) *Calculatrices symboliques, transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, pp.21-52, La Pensée Sauvage, Grenoble.

### *Mots Clés*

Mots-clés (HS) : calculatrices, évolution des outils, intégration, programmes, manuels scolaires, société.

### *Résumé*

L'apparition d'outils de calculs de plus en plus complexes dans les classes de mathématiques n'est pas une réponse à un besoin de l'institution scolaire : il est la manifestation, au sein de cette institution, d'un phénomène social plus vaste, il vient après l'utilisation, par certaines branches des mathématiques et des sciences, de l'outil informatique. Parmi les différents outils de calcul, les calculatrices ont été prises en compte de manières très diverses par les acteurs de l'institution scolaire : les élèves se les sont appropriées rapidement, les considérant comme une aide possible pour leur travail mathématique ; les professeurs hésitent à les intégrer dans leur pratique professionnelle ; les programmes d'enseignement essaient de promouvoir l'utilisation de ces outils. Mais la généralisation des calculatrices pose de nombreuses questions et suscite de vives discussions parmi les associations professionnelles.

### *Type de la publication*

Publication de recherche

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Problématique d'une intégration institutionnelle générale. Éléments de cadrage théorique : intégration et viabilité des objets informatiques (Chevallard 1992).

### *Environnement technologique*

Calculatrices symboliques TI-92, graphiques TI-89 et scientifiques, des logiciels.

### *Domaine mathématique*

Dérivée

### *Auteurs et enseignants impliqués*

Luc Trouche, chercheur en didactique des mathématiques et environnements informatisés d'apprentissage, EducTice (INRP) et LEPS (Université de Lyon).

### *Élèves*

*Niveau scolaire* : première scientifique (11<sup>e</sup> grade), Terminale scientifique (12<sup>e</sup> grade). L'article donne des résultats d'une enquête qui a été faite sur 527 élèves (Faure et Goarin 2001). Les travaux d'élèves ne sont pas présents.

### *Documentation du professeur*

Il existe dans l'article un extrait d'un manuel scolaire qui est un exemple d'exercice sur la dérivée. Des types d'exercices possibles pour l'évaluation dans des environnements de calculatrices symboliques sont évoqués (Aldon 1997).

## Article Trouche 2002, summary

### *Reference of the publication*

TROUCHE L. (2002), Les calculatrices dans l'enseignement des mathématiques : une évolution rapide des matériels, des effets différenciés, in D. Guin, L. Trouche (eds.) *Calculatrices symboliques, transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique* (pp.21-52), La Pensée Sauvage, Grenoble.

### *Keywords*

Keywords (HS): calculators, development tools, integration, programs, scholar books, society.

### *Abstract*

The emergence of tools calculations increasingly complex in math classes is not a response to the need for the school as an institution: it is the, in this institution, a social phenomenon more wide, it comes after the use by certain branches of mathematics and science, the use of computers. Among the different calculation tools, calculators were taken into account in very different ways by actors of the school institution: the students are the appropriate quickly, seeing them as a possible help for their mathematical work; teachers are reluctant to integrate them into their professional practice, teaching curricula are trying to promote the use of these tools. But the widespread use of calculators raises many questions and raises serious discussions among the associations.

### *Type of publication*

Publication of research

### *“Problematique”, methodology and theoretical framework possible*

Problematique of a general institutional integration. Elements of theoretical frameworks : integration and viability of computer objects (Chevallard 1992).

### *Technological Environment*

Calculators symbolic TI-92, TI-89 graphic and scientific software.

### *Mathematics fields*

Derivative

### *Authors and teachers involved*

Luc Trouche, researcher in didactique of mathematics and computer learning environments, EducTice (INRP) and LEPS (University of Lyon).

### *Students*

School level : grade 11(scientific), grade 12 (scientific). The article gives the results of a survey which was done on 527 students (Faure and Goarin 2001). The work of students is not present.

### *Documentation of teacher*

There in the article is an excerpt of the scholar book which is an example on derivatives. Some types of exercises for evaluating possible in environments symbolic calculators are graded (Aldon 1997).

## Article Trouche 2002, analyse

### *Objectifs généraux de la publication et public concerné*

Plaider pour la prise en compte des calculatrices par les élèves, les enseignants ainsi que par les institutions éducatives. Public concerné : les chercheurs et les formateurs.

### *Du point de vue recherche*

L'article décrit l'état des lieux d'une intégration institutionnelle et pose des questions qui fournissent un champ de travail pour de futures recherches.

### *Du point de vue des mathématiques*

La prise en charge des calculatrices demande la constitution d'un nouvel équilibre dans le cours des mathématiques en raison de la facilitation de l'émergence des conjectures, de la rapidité des calculs, de la nouvelle dimension expérimentale des mathématiques.

### *Du point de vue des élèves*

En 2001, une majorité des élèves de lycée possède une calculatrice graphique. Les élèves s'approprient leur machine sans intervention de l'enseignant. Les calculatrices sont utilisées par les élèves pour vérifier des résultats, accompagner des calculs et peu pour l'apprentissage en raison de leur faible exploitation par les enseignants. L'intégration des calculatrices par l'enseignant se traduit en général par un cours plus vivant.

### *Du point de vue des professeurs*

On note une réticence des professeurs à utiliser les calculatrices dans les cours. Leur conception des mathématiques donne peu de place à l'expérimentation, ils ont le sentiment d'être remis en cause par la puissance des outils. Ceux qui participent à des formations continues en TICE remettent davantage en question leurs pratiques que les autres : ils doivent penser à une nouvelle organisation des cours. L'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques suppose qu'elle réponde à des besoins exprimés par les enseignants.

### *Du point de vue de la technologie*

Pas précisé dans l'article.

### *Du point de vue institutionnel*

La nécessité sociale des calculatrices légitime leur intégration dans les programmes : modification des programmes et des manuels au cours du temps nécessaire ; évolution du type d'intégration des outils à envisager. Des questions sur l'évaluation sont posées : comment évaluer ? Quels types d'exercices envisager dans les manuels ? Des expériences d'intégration sont suscitées par le ministère. Les constructeurs appuient la diffusion de leurs produits (Casio et TI : programmes de recherche, formation des enseignants et équipement des classes).

### *Autres résultats et conclusion*

L'article ouvre des pistes de recherche dans plusieurs directions : l'intégration des outils nécessite de nouvelles orientations des programmes, de nouvelles situations mathématiques, de nouvelles pratiques d'enseignement.

### *Commentaire sur la publication*

L'article date de 2002, d'où son intérêt aujourd'hui dans la réflexion sur les évolutions réalisées : au niveau des difficultés posées ainsi qu'au niveau des acteurs institutionnels (élèves, enseignants, institution scolaire).



## Article Trouche 2007, résumé

### *Référence de la publication*

TROUCHE L. (2007), Environnements informatisés d'apprentissage : quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques ? in R. Floris, F. Conne (dir.), *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques. Intégrer des artefacts complexes, en faire des instruments au service de l'enseignement et de l'apprentissage* (pp. 19-38), Bruxelles : De Boeck.

### *Mots Clés*

(HS) Artefact, approche instrumentale, orchestration instrumentale, instrument, schème, instrumentation, instrumentalisation, communauté de pratique, ressources pédagogiques.

### *Résumé*

Après avoir situé la place des *outils* dans la pratique des mathématiques, l'article présente une approche théorique permettant d'analyser l'influence de ces outils sur les processus d'apprentissage : les *instruments* sont définis comme étant *construits* par les élèves, au cours de leur activité mathématique. L'article propose la notion *d'orchestration instrumentale*, prenant en compte la nécessité d'une gestion de tous les outils présents dans l'environnement des élèves pour mettre en œuvre des situations mathématiques.

### *Type de la publication*

Article de recherche.

### *Problématique et cadre théorique*

Questionnement de l'apport des artefacts informatiques en général, des calculatrices en particulier, à l'apprentissage et à l'enseignement des mathématiques. Éléments de cadrage théorique présents : la théorie des situations (Brousseau 1998), les schèmes (Vergnaud), la viabilité des objets informatiques (Chevallard 1992), l'approche instrumentale (Rabardel 1999), les communautés de pratique (Wenger 1998).

### *Environnement technologique*

Calculatrices TI-92 et SMG (Symbolic Math Guide) développé par Texas Instruments pour guider le travail algébrique des élèves sur les TI-92.

### *Domaine mathématique*

Pas de domaine précisé

### *Auteurs et enseignants impliqués*

Luc Trouche, chercheur en didactique des mathématiques et environnements informatisés d'apprentissage, EducTice (INRP) et LEPS (Université de Lyon).

### *Élèves*

Le niveau scolaire : Terminal scientifique (12<sup>e</sup> grade), nombre d'élèves non précisé dans l'article. Travaux d'élèves présentés sous forme de copies d'écran au cours de leur activité.

### *Documentation du professeur*

Proposition d'une méthode pour analyser les potentialités et contraintes des calculatrices ; une configuration (élève sherpa) pour la gestion didactique des calculatrices dans la classe ; une situation mathématique conçue par l'auteur pour l'apprentissage de la notion de limite.

## Article Trouche 2007, summary

### *Reference of publication*

TROUCHE L. (2007), Environnements informatisés d'apprentissage : quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques ? in R. Floris, F. Conne (dir.), *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques. Intégrer des artefacts complexes, en faire des instruments au service de l'enseignement et de l'apprentissage* (pp. 19-38), Bruxelles : De Boeck.

### *Keywords*

Keywords (HS): Artifact, instrumental approach, instrumental orchestration, instrument, instrumentation, instrumentalisation, scheme, community of practice, pedagogical resources.

### *Abstract*

After setting up the tools in the practice of mathematics, the article presents a theoretical approach for analysing the influence impact of these tools on the learning process : the instruments are defined as built by students, during their mathematical activity. This article proposes the concept of instrumental orchestration taking into account the need to manage all of the tools in the environment for students to implement mathematical situations.

### *Type of Publication*

Research article.

### *“Problematique” and theoretical framework*

Questioning the contribution of computing artifacts in general, calculators, in particular, to learning and teaching mathematics. Elements present theoretical frameworks : the theory of didactical situation (Brousseau 1998), les schèmes (Vergnaud), the viability of computer objects (Chevallard 1992), the instrumental approach (Rabardel 1999), communities of practice (Wenger 1998).

### *Technological Environment*

TI-92 calculators and SMG (Symbolic Math Guide) developed by Texas Instruments to guide the algebraic work of students on the TI-92.

### *Mathematics fields*

No clear field.

### *Authors and teachers involved*

Luc Trouche, researcher in didactic of mathematics and computer learning environments, EducTice (INRP) and LEPS (University of Lyon).

### *Students*

School level : 12<sup>th</sup> grade scientific; number of students not defined in the article. Students works are presented in the form of screenshots during their activity.

### *Documentation of teacher*

This article proposes a method to analyze the potentials and constraints of calculators; configurations (especially the configuring of student sherpa) for the management of calculators in the classroom, a mathematical example of a situation created by the author to learning the concept of limits.

## Article Trouche 2007, analyse

### *Objectifs généraux de la publication, public concerné*

Proposer une approche théorique pour comprendre et assister les processus d'apprentissage dans un environnement technologique donné. Public concerné : les chercheurs ainsi que les enseignants des mathématiques intégrant les TICE dans leur enseignement.

### *Du point de vue de la recherche*

Une nouvelle notion théorique est proposée pour penser l'organisation de l'enseignement dans des environnements technologiques : les orchestrations instrumentales.

### *Du point de vue des mathématiques*

L'article met en évidence le rôle des outils dans le développement des mathématiques ainsi que sur les programmes d'études. D'où la nécessité de concevoir des situations mathématiques qui permettent de tirer partie des outils disponibles.

### *Du point de vue des élèves*

L'étude des processus d'apprentissage dans des environnements technologiques met en lumière la nouvelle complexité du travail des élèves pour s'approprier les outils et réaliser les tâches qui leur sont proposées, d'où la nécessité d'un *accompagnement didactique*. L'article montre l'intérêt d'une orchestration instrumentale particulière : le professeur donne à un élève la responsabilité de manipuler une calculatrice dont les résultats sont projetés sur un grand écran commun. L'élève contribue ainsi au pilotage de la classe, avec le suivi du professeur.

### *Du point de vue des professeurs*

La prise en compte des orchestrations instrumentales entraîne une complexification du travail de l'enseignant dans la classe et pour la conception des situations mathématiques adaptées d'où la nécessité d'un *accompagnement des enseignants* (travail collaboratif avec ses collègues, formation continue adaptée).

### *Du point de vue de la technologie*

L'article met en évidence l'intérêt du paramétrage des calculatrices en fonction d'objectifs de l'enseignant. Ainsi le SMG (Symbolic Math Guide), développé par Texas Instruments, permet de guider le travail algébrique des élèves (résolution pas à pas d'équations, propositions d'un ensemble d'actions algébriques possibles, au choix de l'élève).

### *Du point de vue institutionnel*

L'article montre des exemples de gestion didactique des calculatrices et leur influence sur les temps de l'enseignement et de l'apprentissage. Les *orchestrations* ont un rôle essentiel dans la gestion du temps de la classe.

### *Autres résultats et conclusion*

L'article propose des réponses à la nécessité de l'accompagnement des enseignants : des dispositifs spécifiques pour une formation réellement continue, reposant sur une conception et une mutualisation de *ressources pédagogiques* intégrant des scénarios d'usage.

### *Commentaire sur la publication*

Les résultats obtenus sont généraux, forment un cadre théorique pour la réflexion sur une organisation des enseignements intégrant les TICE.

## Article Verdier 2002, résumé

### *Référence de la publication*

VERDIER J. (2002), Les calculatrices n'ont pas toujours raison, un exemple le calcul de  $A = 9x^4 - y^4 + 2y^2$  pour  $x = 10\ 864$  et  $y = 18\ 817$ , *Bulletin de l'APMEP* 440, 293-302.

### *Mots Clés*

Mots-clés (HS) : Calculatrice, calcul approché, capacité de la calculatrice.

### *Résumé*

Quoi qu'en pensent les élèves, les calculatrices n'ont pas toujours raison ! L'objet de cet article est d'analyser les réactions des élèves mis en face de résultats contradictoires, dus à l'incapacité des machines à effectuer correctement certains calculs.

### *Type de la publication*

Article décrivant une expérimentation et analysant un produit technologique.

### *Problématique, méthodologie et cadre théorique éventuel*

Réflexion réduite à une expérimentation ; pas d'éléments de cadrage théorique présents.

### *Domaine mathématique*

Calcul algébrique et arithmétique.

### *Environnement technologique*

Calculatrices : TI 82, TI 83, TI 83+, TI 85, Casio 9900, Casio 7800, 7900, TI 30X-IIB, TI 30, TI 40, HP 22S, HP 38G, Casio fx92, Galaxy 40, Casio 790P, 850P, 6800, HP 48SX, TI 80, TI 81, Casio 7000G, Casio Graph 20, 25, 30, 35, 60, 65, Sharp 9900. Possibilité de projection d'écran de la calculatrice.

### *Auteurs et enseignants impliqués*

J. Verdier, impliqué dans l'expérimentation décrite, est un professeur membre du réseau Teachers Teaching with Technology (soutenu par Texas Instruments), auteur d'ouvrages indiquant comment utiliser au mieux des calculatrices Texas Instruments dans l'enseignement.

### *Temps de l'expérimentation*

L'auteur a expérimenté le problème sujet de l'article de 1995 à 2000.

### *Élèves*

Niveau scolaire : seconde (10<sup>e</sup> grade), première scientifique (11<sup>e</sup> grade), classe préparatoire aux grandes écoles (collège universitaire), professeur stagiaire ; nombre d'élèves non précisé. Des extraits des copies d'élèves sont présentés dans l'article.

### *Documentation du professeur*

L'article propose un problème qui est inspiré d'un énoncé paru dans un manuel de Première Scientifique de l'IREM de Strasbourg et reformulé par l'auteur au cours du temps pour être utilisé dans des classes de divers niveaux.

## Article Verdier 2002, summary

### *Reference of publication*

VERDIER J. (2002), Les calculatrices n'ont pas toujours raison, un exemple le calcul de  $A = 9x^4 - y^4 + 2y^2$  pour  $x = 10\ 864$  et  $y = 18\ 817$ , *Bulletin de l'APMEP* 440, 293-302.

### *Keywords*

Keywords (HS): Calculator, approached calculation, the ability of the calculator.

### *Abstract*

Whatever the students think, calculators are not always right! The purpose of this article is to analyze the reactions of students placed in front of results, due to the inability of machines to perform certain calculations correctly.

### *Type of publication*

Article describing experiments and analyzing a technological product.

### *“Problematique”, methodology and theoretical framework possible*

Reflection reduced to an experiment; no elements present theoretical frameworks.

### *Mathematics fields*

Algebraic calculation and arithmetic.

### *Technological Environment*

Calculators : TI 82, TI 83, 83 + TI, TI 85, Casio 9900, Casio 7800, 7900, TI 30X-IIB, TI 30, 40 TI, HP 22S, HP 38G, Casio fx92, Galaxy 40, Casio 790P, 850P , 6800, HP 48SX, 80 TI, TI 81, Casio 7000G, Casio Graph 20, 25, 30, 35, 60, 65, Sharp 9900. Possibility projection screen of the calculator.

### *Authors and teachers involved*

J. Verdier, involved in the experiment described, is a professor network member Teachers Teaching with Technology (supported by Texas Instruments), author of books showing how to get the best Texas Instruments calculator in education.

### *Time of experimentation*

The author has experienced the problem concerning in this article from 1995 to 2000.

### *Students*

Grade: 10<sup>th</sup> grade, 11<sup>th</sup> grade, preparatory class for large schools (university college), Professor trainee; number of students not defined. Excerpts of the copies of students are presented in the article.

### *Documentation of teacher*

The article suggests a problem that is based on a statement published in a manual Scientific First of IREM Strasbourg and rewritten by the author in time for use in classes of different levels.

## Article Verdier 2002, analyse

### *Objectifs généraux de la publication et public concerné*

Décrire les limites des capacités calculatoires des calculatrices et analyser les réactions des élèves devant cette situation. Cet article est à destination des professeurs.

### *Du point de vue recherche*

Pas d'apports théoriques particuliers

### *Du point de vue des mathématiques*

La situation mathématique évoquée dans l'article semble nouvelle dans son objectif : mettre en évidence l'incapacité des machines d'effectuer correctement certains calculs.

### *Du point de vue des élèves*

Confrontés à la situation proposée, différents types de raisonnements des élèves sont présents : la majorité des élèves ont perçu que le calcul des grands nombres n'est pas faisable exactement par la calculatrice, de nouvelles compétences calculatoires apparaissent. Une ambiguïté apparaît chez quelques élèves : pour eux, les calculs approchés ne relèvent pas des mathématiques ; le travail en petit groupe et la projection de l'écran d'une calculatrice manipulée par l'élève créent des questionnements et ouvrent un débat en classe.

### *Du point de vue des professeurs*

Nécessité d'une gestion didactique réfléchie des calculatrices et d'une gestion appropriée des débats dans la classe.

### *Du point de vue de la technologie*

Capacité de conservation et mémorisation des chiffres limitée pour toute calculatrice. Une méthode est proposée par l'auteur pour savoir le nombre maximal des chiffres que peut gérer une machine. La gestion des arrondis par la calculatrice peut réserver quelques surprises.

### *Du point de vue institutionnel*

Pas évoqué dans l'article.

### *Autres résultats et conclusion*

Les objectifs de cet article sont atteints. L'article pousse à la réflexion sur les limites des capacités des machines dans des domaines mathématiques autres que le calcul.

### *Commentaire sur la publication*

L'auteur a publié d'autres articles et études du même type. Les résultats obtenus peuvent être transférables à tous les outils informatiques faisant, par nature, du calcul.



## 5. Conclusion de la partie I

Les conclusions auxquelles nous conduit cette revue d'articles doivent être considérées avec beaucoup de prudence : il s'agit d'inférences à partir d'une sélection d'articles dont nous avons précisé (§ 2.1) les critères de choix. Ces conclusions devraient donc être confirmées par une confrontation avec un corpus plus vaste.

Après une période d'études focalisées sur *l'intégration* des calculatrices, plus généralement des TIC, dans l'enseignement des mathématiques, notre étude relève une nouvelle centration des articles sur la *conception de l'enseignement* des mathématiques et *l'analyse des apprentissages* dans un environnement où ces outils sont dans un processus de *naturalisation*.

L'hypothèse (cf. Introduction) que la période étudiée se situe à la fin d'une période d'études focalisées sur les calculatrices symboliques et le début d'une autre période, focalisées sur les notions de réseau, de travail collaboratif, d'outils nomades, de conception de ressources ou d'artefacts, semble validée par la sélection des articles que nous avons rassemblés. En consultant, par ordre chronologique les mots-clés des publications retenues, on constate une évolution : des expressions *calculatrices* et *usages* (Boursey *et al* 2003) vers celles de *communauté de pratique* et *travail collaboratif* (Aldon *et al* 2008). Cette évolution semble liée à :

- des changements technologiques. On note un processus de complexification des environnements technologiques au cours du temps, comme l'indique (Artigue 2008) : on va de simples calculatrices scientifiques et graphiques vers des plates-formes qui gèrent des documents (Aldon *et al* 2008) et qui fonctionnent en réseau (Hivon 2006) ;
- des changements institutionnels. Les efforts de légitimation de ces outils dans les institutions scolaires (Trouche 2002) ont cédé la place à une réflexion sur la mise en place d'accompagnement des processus d'intégration (Moisan 2006).

Les 10 publications sélectionnées et analysées nous aident à repérer les recherches faites durant cette période suivant plusieurs perspectives.

### Au niveau du domaine mathématique étudié

Au début de la période considérée, la géométrie est uniquement étudiée dans des environnements de géométrie dynamique implémentés sur des ordinateurs, tandis que les représentations graphiques (étude des fonctions, équations différentielles) et le calcul formel sont étudiés dans des environnements de calculatrices. À la fin de cette période, l'article Aldon *et al* (2008) propose des problèmes géométriques dans un environnement de calculatrice, les calculatrices TI-*nspire* mettant à disposition un logiciel de géométrie en étroite relation avec les autres applications présentes.

### Au niveau de l'apprentissage

Les travaux semblent évoluer progressivement, de la prise en main de la machine par les élèves sans intervention de l'enseignant, vers l'accompagnement par l'enseignant de cette appropriation (Boursey *et al* 2003). Les situations mathématiques proposées aux élèves prennent un espace important dans ces études où s'articulent, les *contraintes* et les *potentialités* des environnements technologiques, et les réflexions sur les *contenus* des activités proposées. On relève une évolution des activités étudiées, au départ plutôt motivées par l'utilisation des calculatrices et les capacités des machines (Boursey *et al* 2003, Verdier 2002) vers des activités motivées par les notions mathématiques qu'il s'agit d'enseigner ou d'apprendre en exploitant au mieux les environnements technologiques. Les études insistent sur la possibilité et la nécessité d'un débat dans la classe pour un traitement collectif des problèmes que l'environnement suscite ou facilite.



### Au niveau de l'enseignement.

Les publications mettent en évidence un bouleversement important, du point de vue des pratiques des enseignants dans ou hors la classe. Les études dans ce domaine ont évolué :

- de la nécessité d'une nouvelle réflexion sur les pratiques, à la proposition de mode de gestion des artefacts au service de l'apprentissage, ce que (Trouche 2007) appelle les *orchestrations instrumentales*, en particulier dans le cas des réseaux de calculatrices (Hivon 2006) ;
- du questionnement de la pratique de l'enseignant dans la classe à celle hors la classe, du point de vue de la conception des ressources spécifiques, liée au développement du travail collaboratif dans des communautés de différents types (de communauté de pratique partagée aux communautés plus informelles d'échanges sur le web).

Un rééquilibrage émerge au niveau des études et des recherches qui prennent davantage en compte l'enseignement et la pratique enseignante dans les environnements informatisés. Avant cette période, on considère les TIC davantage dans leur relation à l'apprentissage plus qu'à l'enseignement (Artigue 2000). Dans la majorité des travaux, l'apprenant était l'objet principal. On peut observer, au cours de la période considérée, une inflexion des recherches vers l'enseignant et les ressources spécifiques qu'il conçoit, exploite ou mutualise.

De point de vue institutionnel, les problèmes d'équipement sont toujours présents, et peuvent influencer sur l'organisation de l'enseignement. Les études soulignent une influence importante de l'intégration des calculatrices sur les programmes et les manuels scolaires, sur les examens et les concours. On relève une évolution du questionnement, de la modification des contenus à enseigner (Trouche 2002) à l'adaptation permanente des situations en fonction de la richesse et la complexité des environnements. Les questions d'évaluation deviennent plus présentes, par exemple l'épreuve pratique du baccalauréat et les concours de recrutement des enseignants (Moisan 2006).

Il est assez intéressant de relever la proximité des points de vue dans les articles analysant la situation en France (Trouche 2002) et aux Pays-Bas (Drijvers 2004), signe à la fois de la proximité des problèmes qui se posent et du développement d'une communauté de recherche sur « calculatrices et enseignement des mathématiques » (Guin et Trouche 2002).

Il est intéressant aussi de voir de quelle façon la considération du *temps* évolue dans cette période, de plusieurs points de vue :

- le temps comme variable à prendre en compte dans les processus d'appropriation des calculatrices. Dans ce sens, on ne trouve qu'un seul article (Aldon *et al* 2008), qui distingue le temps nécessaire à l'appropriation de l'outil et le temps nécessaire à sa mobilisation au service de l'activité mathématique ;
- le temps au sens de « durée d'expérimentation » : la complexification croissante des environnements informatisés exige des durées d'expérimentation qui s'étalent sur des périodes plus longues, pour la conception des dispositifs, des ressources et l'analyse des apprentissages des élèves (Hivon 2006, Aldon *et al* 2008) ;
- le temps du point de vue de l'évolution du corpus des recherches au cours des années, de la réflexion sur une intégration des TIC dans l'enseignement, à un questionnement de l'apprentissage, du rôle et du statut du professeur, de la conception des ressources. Les recherches se diversifient au cours du temps, cela résulte de deux facteurs : d'une part, l'enrichissement des cadres théoriques (voir la rubrique « cadre théorique » des fiches résumé), d'autre part, les outils technologiques sont en évolution permanente ce qui exige une actualisation permanente afin de pouvoir prendre en compte leur rôle dans le système didactique.

On peut noter aussi que, dans la période d'étude (2002-2008), de nouveaux supports numériques se développent : plates-formes de communication à distance (cf. l'expérience SFoDEM, Guin *et al* 2008) ou sites (par exemple le Wiki de l'IREM de la Réunion [http – wiki IREM](http://wiki.irem.fr)) pour accompagner les enseignants dans la conception de nouvelles ressources. Le cédérom 36 élèves 36 calculatrices (Boursey *et al* 2003) se situe dans ce cadre. On peut noter aussi que des environnements originaux apparaissent, suscitant la créativité des élèves, qui témoignent d'une nouvelle façon d'aborder les problèmes de contrôle des outils et enrichissent ainsi le concept des calculatrices, comme les calculatrices défectueuses (Caron 2007).

Au cours de notre recherche, de nouveaux champs d'étude apparaissent, qui mériteraient d'être prolongés au-delà de cette synthèse. Il nous semblerait en effet important d'interroger les recherches sur :

- le développement des apprentissages autonomes des élèves avec les calculatrices et les logiciels (quelles situations, quelles évaluations des apprentissages ?) ;
- le changement de conception des mathématiques pour les professeurs (vers des mathématiques expérimentales). Comment se situent les nouveaux enseignants dans ces évolutions ? Quelles évolutions des curricula ? ;
- quelle articulation entre les environnements TICE et l'environnement papier-crayon, quel rôle des enseignants, quelles situations mathématiques ? ;
- comment les enseignants combinent-ils une documentation personnelle et une documentation liée à un travail collaboratif ou collectif, avec de nombreux apports de ressources extérieures ?

L'évolution des matériels se poursuit, les études et recherches se développent en relation avec cette évolution, certaines réponses sont trouvées, d'autres questions se posent...



## Partie II : Intégration des TICE dans les apprentissages mathématiques : quelle autonomie des élèves ?

*Les mathématiques sont un jeu que l'on exerce selon des règles simples en manipulant des symboles ou des concepts qui n'ont en soi, aucune importance particulière.*

*David Hilbert*





## 1. Position du problème et cadre de l'étude

### 1.1 Introduction

Après avoir, dans la première partie, repéré et analysé les articles francophones sur l'intégration des calculatrices dans l'enseignement des mathématiques, entre 2002 et 2008, il nous est apparu nécessaire d'approfondir certaines questions, au-delà d'une étude synthétique. Une de ces questions, en particulier, nous semble fondamentale, elle est relative au développement des *apprentissages autonomes* des élèves avec les calculatrices et les logiciels : quelles *situations didactiques* (Brousseau 1998) favorisent ces apprentissages, comment évaluer ces apprentissages ?

La commande, de Texas Instruments, de développer et étudier cette question était l'occasion de faire le point et de questionner les recherches et les articles de la même période 2002-2008 sur cette question d'autonomie dans un environnement TICE. Questionner les publications de cette période, non seulement sur les calculatrices, mais encore les logiciels, supposait de notre part un élargissement du champ des publications déjà repérées dans le premier travail.

Le développement technologique a sans doute stimulé des études sur les apprentissages en autonomie. Les technologies de l'information et de la communication ont beaucoup évolué depuis une vingtaine d'années, cette évolution est allée de pair avec un développement des recherches en didactique des mathématiques. Ce développement en didactique a permis d'approfondir les questions d'autonomie, en relation avec les processus d'enseignement et d'apprentissage.

L'objectif de la présente étude est donc de questionner les recherches et les publications repérées dans la période 2002-2008 sur cette question d'autonomie. Comment les recherches ont traité cette question d'apprentissage en autonomie ? Y a-t-il des dispositifs, des ressources spécifiques qui favoriseraient ce type d'apprentissage ? Quelle influence a cette autonomie sur l'apprentissage ? Quel rôle a la technologie dans les choix didactiques de l'enseignant ? Comment les questions d'évaluation de l'autonomie et des connaissances construites en autonomie sont-elles prises en compte dans les recherches ?

Dans ce qui suit, nous tenterons dans un premier temps de définir l'autonomie et ses rapports aux différents constituants du système didactique (apprenants, enseignant et savoirs) ainsi que les rapports entre le milieu didactique, l'apprentissage autonome et les TICE.

### 1.2 L'autonomie et son rapport avec le système didactique

#### 1.2.1 Définition de l'autonomie et de l'apprentissage autonome.

« Pour être autonome, il faut d'abord le vouloir, se concevoir comme un être libre et se rebeller contre tout ou partie des normes et des directives dont on est l'objet. L'autonomie est d'abord une question d'identité, de projet, d'image de soi » Perrenoud (2002). En s'appuyant sur cette définition, nous situons ici l'autonomie, dans le cadre d'un contexte didactique, comme la tendance à effectuer des choix avec liberté, par le sujet apprenant, sans être obligé de suivre les choix des autres. Les choix effectués et le degré de liberté restent bien sûr dans le cadre d'un certain respect des règles scolaires, explicites ou implicites.

L'autonomie est aussi liée au développement de certaines *métaconnaissances* spécifiques. Pour Flavell (1985), les métaconnaissances peuvent désigner :

- les connaissances que peut avoir le sujet apprenant de ses propres processus mentaux ;
- les connaissances des propriétés pertinentes par rapport à des informations et des données proposées par l'enseignant ;

- la régulation (guidage, contrôle, conscients ou non) des processus d'apprentissage.

Pour (Robert et Robinet 1996), dans le cadre du contexte de la didactique des mathématiques : le préfixe méta devant les mots connaissances... [est utilisé] pour désigner des éléments d'informations ou de connaissances sur les mathématiques, sur leur fonctionnement, sur leur utilisation et sur leur apprentissage, qu'ils soient généraux ou tout à fait liés à un domaine particulier. Le développement des métaconnaissances fait avancer l'acte d'« apprendre à apprendre », ce qui peut se traduire par une autonomie générale dans le processus d'apprentissage.

Nous distinguons entre *l'apprentissage de l'autonomie* et *l'apprentissage en autonomie*. Des recherches antérieures en sciences de l'éducation ont pu mettre en évidence que, sous certaines conditions, l'apprentissage de l'autonomie est possible (Bruner 1983, Büchel 1995, Leselbaum 1990). Pour mettre en évidence la différence entre les deux (apprentissage de l'autonomie et en autonomie), on doit distinguer quelques *formes d'autonomie* (Caudron 2001) :

- *l'autonomie matérielle et pratique* qui se traduit par la capacité à s'adapter de façon créative au milieu matériel de la classe, en particulier aux outils disponibles ; on pourrait situer ici l'appropriation des TIC et le développement des genèses instrumentales (Rabardel 1995) ;

- *l'autonomie spatio-temporelle*, qui intervient surtout dans des situations ouvertes et se traduit par le choix de repères afin de démarrer et développer une activité. Ces choix sont liés aux constituants du milieu;

- *l'autonomie dans l'organisation du travail* : construction d'hypothèses et de conjectures, gestion du temps, capacité à modifier une méthode qui s'avère peu efficace.

Il est nécessaire de préciser, dans notre contexte, que l'autonomie dont nous parlons est l'autonomie dans le cadre des institutions scolaires, et doit être située par rapport à l'enseignant. Quel est le degré possible de cette autonomie ? Quelle est la fonction de médiation de l'enseignant ?

### 1.2.2 *L'autonomie dans la relation à l'enseignant, au groupe d'élèves et aux savoirs*

L'autonomie ne signifie pas nécessairement, en effet, de se passer de l'enseignant. Le degré de dépendance doit être compris dans le cadre du *contrat didactique* (Brousseau 1990), dans le sens où celui-ci constitue un système d'obligations réciproques, largement implicite, qui détermine ce que chaque partenaire (l'enseignant et l'apprenant) a la responsabilité de gérer, et dont il sera d'une manière ou d'une autre, responsable devant l'autre. Même si l'apprenant travaille en autonomie, il est orienté, relativement, par les intentions de l'enseignant. Les processus d'enseignement et d'apprentissage dont nous parlons se déroulent dans le cadre d'une institution sociale (l'école, le lycée) qui propose aux apprenants un environnement nécessairement artificiel. En ce sens, la relation de l'enseignant à l'apprenant est doublement médiatisée :

- par les règles, les normes et les multiples contraintes et négociations du contrat, sans lesquelles aucun apprentissage en commun ne serait possible ;

- par les savoirs scolaires, à enseigner ou à apprendre, déjà constitués et mis en ordre (Chevallard 1985).

Pour rendre compte de l'évolution du contrat au cours de l'enseignement, il faut prendre en considération les divers types de genèses en interaction : la *topogenèse* et la *chronogenèse* (Chevallard 1999). La topogenèse rend compte à l'intérieur du contrat de ce qui est relatif aux espaces réciproques occupés par l'enseignant et l'apprenant à propos des objets de savoir. La chronogenèse définit ce qui relève de la production des savoirs au fil de la temporalité didactique. Dans un contrat classique (au sens de Brousseau), c'est l'enseignant qui a le

contrôle de la gestion du temps didactique et qui fait avancer l'enseignement. Ces deux genèses articulées permettent de montrer la solidarité entre l'évolution des savoirs et les changements des rapports de connaissance de la part d'élèves qui « se déplacent » ainsi symboliquement dans le rapport qu'ils ont à l'enseignant. Cette façon de présenter les choses montre que, au cours d'une situation d'enseignement et d'apprentissage, il y a des rapports entre l'enseignant et l'apprenant qui prennent des formes différentes, ce qui se traduit par un dynamisme dans la construction du milieu : ce milieu est co-construit par l'enseignant et les élèves depuis leurs places symboliques (topos) déterminées par leur rapport différentiel à l'objet d'enseignement/apprentissage. Donc, durant une séquence d'enseignement bien organisé, il aura des phases de médiation et des phases d'autonomie, cela dépend de la place de l'enseignant et de l'apprenant par rapport à la tâche didactique proposée.

En se situant du point de vue de l'enseignant, Schoenfeld (1987) décrit différentes manières de développer des métaconnaissances chez les apprenants. Une de ces manières est de pousser les apprenants à expliciter leur propre démarche dans la résolution des problèmes, le rôle de l'enseignant étant de poser des questions critiques sur ces explicitations, en organisant des discussions avec la classe. Mais, comme le relève Legrand (1991), l'expérience montre que ce n'est que très exceptionnellement qu'un élève arrive à pousser seul ses réflexions méta-scientifiques. Une autre manière est de faire travailler les apprenants en petits groupes, en intervenant au fur et à mesure sur les stratégies de résolution. Ceci fait ouvrir la question de la relation au groupe, quel type d'autonomie dans un essai d'élaboration commune de résolution ?

Dans la relation au groupe, l'autonomie n'est pas synonyme d'isolement et de refus de travail en commun. Le partage de son expérience et la confrontation des idées avec les autres, la défense de son point de vue et l'acceptation d'une responsabilité individuelle dépendent de ses propres connaissances et ils supposent, par exemple dans le cas de l'engagement dans une situation de recherche en mathématiques, une discussion de ses propres choix de résolution.

Dans la relation aux savoirs, l'autonomie se traduit par l'action de s'informer et de se poser des questions, organiser et évaluer son travail, analyser ses informations, mobiliser ce qui a été appris. Dans ce sens, on peut faire l'hypothèse que le développement des concepts et des notions mathématiques dans différents *registres de représentation* (Duval 1995) peut favoriser l'autonomie, dans la mesure où il permet de diversifier des choix dans la résolution des problèmes, où il autorise une flexibilité dans la manipulation des objets mathématiques selon le contexte et les besoins de la situation mathématique proposée.

L'autonomie d'un apprenant s'exprime par l'aptitude à organiser son travail seul et avec d'autres, à contrôler, relativement, ses propres interactions avec le milieu, en mobilisant ses connaissances propres, dans le cadre d'un contrat didactique donné. Dès que l'apprenant dispose des outils nécessaires à son apprentissage (des ressources pédagogiques, des outils technologiques différents : calculatrices, logiciels), et dans la mesure où la tâche est bien adaptée à ses possibilités et ses besoins, l'interaction « apprenants-ressources » manifeste cette autonomie dans un milieu organisé dans le but d'atteindre les objectifs didactiques de cette activité. Schoenfeld (1985) développe l'idée qu'il faut travailler avec les étudiants explicitement : sur la méthode de résolution de problème, sur les moyens de contrôle et sur leur représentation et conception des mathématiques. Ceci influe sur la mise en fonction de leurs connaissances mathématiques.

### 1.2.3 L'autonomie et le rôle des TICE

Les TICE peuvent aider, dans certains de leurs aspects d'utilisation, au développement de l'autonomie : elles peuvent enrichir le milieu permettant aux élèves de confronter conjectures et hypothèses, de développer leurs démarches et de contrôler leurs solutions. On peut faire



l'hypothèse que le passage de l'activité instrumentée<sup>9</sup> à l'activité papier-crayon (et réciproquement) peut favoriser cet apprentissage en autonomie : ce passage suppose d'une certaine manière, que les apprenants explicitent leurs modes de raisonnement (et donc développe cette aptitude).

L'autonomie ne signifie pas l'individualisation et l'indépendance absolue. L'indépendance par rapport aux ressources et aux environnements informatiques et technologiques mis en jeu est relative : la technologie influe d'une façon ou d'une autre sur la nature, la forme ainsi que sur le degré de l'autonomie dans les activités d'enseignement et d'apprentissage. Bruillard (1997) distingue ainsi deux types d'environnement, suivant l'autonomie qu'ils accordent aux apprenants, les *tuteurs intelligents automatisés* et les *environnements exploratoires* :

- les tuteurs intelligents sont conçus pour conduire l'enseignement de connaissances qui ont été modélisées et implémentées. L'action des apprenants y est donc fortement structurée, laissant peu de place à l'autonomie telle qu'elle a été définie ci-dessus (§ 2.1) ;
- les environnements exploratoires, comme les micromondes, constituent des environnements ouverts, de découverte dans le processus de construction du savoir. Ils contraignent peu les choix des apprenants, leur laissant une grande marge pour un apprentissage autonome, et permettant même de développer l'apprentissage de l'autonomie.

Le développement de métaconnaissances est lié à l'évolution de nos rapports au savoir et aux outils mis en œuvre au cours des processus d'apprentissage. Un aspect de la dimension méta (§ 1.2.1) est particulièrement concerné ici, il est relatif aux modes de production et au fonctionnement mathématique (contrôle et guidage) (Robert et Robinet 1996). La question du contrôle (Trouche 2004) est sans doute cruciale pour l'utilisation des TICE. Son développement intervient à la fois dans l'apprentissage de l'autonomie et dans l'apprentissage en autonomie.

#### 1.2.4 L'autonomie et l'évaluation

La question de l'évaluation dans un apprentissage en autonomie peut être comprise de deux façons :

- l'évaluation de l'apprentissage des connaissances visées après un apprentissage en autonomie ;
- l'évaluation du degré d'autonomie chez l'apprenant et les conditions qui favorisent le développement de cette autonomie.

Il s'agit, dans notre étude, de situer la place de l'évaluation dans un apprentissage en autonomie avec les logiciels et les calculatrices selon les deux sens de cet apprentissage (§ 1.2.1), dans le contexte des recherches dans la période concernée (2002-2008). Aucune forme d'autonomie (§ 1.2.1) n'est possible sans une part d'auto-évaluation. Nous distinguons différents types d'auto-évaluation :

- l'auto-évaluation de la pertinence des choix et des stratégies de travail, et de l'utilisation de la technologie, lorsqu'elle existe, à la disposition de l'apprenant ;
- l'auto-évaluation dans un but de régulation et de contrôle lors de l'activité. Le contrôle permet aux élèves de repérer eux-mêmes leurs erreurs et leurs contradictions et donc de se questionner ;
- l'auto-évaluation du travail réalisé par rapport à l'intention de l'enseignant.

En nous appuyant sur ce dernier type d'auto-évaluation, nous faisons l'hypothèse que l'activité de l'apprenant dans une situation didactique n'est pas totalement libre, même dans le

---

<sup>9</sup> On désigne ici par « activité instrumentée » l'activité médiée par des TIC.

cadre des situations qui attribuent à l'apprenant une grande part d'autonomie. La prise en compte, par l'apprenant, des intentions de l'enseignant contraint son autonomie, comme le type de situation mathématique et son *orchestration* (Trouche 2004) par l'enseignant.

## 2. Méthodologie

Nous avons constitué notre corpus à partir de deux coupes :

- nous avons d'abord repris les publications de notre première étude (partie I), qui avait délimité son champ sur un critère technologique : les calculatrices de différents types. Nous avons pu alors valider l'hypothèse que la période 2002-2008 est une période charnière, après une période focalisée sur les calculatrices symboliques et ouvrant sur une autre période focalisée sur les questions de connectivité, de réseau et d'outils nomades. Nous allons reprendre l'étude de ce corpus, du point de vue du développement de l'autonomie des élèves ;
- la commande qui nous était faite ne se limitait pas aux seules calculatrices, mais concernait l'ensemble des technologies mobilisables au service de l'enseignement des mathématiques. Ce champ étant très vaste, nous avons choisi de limiter notre étude aux articles de la revue Repères-IREM, pour un ensemble de raisons : c'est une revue intermédiaire entre le monde de la recherche et le monde de l'enseignement, et le réseau des IREM a été, et est, très actif dans le domaine des recherches sur l'intégration des TICE.

Sur chacune des deux coupes, nous avons retenu des articles en relation avec la question de l'autonomie. La façon dont la sélection de ces articles a été faite est liée à des critères explicités ci-dessous (§ 2.1 et § 2.2).

### 2.1 La coupe du critère technologique : les calculatrices

Nous voulons ici analyser le rôle de la technologie pour le développement des apprentissages autonomes, en relation avec l'évolution de la technologie des calculatrices. Comment faire cette étude ?

Tout d'abord, nous avons choisi, dans le corpus des 35 publications déjà sélectionnées, les articles où il est question d'autonomie.

Nous avons cherché pour cela, dans un premier temps, les articles qui se centraient totalement ou partiellement sur les apprenants et leurs tâches, ainsi que les articles qui parlent de la technologie et de leur potentialité pour l'apprentissage des élèves. Nous n'avons pas retenu certains articles qui décrivent des situations et proposent des stratégies de résolution à destination des enseignants (De Graeve 2003 ; Egger 2002) car nous recherchions essentiellement des articles qui prennent en compte les processus d'apprentissage. Nous avons pu ainsi sélectionner 16 articles.

Dans un deuxième temps, nous avons sélectionné parmi les 16 articles de ce corpus, ceux qui évoquaient les questions d'autonomie des élèves, à partir des critères suivants :

- l'article évoque les activités des apprenants avec les calculatrices, et une phrase au moins y évoque un degré ou forme d'autonomie ;
- l'article évoque l'activité de l'apprenant hors du temps de l'enseignement (chez lui, dans la salle informatique dans les temps libres...) ;
- l'article traite du sujet de l'autonomie directement, ou partiellement comme objet de l'étude.

Nous avons pu remarquer à travers l'étude de ces articles, que l'autonomie dans l'apprentissage avec des calculatrices et/ou des logiciels n'est pas un sujet qui est traité de façon directe. Cela apparaît clairement en appliquant une recherche d'occurrence du mot

« autonomie ». Ce mot n'apparaît que dans 3 articles : (Artigue 2002), (Moisan 2006) et (Hivon *et al* 2008).

Comme nous l'avons déjà signalé (§ 1.2.1), cette question d'autonomie est liée, de façon indirecte au développement de métaconnaissances qui peuvent ainsi nous servir d'indicateur dans notre étude. Nous avons donc choisi un autre critère de sélection, en retenant les articles qui évoquaient :

- le méta comme un moyen favorisant les apprentissages ;
- le méta comme une fin dans la constitution et la régulation des connaissances.

Nous avons retenu finalement, au terme de ce processus, six articles :

ARTIGUE M. (2002), L'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement secondaire : les leçons de quelques ingénieries didactiques, in D. Guin et L. Trouche (dir.) *Calculatrices symboliques, transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, p. 277-349, Grenoble : La Pensée Sauvage.

HIVON L., MANUEL P., TROUCHE L. (2008), D'un réseau de calculatrices à la construction collaborative du savoir dans la classe, *Repères-IREM* 72 et *EducMath*

[http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

LAGRANGE J.-B, HEILBRONNER L. (2003), Adapter un logiciel de calcul formel pour l'utiliser avec des élèves de Lycée, *Bulletin de L'APMEP* 445, 225-232.

MOISAN J. (2006), Des outils numériques pour l'enseignement des mathématiques, *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 4-8.

NOGUÈS M. (2006), Des calculatrices en classe, *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 47-49.

VERDIER J. (2002), Les calculatrices n'ont pas toujours raison, un exemple le calcul de  $A - 9x^4 - y^4 + 2y^2$  pour  $x = 10\ 864$  et  $y = 18\ 817$ , *Bulletin de l'APMEP* 440, 293-302.

## 2.2 La coupe de la revue Repères-IREM

Pour prendre en compte d'autres technologies que les calculatrices, nous avons choisi la revue Repères-IREM (voir <http://www.univ-irem.fr/commissions/reperes/reperes.html>), qui a pour objectif de diffuser les réflexions des praticiens et des chercheurs à propos de l'enseignement des mathématiques. Comment est traitée la question de l'apprentissage en autonomie avec les logiciels et les calculatrices dans cette revue ?

Tous les articles de Repères-IREM, entre 2002 et 2008 (du numéro 46 jusqu'au numéro 72), ont été consultés, certains étaient disponibles en ligne <http://www.univ-irem.fr/commissions/reperes/consulter/consulter.html>, les autres ont été consultés à la bibliothèque de l'IREM de Lyon. Nous n'avons retenu, parmi les articles qui évoquent l'intégration des logiciels et des calculatrices dans l'enseignement des mathématiques, que les articles qui se situent au niveau du lycée : en effet, les 35 publications de la première étude étant de niveau du lycée, il était cohérent de conserver le même niveau scolaire dans les deux coupes d'étude. Nous avons ainsi trouvé 13 articles :

DUTARTE P. (2002), La simulation en statistique, *Repères-IREM* 47, 93-111.

FONTANA J., NOGUÈS M. (2002), Simulation et modélisation : étude d'un exemple, *Repères-IREM* 46, 39-55.

GUIN D., TROUCHE L. (2004), Intégration des TICE : concevoir, expérimenter et mutualiser des ressources pédagogiques, *Repères-IREM* 55, 81-100.

HACHE S. (2006), Entre TICE et papier, il est urgent de ne pas choisir, *Repères-IREM* 63, 94-98.

- HERSANT M., VANDEBROUCK F. (2006), Bases d'exercices de mathématiques en ligne et phénomène d'enseignement apprentissage, *Repères-IREM* 62, 71-84.
- HIVON L., MANUEL P., TROUCHE L. (2008), D'un réseau de calculatrices à la construction collaborative du savoir dans la classe, *Repères-IREM* 72 et *EducMath*  
[http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)
- KITTEL M., KUNTZ G. (2002), De la possible influence de l'environnement informatique sur l'enseignement mathématique. Étude d'un exemple, *Repères-IREM* 49, 41-58.
- MIZONY M. (2006), Le calcul formel dans l'enseignement des mathématiques. Mathématiques, sciences expérimentales et d'observation à l'école primaire, *Repères-IREM* 62, 85-97.
- PARZYSZ B. (2007), Expérience aléatoire et simulation : le jeu de croix ou pile. Relecture actuelle d'une expérimentation déjà ancienne, *Repères-IREM* 66, 27-44.
- PLUVINAGE F. (2004), Enseigner avec des documents en ligne, *Repères-IREM* 56, 95-103.
- RODDIER J.-A. (2002), Conjectures en arithmétique, *Repères-IREM* 46, 91-106.
- STOLL A. (2007), Mesure l'aire sous une hyperbole en première S, *Repères-IREM* 69, 33-47.
- TOURNÈS D. (2005), Construction d'une équation algébrique, *Repères-IREM* 59, 69-82.

#### *Sélection des articles en relation avec l'autonomie*

Parmi ces articles, nous avons retenu, en suivant le même filtre que pour la sélection précédente ceux qui parlent du développement de l'apprentissage en autonomie (c'est-à-dire les articles qui parlent d'apprentissage, où l'autonomie est présente dans une phase de l'activité décrite). Nous avons ainsi fait la sélection de 5 articles parmi les 13, dont un article qui se trouve en même temps dans les deux axes d'étude (Hivon et al 2008) :

- HERSANT M., VANDEBROUCK F. (2006), Bases d'exercices de mathématiques en ligne et phénomène d'enseignement apprentissage, *Repères-IREM* 62, 71-84.
- HIVON L., MANUEL P., TROUCHE L. (2008), D'un réseau de calculatrices à la construction collaborative du savoir dans la classe, *Repères-IREM* 72 et *EducMath*  
[http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)
- PARZYSZ B. (2007), Expérience aléatoire et simulation : le jeu de croix ou pile. Relecture actuelle d'une expérimentation déjà ancienne, *Repères-IREM* 66, 27-44.
- RODDIER J.-A. (2002), Conjectures en arithmétique, *Repères-IREM* 46, 91-106.
- STOLL A. (2007), Mesurer l'aire sous une hyperbole en première S, *Repères-IREM* 69, 33-47.

### **2.3 Liste des articles retenus**

Finalement, en réunissant les résultats des deux coupes (§ 2.1 et § 2.2), nous avons retenu 10 articles :

- ARTIGUE M. (2002), L'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement secondaire : les leçons de quelques ingénieries didactiques, in D. Guin et L. Trouche (dir.) *Calculatrices symboliques, transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, p. 277-349, Grenoble : La Pensée Sauvage.
- HERSANT M., VANDEBROUCK F. (2006), Bases d'exercices de mathématiques en ligne et phénomène d'enseignement apprentissage, *Repères-IREM* 62, 71-84.

HIVON L., MANUEL P., TROUCHE L. (2008), D'un réseau de calculatrices à la construction collaborative du savoir dans la classe, *Repères-IREM* 72 et EducMath [http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

LAGRANGE J.-B, HEILBRONNER L. (2003), Adapter un logiciel de calcul formel pour l'utiliser avec des élèves de Lycée, *Bulletin de L'APMEP* 445, 225-232.

MOISAN J. (2006), Des outils numériques pour l'enseignement des mathématiques, *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 4-8.

NOGUÈS M. (2006), Des calculatrices en classe, *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 47-49.

PARZYSZ B. (2007), Expérience aléatoire et simulation : le jeu de croix ou pile. Relecture actuelle d'une expérimentation déjà ancienne, *Repères-IREM* 66, 27-44.

RODDIER J.-A. (2002), Conjectures en arithmétique, *Repères-IREM* 46, 91-106.

STOLL A. (2007), Mesurer l'aire sous une hyperbole en première S, *Repères-IREM* 69, 33-47.

VERDIER J. (2002), Les calculatrices n'ont pas toujours raison, un exemple le calcul de  $A = 9x^4 - y^4 + 2y^2$  pour  $x = 10\ 864$  et  $y = 18\ 817$ , *Bulletin de l'APMEP* 440, 293-302.

## 2.4 La conception des fiches d'analyse

Nous avons mis à l'épreuve un modèle de fiche d'analyse sur deux de ces articles (Lagrange et Heilbronner 2003) et (Roddier 2002). Nous nous sommes d'abord appuyés sur le modèle de la fiche résumé de la première partie (cf. partie 1) : référence de l'article, type d'article ainsi qu'un résumé du contenu. Pour faciliter la compréhension du lecteur, nous avons ajouté une rubrique descriptive de l'article.

En correspondance avec notre question de recherche, nous avons pris comme point d'appui la synthèse sur l'autonomie et ses relations avec le système didactique et les TICE (§ 1.2), pour compléter cette grille d'analyse : le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant, le milieu d'activité de l'apprenant, le processus d'apprentissage en relation avec la technologie, la proposition des situations mathématiques génériques.

Lors de la sélection des articles, nous avons remarqué que la question d'autonomie n'est, en général, pas explicitée dans la majorité des articles, mais est traitée d'une façon implicite et se révèle suivant différents aspects : gestes, types d'activité pouvant faire référence à l'autonomie en se situant au niveau des métaconnaissances. Ceci qui nous a conduit à concevoir une rubrique permettant d'être plus explicite.

Tester le modèle des fiches d'analyse nous a permis d'affiner les contenus des différents champs du modèle et les objectifs de chacune des rubriques. Finalement, le modèle que nous avons retenu est ainsi constitué :

- *référence de l'article* : mise aux normes de la revue RDM (Recherches en didactique des mathématiques) ;
- *type et résumé de l'article* : est-ce qu'il s'agit d'un article de recherche, d'une description d'une expérimentation ou un article de réflexion générale ?
- *type et nature de la technologie* : quel est le support technologique objet de l'article et la nature de son intégration (est-ce qu'il est associé à d'autres technologies, y a-t-il fonctionnement en réseau ou pas, possibilité de projection...) ;
- *le milieu d'activité de l'apprenant* : en classe ou hors classe, quel matériel est mis à sa disposition, quelles caractéristiques des ressources conçues, quelle interaction avec les autres apprenants et quel aspect du travail en groupe ;

- *le processus d'apprentissage en relation avec la technologie* : quel rôle est dédié à la technologie dans les processus d'apprentissage. Dans les phases d'activités en autonomie, quel rôle est donné à la technologie ?

- *les interfaces, les rétroactions et le degré de l'autonomie* (Bruillard 1997) : les interfaces de manipulation et les interfaces de visualisation ont un rôle réactif sur l'activité des apprenants. Est-ce qu'il y a une spécificité dans les interfaces de la technologie pour favoriser l'autonomie ?

- *le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant* : quelle est la part explicite du contrat entre l'enseignant et l'apprenant, quel est le rôle de l'enseignant dans la façon de présenter le savoir à enseigner pour développer un apprentissage en autonomie ou concevoir des séquences d'activité autonome aux apprenants, quel est son rôle dans le développement des métaconnaissances ?

- *proposition des situations mathématiques génériques* : est-ce que l'article propose des idées de ressources ou des constituants de ressources et des situations mathématiques pour pousser un apprentissage en autonomie ? Quel lien entre le type de situation et le développement d'apprentissage en autonomie avec un environnement technologique (situation problème, problème ouvert, situation de recherche ou autres...), Robert et Robinet (1996) évoquent ce rôle des situations mathématiques pour la construction du méta sur le savoir mathématique ;

- *suivi de la genèse instrumentale* (Rabardel 1995) : un travail en autonomie avec les logiciels et les calculatrices est lié d'une façon ou d'autre au développement du processus d'instrumentation et à la construction, par l'apprenant, de son propre instrument à partir de l'artefact proposé. Dans quel sens est développée cette genèse instrumentale ? Est-ce vers un usage autonome de l'instrument construit ou vers un travail toujours assisté, guidé ou orienté ? ;

- *évaluation de l'apprentissage des mathématiques* : la question de l'évaluation de l'apprentissage des mathématiques peut être cherchée dans les études suivantes dans deux perspectives : l'évaluation par l'apprenant de ses propres apprentissages (§ 1.2.4, p. 65 ) et l'évaluation de ses apprentissages autonome par l'enseignant ;

- *commentaire et bilan* : il s'agit ici de souligner l'interaction des informations existantes dans les différentes rubriques.

Après avoir analysé les différents articles, nous avons regroupé les fiches correspondant à chacune des deux coupes pour interpréter les résultats. Une synthèse des résultats recueillis permet de proposer quelques conclusions.



### **3. Fiches d'analyse des 10 articles retenus**



## Artigue 2002

### *Référence de l'article*

ARTIGUE M. (2002), L'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement secondaire : les leçons de quelques ingénieries didactiques, in D. Guin et L. Trouche (dir.) *Calculatrices symboliques, transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, p. 277-349, Grenoble : La Pensée Sauvage.

### *Type et résumé de l'article*

C'est un article de recherche. Il aborde la question de l'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement, à travers l'analyse de deux ingénieries didactiques développées et expérimentées par l'équipe ERES et l'équipe DIDIREM. La première ingénierie concerne le calcul exact et approché, l'équivalence d'expressions en seconde (10<sup>e</sup> grade), la seconde ingénierie concerne l'enseignement des dérivées en première scientifique (11<sup>e</sup> grade). À travers l'analyse rétrospective de ces deux ingénieries, en utilisant différents cadres théoriques, il essaie de montrer comment les problèmes d'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement des mathématiques se posent quand on affronte la contingence des élèves dans les classes. Ceci conduit l'auteur, dans une dernière partie, à s'interroger sur les conditions de viabilité d'une telle intégration.

### *Type et nature de la technologie*

La calculatrice symbolique TI-92. Cette calculatrice contient des commandes très variées. Dans les séances décrites, on note la présence d'une calculatrice rétro-projetable dans la classe.

### *Le milieu d'activité de l'apprenant*

La première ingénierie est constituée de trois séances, qui ont comme but la prise en main de la calculatrice par les élèves. La seconde ingénierie concerne l'enseignement de la dérivée en première scientifique. Dans cette ingénierie, il y a une partie d'activité en classe avec des phases individuelles ou collectives et une autre partie d'activité hors classe.

### *Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Le descriptif de la première ingénierie souligne les interventions nécessaires de l'enseignant dans un but de contrôle de l'activité des élèves, le besoin de sensibiliser les élèves aux différences entre calcul machine et calcul papier/crayon, la nécessité d'un pilotage précis par l'enseignant des commandes manipulées par les apprenants. Dans la deuxième ingénierie, on souligne la présence de scénarios étroitement gérés par l'enseignant, avec une intervention forte. Un rôle important est donné aux enseignants pour accompagner les processus d'instrumentation des élèves.

### *Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

Le travail avec la calculatrice symbolique est plus économique : des expressions complexes peuvent être transformées rapidement ; elle aide à distinguer des expressions que certains élèves ont tendance à confondre ; elle met en évidence la fragilité des critères qui permettent aux élèves d'identifier factorisation et développement. Les phases d'explicitation des méthodes des élèves conduisent à l'enrichissement des méthodes instrumentées. Dans la deuxième ingénierie, le dispositif mis en place vise à augmenter progressivement l'autonomie de l'élève dans le travail mathématique. L'interaction progressive du travail à la main et du

travail à la machine joue un rôle important. Parfois, la machine donne des résultats « faux » et il faudra donc les interpréter pour arriver à un résultat correct.

#### *Les interfaces, les rétroactions et le degré de l'autonomie*

Les différentes commandes permettent, potentiellement, un passage rapide d'une application à l'autre. L'entrée d'une expression dans la calculatrice symbolique peut entraîner une simplification automatique de cette expression qui n'est pas nécessairement celle attendue, cela nécessite une interprétation de la part de l'apprenant. Dans une séance, des consignes sont données par le professeur pour noter les résultats et les messages d'erreurs donnés par la machine, ce qui développe la possibilité, pour les élèves, de contrôler les rétroactions de la machine. Les effets de zoom permis par la calculatrice constituent aussi un moyen pour les élèves de contrôler des propriétés et d'étayer leur argumentation.

#### *Proposition des situations mathématiques génériques*

Des situations mathématiques sont proposées dans l'article pour la prise en main de la calculatrice : calculs avec des décimaux et des fractions, calculs avec des puissances, calculs avec des racines carrées, calcul de factorisations et de développements, fiches d'application des règles de la dérivation. Une situation plus complexe est aussi proposée : le problème de la cuve (problème d'optimisation).

#### *Suivi de la genèse instrumentale*

Pour développer les processus d'instrumentation le professeur doit être conscient des problèmes posés par le calcul formel et son articulation avec le calcul numérique. La conception de séances de travail collectif permet d'articuler progressivement instrumentation et travail mathématique. La calculatrice donne parfois des résultats surprenants qu'il faut interpréter pour reformuler la commande et obtenir le résultat correct. L'auteur souligne l'importance du temps nécessaire pour le développement des genèses instrumentales.

#### *Evaluation de l'apprentissage mathématique*

Parfois, le processus de contrôle renvoie au problème de la reconnaissance d'un même objet mathématique à travers les différentes représentations qui peuvent lui être associées. En confrontant les élèves à des expressions inhabituelles, le travail instrumenté révèle la fragilité des connaissances. Le travail sur « l'équivalence des expressions algébriques » avec la calculatrice semble intéressant parce qu'il permet une double réflexion sur le calcul formel et le calcul algébrique.

#### *Commentaire et bilan*

L'article met en évidence le rôle des ingénieries pour favoriser le développement de l'autonomie chez les apprenants. Dans les analyses *a priori* des situations, une place importante est donnée aux conjectures : une culture algébrique et graphique avec les machines doit être mobilisée par les élèves pour effectuer ces conjectures. L'auteur insiste sur le rôle des techniques instrumentées, des techniques papier/crayon et de l'interaction progressive entre elles. En bref, l'articulation des activités papier/crayon et instrumentées, initiées par la recherche de conjectures, constitue une bonne base pour développer un travail autonome des élèves avec les calculatrices symboliques.

## Hersant et Vanderbrouck 2006

### *Référence de l'article*

HERSANT M., VANDEBROUCK F. (2006), Bases d'exercices de mathématiques en ligne et phénomène d'enseignement apprentissage, *Repères-IREM* 62, 71-84.

### *Type et résumé de l'article*

C'est un article de recherche. L'utilisation des logiciels se répand dans l'enseignement des mathématiques à tous les niveaux. Les ressources en ligne se développent, avec sans nul doute, un impact sur l'enseignement et l'apprentissage. Les auteurs s'intéressent, dans cet article, aux bases d'exercices d'accès libre (Math en Poche et Wims). Ils essaient de montrer comment l'utilisation de ce type de ressource peut influencer l'activité mathématique des élèves et requiert une adaptation de l'activité de l'enseignant.

### *Type et nature de la technologie*

Les logiciels de bases d'exercices d'accès libre en ligne : Math en Poche (Mep) et Wims.

### *Le milieu d'activité de l'apprenant*

Les environnements proposés dans l'article sont ceux comportant des aides de différents types, des outils (graphiques et de calcul), ainsi que la solution d'exercices et de problèmes. Un grand rôle est dédié à l'activité individuelle de l'apprenant face à l'ordinateur. Un travail en binôme est possible. Le travail avec ces logiciels peut intervenir en classe ou hors la classe.

### *Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Avec Wims, le rôle de l'enseignant consiste d'abord à assurer une séquence d'apprentissage, donc de concevoir une fiche TD-Wims constituée à partir d'une sélection d'activités, puis d'assurer des aides individuelles. Tandis que dans Mep, l'enseignant peut s'appuyer sur les exercices déjà existants pour aider les élèves en difficulté. Le travail de l'enseignant est de gérer l'articulation entre activités instrumentées et activité papier-crayon.

### *Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

L'utilisation des logiciels fait apparaître une augmentation de la motivation des élèves. L'usage de Mep suppose que l'élève recommence l'exercice pour améliorer ses scores. Mep suggère un parcours de travail, c'est à l'apprenant de suivre le rythme, tandis que dans Wims l'ordre de travail semble moins imposé et il permet aux élèves d'aller à leur propre rythme. Dans le cas de la proportionnalité, Mep met en jeu plus de changements de registres que ceux de Wims, ce qui permet une plus grande ouverture des choix possibles et, potentiellement, augmente l'autonomie. L'activité de l'élève est individualisée et dépend de ses propres choix.

### *Les interfaces, les rétroactions et le degré de l'autonomie*

Pour Mep, des séries d'exercice sont programmées. Les messages de rétroaction du logiciel proposent des aides en cas de réponse erronée, mais aussi des messages d'information à la suite d'une réponse correcte. Dans Wims, la méthode, en général, n'est pas donnée. Les traces de l'activité des élèves peuvent être enregistrées. (remarque : il me semble que c'est vrai aussi dans MEP...)

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

Non évoqué dans l'article. Mais l'analyse de ces environnements est faite à partir de cas : les fonctions numériques en seconde et la proportionnalité en sixième.

### *Suivi de la genèse instrumentale*

Non évoqué dans l'article.

### *Evaluation de l'apprentissage mathématique*

Les aides proposées par Mep sont parfois données dans d'autres registres, ce qui demande à l'élève une tâche supplémentaire pour adapter l'information donnée au problème proposé. Les aides ne se substituent pas complètement à l'intervention de l'enseignant et ne se traduisent pas par une autonomie complète de l'enseignant (pas clair je ne comprends pas)

### *Commentaire et bilan*

L'enregistrement des traces de leur activité peut influencer la façon avec laquelle les élèves exercent leur activité et apprennent, il peut susciter de la part de l'apprenant des ajustements et favoriser le contrôle de sa propre activité. Cette forme d'autonomie est plus favorisée dans Wims que dans Mep. Susciter et accompagner, une bonne articulation entre l'activité instrumentée et l'activité papier-crayon, de la part de l'enseignant peut cependant favoriser, dans les deux environnements, une autonomie des élèves.

*Référence de l'article*

HIVON L., MANUEL P., TROUCHE L. (2008), D'un réseau de calculatrices à la construction collaborative du savoir dans la classe, *Repères-IREM 72* et EducMath  
[http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

*Type et résumé de l'article*

Article de description d'une expérimentation. L'expérimentation au niveau lycée d'un réseau de calculatrices par une équipe de l'IREM d'Orléans, en partenariat avec l'INRP, a supposé de concevoir des situations mathématiques et des orchestrations instrumentales nouvelles, mettant en jeu l'intelligence collective de la classe. Cet article décrit les étapes de ce travail et montre comment les notions théoriques de travail collaboratif, de genèse instrumentale ou de praticien réflexif ont contribué à une meilleure compréhension de ce qui était en jeu dans cette expérimentation.

*Type et nature de la technologie*

Des calculatrices qui fonctionnent en réseau : le dispositif TI-Navigator. Ce dispositif permet de faire fonctionner 32 calculatrices en réseau. Il permet d'asseoir une pratique de classe sur une production commune.

*Le milieu d'activité de l'apprenant*

L'intégration de TI-Navigator dans la classe suppose un changement *d'orchestration instrumentale* (Trouche 2004). La mise en œuvre de ce dispositif modifie le rapport entre l'élève et la classe. Un écran dans la classe pour diffuser le travail des groupes forme un espace commun de travail. La mise en œuvre d'une situation dans un environnement TI-Navigator est particulièrement complexe pour le professeur.

*Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Un échange de données possible entre le professeur et l'ensemble des calculatrices des élèves. Des interventions de l'enseignant sont possibles selon les besoins des élèves. Le dispositif donne au professeur certains outils lui permettant de jouer son rôle au sein du débat de classe. C'est l'autonomie donnée aux élèves qui permet de développer un débat avec la classe entière. L'existence d'un débat à l'intérieur des groupes révèle l'autonomie individuelle dans les phases de recherche.

*Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

Ce dispositif ne permet pas d'échange des données entre les calculatrices des élèves. Dans l'expérimentation introduite dans l'article, la calculatrice est un outil pour répondre aux problèmes posés par les élèves lors de leur recherche. Avec TI-Navigator, l'objet mathématique construit est le résultat d'apports des élèves de la classe. Cette pratique est favorisée par cet environnement, qui permet aux élèves de s'extraire de leur production et de s'inclure dans un échange entre pairs. Ces actes (s'extraire, s'inclure) révèlent une forme d'autonomie : l'autonomie spatio-temporelle (§ 1.2.1).

*Les interfaces, les rétroactions et le degré de l'autonomie*

Une exposition des écrans des résultats d'élèves en mosaïque dans l'espace commun de travail constitue un objet partagé, soutenant le débat. Un paramétrage des calculatrices est possible pour l'adapter à la situation proposée et aux objectifs de l'enseignant.

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

L'intégration de TI-Navigator dans la classe suppose des situations mathématiques spécifiques et bien adaptées; une situation mathématique expérimentée est présente dans l'article : « Soit ABC un triangle isocèle en A tel que  $AB=AC= 10$  cm, quelle est l'aire de ce triangle ? », qui forme une introduction de la notion de fonction. Pour permettre le développement du débat des solutions des élèves, la question est posée sous la forme d'un problème ouvert.

### *Suivi de la genèse instrumentale*

Les processus de genèse instrumentale sont complexes. Le développement des processus d'instrumentalisation (les élèves s'approprient les calculatrices et les fonctionnalités du réseau, parfois dans un sens non prévu par le professeur) manifeste une forme d'autonomie des élèves.

### *Evaluation de l'apprentissage mathématique*

Le dispositif matériel éloigne géographiquement l'élève de sa production. Il induit de fait une relation plus distanciée, plus critique, entre l'élève et les mathématiques qu'il produit, ce qui peut susciter des aspects d'auto-évaluation des choix et des stratégies et du travail réalisé (§ 1.2.4, p. 65).

### *Commentaire et bilan*

La complexité de l'environnement suppose une analyse de l'autonomie suivant des phases d'activités différentes : des phases en groupe, des phases de travail individuel et des phases de publication. Le degré d'autonomie des élèves dépend des situations mathématiques conçues par l'enseignant et de son mode d'exploitation du dispositif technologique (le réseau).

## Lagrange et Heilbronner 2003

### *Référence de l'article*

LAGRANGE J.-B, HEILBRONNER L. (2003), Adapter un logiciel de calcul formel pour l'utiliser avec des élèves de Lycée, *Bulletin de L'APMEP* 445, 225-232.

### *Type et résumé de l'article*

C'est un article de description d'une expérimentation. L'utilisation de logiciels de calcul formel, développés pour les mathématiques professionnelles, était prometteuse à l'origine mais s'avère à l'usage plus délicate que prévue. Un groupe de travail de l'IREM de Rennes a construit un ensemble de situations d'utilisation du logiciel DERIVE en classe de Seconde, en déterminant les commandes de calcul formel liées au problème. Le logiciel est paramétré pour qu'il ne propose que ces commandes. Par ailleurs, le groupe a mis l'accent sur les démarches de preuves, et sur ces bases a réalisé une maquette. L'article donne un exemple d'utilisation, avec présentation des écrans successifs, et termine par des observations sur le comportement des élèves et les perspectives d'avenir du projet.

### *Type et nature de la technologie*

Le logiciel DERIVE (version DOS), calculatrice symbolique TI-92. Une version adaptée du logiciel DERIVE est implémentée dans la calculatrice TI-92. Une possibilité d'enregistrement de l'historique des gestes des élèves est prévue.

### *Le milieu d'activité de l'apprenant*

L'activité proposée pour l'apprenant est une activité en classe. Outre l'environnement technologique cité ci-dessus, l'activité papier-crayon de l'élève est prise en compte. Les apprenants ont le choix de leurs gestes de manipulation, d'exploration et des modes de justification.

### *Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

La rapidité d'exécution qu'offre la calculatrice TI-92 permet d'élaborer plusieurs stratégies sans que l'enseignant n'intervienne pour relancer le travail de l'apprenant. Une liste des menus et commandes (maquette « variato ») est mise à disposition de l'élève pour justifier une conjecture, en lui laissant le choix de la règle et le type d'expression à laquelle s'applique cette règle.

### *Les interfaces, les rétroactions de l'environnement et le degré de l'autonomie*

Il est possible d'adapter le logiciel (désactivation des commandes) pour qu'il ne propose que les commandes utiles pour la réalisation de la tâche selon les intentions de l'enseignant. Dans L'article décrit une maquette de logiciel appelé « variato » (qui contient un ensemble des menus de commande) qui est mise à l'épreuve. Le logiciel ne guide pas et ne propose pas d'aide : il renvoie des messages d'erreurs difficiles à interpréter. La taille de l'écran ne facilite pas la lisibilité, elle restreint la longueur des expressions et des messages d'erreurs ce qui nécessite l'intervention de l'enseignement pour des éclaircissements.

### *Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Lors d'une première utilisation du logiciel DERIVE implémenté dans la calculatrice, la difficulté à prendre des initiatives pour la construction d'un raisonnement conduit à un fréquent recours à l'enseignant, aussi bien pour des questions de syntaxe que de non-compréhension.

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

Un exemple est donné dans l'article sous forme d'une situation de recherche : position relative de la courbe représentant  $x \mapsto \sin x$  et de la droite représentant  $x \mapsto \frac{3x}{\pi}$  sur  $\left[0; \frac{\pi}{2}\right]$ .

Dans cet exemple, l'auteur montre les différents gestes et règles d'actions d'un élève ainsi que la rétroaction du logiciel, à partir des copies d'écran.

### *Suivi de la genèse instrumentale*

La nature de l'entraînement et le développement des usages du logiciel assistés par l'enseignant influencent le développement d'une résolution de problème en autonomie. Le temps est un facteur important pour le développement de ce type d'apprentissage : les élèves qui ont peu recouru à l'exploration de la représentation graphique, même s'ils sont utilisateurs de la calculatrice graphique, ont des difficultés à développer cet outil de conjecture. Les élèves qui ont utilisé plusieurs fois dans l'année le logiciel développent des techniques de recherche et de justification.

### *Evaluation de l'apprentissage mathématique*

L'élève dispose d'outils d'explorations classiques dans la maquette « variato » : graphique, table de valeurs, factorisation, racines, équations. Il peut aussi contrôler la validité de ses conjectures à l'aide du menu des justifications.

### *Commentaire et bilan*

De cet article, on peut tirer que le développement d'un apprentissage autonome avec l'environnement technologique dépend de la façon dont cet environnement est exploité par l'enseignant, de la facilité de la prise en main par les élèves de la technologie ainsi que de la pertinence des ressources conçues pour cet apprentissage.



## Moisan 2006

### *Référence de l'article*

MOISAN J. (2006), Des outils numériques pour l'enseignement des mathématiques, *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 4-8.

### *Type et résumé de l'article*

C'est un article de réflexion générale qui décrit l'état des lieux de l'utilisation des outils numériques dans l'enseignement des mathématiques. L'usage des logiciels et calculatrices de différents types demande, tout d'abord, une maîtrise de ces outils avant d'apporter, dans un deuxième temps, un enrichissement au niveau du raisonnement, de la résolution des problèmes et de l'apprentissage des mathématiques. L'intégration des outils numériques dans l'enseignement permet de poser des questions sur l'évaluation, l'autorisation de ces outils dans les examens et le type d'épreuve mise en œuvre. L'auteur relève l'évolution qu'ont subie les concours de recrutement des enseignants, dans le sens de la prise en compte de l'informatique dans l'enseignement des mathématiques.

### *Type et nature de la technologie*

Calculatrices : graphiques et symboliques ; logiciels : tableur-grapheur, logiciel de construction géométrique, logiciel de calcul et traçage. Le rôle des logiciels est d'aider dans la résolution des problèmes. Les exercices sont des logiciels d'entraînement dans des domaines mathématiques divers (en ligne ou hors ligne).

### *Le milieu d'activité de l'apprenant*

L'utilisation des calculatrices graphiques est recommandée dans les programmes des lycées mais encore, l'auteur recommande une utilisation des logiciels hors du temps d'enseignement chez eux ou à l'école pour permettre à l'apprenant une phase d'activité seul ce qui favorise une autonomie et les compétences d'auto-évaluation. L'auteur recommande une imposition d'un modèle de calculatrice unique, ce qui rendrait, selon lui, l'intégration technologique plus aisée et plus efficace.

### *Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Pour chaque domaine mathématique, des outils technologiques peuvent faciliter l'apprentissage. La présence de calculatrices hétérogènes dans les classes gêne le travail de l'enseignant et empêche les élèves d'apprendre, de façon économique à utiliser ces outils pour le travail mathématique. L'auteur souligne l'absence d'une formation adaptée pour les enseignants à l'utilisation de la technologie.

### *Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

La maîtrise d'un logiciel de géométrie dynamique (GD) prépare les élèves à l'utilisation de logiciels professionnels, ce qui peut conduire à un apprentissage d'autonomie en ce domaine. L'utilisation des outils technologiques doit inclure un apprentissage de leur utilisation critique, de leurs limites, et de la nécessité du contrôle des résultats, ce qui peut aussi favoriser l'autonomie. La manipulation des logiciels doit être coordonnée avec une utilisation du papier-crayon (ex : une conjecture est validée par une démonstration). La maîtrise technique doit être acquise très tôt par les élèves afin que les problèmes pratiques d'utilisation du logiciel n'interfèrent pas sur l'activité mathématique. Les exercices permettent aux élèves de s'entraîner et de se tester en autonomie.

### *Les interfaces et le degré de l'autonomie*

Les logiciels de GD sont une aide à la description et à la vision de solides et à l'acquisition de la vision dans l'espace, ce qui favorise une autonomie dans ce type d'activité mathématique. Les plus performants des exercices sont ceux qui proposent une analyse d'erreurs et des outils d'aide ou de remédiation.

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

Pas évoquées dans l'article.

### *Suivi de la genèse instrumentale*

Les calculatrices récentes sont complexes et nécessitent un apprentissage spécifique. L'auteur souligne que, jusqu'à ce jour, il n'y a pas de prise en compte, dans les épreuves de mathématiques des examens, des compétences liées à l'utilisation des outils technologiques.

### *Évaluation de l'apprentissage mathématique*

Lors d'une séquence de travaux pratiques, un compte rendu de travaux pratiques est demandé et corrigé par le professeur, ce qui constitue une explicitation du mode de raisonnement mettant en évidence une autonomie déjà réalisée. Une perspective de développement est évoquée : concevoir des épreuves pratiques en mathématiques.

### *Commentaire et bilan*

L'auteur recommande la conception de ressources sous la forme de travaux pratiques en mathématiques. Les épreuves pratiques en mathématique constituent une mise en œuvre d'un travail en autonomie. Concevoir des épreuves pratiques pour les examens en mathématiques peut contribuer à l'orientation d'une politique de formation et d'enseignement pour plus d'autonomie des apprenants.

## Noguès 2006

### *Référence de l'article*

NOGUÈS M. (2006), Des calculatrices en classe, *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 47-49.

### *Type et résumé de l'article*

C'est un article de réflexion générale, qui traite la question des situations mathématiques adaptées à l'usage des calculatrices (graphique ou symbolique). Noguès dans son article traite deux situations particulièrement adaptées à des calculatrices graphiques et symboliques. Une description est faite des différentes phases de l'activité des apprenants.

### *Type et nature de la technologie*

Calculatrice graphique et symbolique. Une possibilité de projection de l'écran d'une calculatrice pour mener une réflexion sur les tâches réalisées.

### *Le milieu d'activité de l'apprenant*

Les programmes de mathématiques donnent un rôle aux TICE, pour effectuer des calculs, mais encore contrôler des résultats ; un travail en groupe des élèves est possible dans des phases de recherche.

### *Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Non évoqué dans l'article.

### *Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

La nature des travaux susceptibles d'être menés à l'aide de la calculatrice est liée à la puissance de l'outil.

### *Les interfaces et le degré de l'autonomie*

Des allers-retours sont nécessaires entre les données à l'écran et la réflexion théorique. Un travail d'ajustement de fenêtre lors de l'activité de recherche est nécessaire. Il faut donner aux élèves des informations sur la transposition informatique (représentations des nombres en machine par exemple) qui permettent de comprendre les calculs réalisés et de contrôler, dans une certaine mesure, les résultats.

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

Trois moments mathématiques dans lesquels l'utilisation des calculatrices est plus particulièrement pertinente : illustration de résultat, vérification ou anticipation de résultats avec une activité papier/crayon en parallèle, travail expérimental dans la recherche de conjectures. Scénarios de mise en scène de ces situations : utilisation guidée par l'enseignant ou manipulation libre par les élèves lors des travaux personnels. Un exemple de suite numérique est proposé dans l'article et un autre exemple de calcul intégral avec l'étude d'un traitement possible avec une calculatrice.

### *Evaluation de la genèse instrumentale*

Les calculatrices sont en complexification ascendante même s'il y a une simplicité apparente : « il suffit d'appuyer sur une touche ». Donc une phase d'apprentissage est nécessaire avant de proposer des activités autonomes.

### *Evaluation de l'apprentissage mathématique*

Dans l'activité avec les calculatrices, les élèves doivent contrôler la cohérence entre l'activité instrumentée et l'activité papier/crayon. C'est une forme d'auto-évaluation de leur propre activité.

### *Commentaire et bilan*

La mise en commun de travail des apprenants, après une phase d'activité de recherche individuelle ou en groupe, peut favoriser une autonomie en mettant en évidence une grande variété de démarches possibles. Faire apprendre, en s'appuyant sur une démarche expérimentale avec les calculatrices, peut favoriser l'apprentissage en autonomie surtout dans la phase de recherche des conjectures. Contrôler et interpréter les résultats et les rétroactions des outils est une phase importante dans l'apprentissage de l'autonomie.

*Référence de l'article*

PARZYSZ B. (2007), Expérience aléatoire et simulation : le jeu de croix ou pile. Relecture actuelle d'une expérimentation déjà ancienne, *Repères-IREM* 66, 27-44.

*Type et résumé de l'article*

C'est un article qui décrit une expérimentation. Il développe, à la lumière des nouveaux programmes de statistique du lycée, l'analyse d'une séquence réalisée en classe de 1<sup>re</sup> Économique et Sociale en 1997 à partir d'un extrait de l'article de d'Alembert (l'Encyclopédie) "croix ou pile" et qui oppose deux modèles, distincts et contradictoires, d'une même expérience aléatoire simple : "obtenir pile en au plus deux lancers d'une pièce". Conformément aux attentes, les élèves sont partagés sur le "bon" modèle correspondant à cette expérience (ils en proposent même trois), ce qui conduit à leur faire jouer réellement un certain nombre de parties. Le cumul des résultats les convainc de rejeter deux des trois modèles initiaux et de se prononcer en faveur du troisième, mais sans pouvoir encore le justifier. On leur demande ensuite de simuler le jeu sur calculatrice, ce qui leur permet de comparer les nouveaux résultats obtenus avec les précédents, et ainsi de se persuader de l'intérêt de l'outil "simulation". Du point de vue cognitif, cette expérimentation a, en particulier, montré l'omniprésence, même chez les élèves de cet âge, du "biais d'équiprobabilité", posant ainsi la question d'une initiation plus précoce des élèves à l'aléatoire.

*Type et nature de la technologie*

Des calculatrices scientifiques, utilisées avec la fonction « random » pour faire des simulations.

*Le milieu d'activité de l'apprenant*

L'activité présentée aux élèves est organisée sur la base d'un scénario comportant dix phases, correspondant à des milieux didactiques différents. Dans la première phase, il s'agit d'un travail individuel. Dans la deuxième et troisième phases un travail en groupe. Les premières discussions qui auront lieu entre les groupes peuvent encore s'inscrire dans le cadre d'une activité individuelle : la prise d'une position. La phase 4 contient les dernières consignes de l'enseignant. La phase 5 est dédiée à la mise en commun des activités des groupes. La phase 6 est la phase d'expérimentation où le professeur demande aux élèves de jouer le jeu pile et face. La phase 7 est une phase de mise en commun. La phase 8 un regroupement de tous les résultats de la classe. La phase 9 est dédiée à la simulation, c'est dans cette phase qu'intervient l'utilisation de la technologie. La phase 10 est la phase de mise en commun après les simulations.

*Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Un rôle est donné à l'enseignant pour la dévolution du problème dans les premières phases (de la première à la quatrième phase) et pour gérer le débat entre les apprenants.

*Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

Le but de la phase 9 est de persuader les élèves que les simulations faites à l'aide de la fonction « random » de la calculatrice fournissent des résultats comparables à la répétition de l'expérience réelle. Une forme d'autonomie se révèle dans les premières phases correspondant à la prise de position d'un élève dans son groupe.

### *Les interfaces, les rétroactions et le degré de l'autonomie*

Un rôle est donné à la fonction RAND dans les calculatrices et une interprétation est demandée aux élèves des nombres qu'elles affichent entre 0 et 1. Le rôle de la fonction « random » de la calculatrice est expliqué par l'enseignant avant son utilisation par les élèves. Les résultats obtenus après simulation, les résultats ne sont pas conformes aux résultats antérieurs (questions obtenues comment ?). L'auteur l'explique à partir de la qualité du générateur aléatoire des calculatrices de l'époque et du nombre relativement faible de simulations réalisées.

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

La situation proposée : le jeu de "croix ou pile" cité par d'Alembert dans la *Grande Encyclopédie*.

### *Suivi de la genèse instrumentale*

L'auteur pense que le premier contact des élèves avec la simulation gagne à être effectué avec la calculatrice, même s'il est souhaitable de travailler avec l'ordinateur pour des raisons d'efficacité.

### *Evaluation de l'apprentissage mathématique*

La simulation avec les outils informatiques constitue un outil intéressant dans le domaine de l'aléatoire en particulier pour l'élaboration de conjectures.

### *Commentaire et bilan*

Ce qui nous intéresse se situe essentiellement dans la phase 9 (activité des élèves avec les calculatrices). Il s'agit d'une autonomie de groupes dans le travail collaboratif de la classe.

## Stoll 2007

### *Référence de l'article*

STOLL A. (2007), Mesure l'aire sous une hyperbole en première S, *Repères-IREM* 69, 33-47.

### *Type et résumé de l'article*

Il s'agit de la description d'une expérimentation. La situation mathématique décrite dans cet article se joue en cinq actes et repose sur la question ouverte suivante : démontrer que l'aire  $A$  sous une certaine hyperbole vérifie la relation :  $A(2) + A(3) = A(6)$ . En classe de première, les élèves n'ont aucune méthode pour répondre à cette question. Ils mettent en œuvre des méthodes où des logiciels spécifiques se révèlent d'une grande efficacité.

### *Type et nature de la technologie*

Le Cabri-géomètre et le tableur, utilisé pour les représentations graphiques et le calcul.

### *Le milieu d'activité de l'apprenant*

L'article décrit une expérimentation selon cinq actes : le premier acte se déroule dans une salle informatique où il y a neuf ordinateurs, un rétroprojecteur et tableau blanc, durant cet acte un travail en groupe est possible. Le deuxième acte se passe quand le problème est donné sous la forme de devoir maison. Le troisième acte est constitué de la présentation du devoir et de sa correction en classe. Le quatrième acte est une phase d'institutionnalisation dans la classe. L'acte cinq est la séquence de prolongement du problème où un travail de recherche en groupe est mené dans une salle informatique.

### *Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Dans le processus d'apprentissage le rôle de l'enseignant est de valider les choix des élèves, qui à leur tour s'engagent dans des démarches de preuve. Dans le dernier acte, les élèves montrent qu'ils sont capables de chercher, à condition de leur laisser un temps suffisant, à penser par l'enseignant lors de son élaboration d'une séance.

### *Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

Les environnements technologiques sont des supports pour la recherche des apprenants. On remarque que les apprenants sont libres de choisir les logiciels qu'ils utilisent, comme par exemple des élèves qui proposent d'utiliser le tableur. On reste dans une phase de conjecture jusqu'à la fin de l'acte I, et ces conjectures s'effectuent par la médiation de la technologie dont le choix est à la charge des apprenants.

### *Les interfaces, les rétroactions et le degré de l'autonomie*

Non évoqué dans l'article.

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

Un problème de mesure de l'aire sous une hyperbole, proposé sous forme de question ouverte.

### *Suivi de la genèse instrumentale*

Le choix du tableur par les élèves vient du fait qu'ils maîtrisent bien son utilisation qui leur est familière.

*Évaluation de l'apprentissage mathématique*

Non évoqué dans l'article.

*Commentaire et bilan*

On note dans les différents actes diverses manifestations de l'autonomie chez les élèves. Dans le premier acte, une autonomie de choix de repères et de stratégies. Dans le deuxième acte, le devoir à la maison, une autonomie complète qui laisse aussi la liberté de choix de l'environnement technologique jugé le plus pertinent face à la situation proposée.



## Roddier 2002

### *Référence de l'article*

RODDIER J.-A. (2002), Conjectures en arithmétique, *Repères-IREM* 46, 91-106.

### *Type et résumé de l'article*

C'est un article de réflexion générale. Grâce à l'intégration progressive de l'informatique dans l'enseignement des mathématiques, aussi bien en collège qu'en lycée, les élèves développent certaines compétences, en particulier dans l'utilisation d'un tableur. Les activités avec tableur, qui leur sont généralement proposées en arithmétique, sont des mises en œuvre d'algorithmes. La construction de tableaux pour faire émerger des conjectures est une idée novatrice qui peut donner, modulo certaines précautions, une dimension toute particulière au cours d'arithmétique. Cet article est illustré par des exercices proposés au baccalauréat français en série scientifique dans différents groupements territoriaux en 1999 et 2000. Pour chaque exercice, un énoncé et une démarche de résolution intégrant un instrument de calcul sont donnés.

### *Type et nature de la technologie*

La calculatrice symbolique (type pas indiqué) et le tableur sont les technologies concernées dans cet article. Une utilisation individuelle est proposée. Un rôle est donné au tableur dans la mise en place des conjectures par les apprenants.

### *Le milieu d'activité de l'apprenant*

L'article ne donne pas de description importante du milieu d'activité de l'apprenant. Il propose des énoncés des exercices qui sont à travailler en classe, il s'agit de phases d'activités où l'enseignant intervient. Il n'y a pas dans l'article d'indications pour un éventuel travail en groupe des élèves.

### *Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Tout d'abord un rôle est donné à l'enseignant pour la dévolution du problème. Ensuite, une proposition de l'enseignant a pour objectif d'inciter à l'utilisation du tableur comme outil de conjecture : développer la capacité des élèves à appréhender ce qu'ils observent et les traduire en langage mathématique. Le développement de cet outil de conjecture favorise l'activité en autonomie.

### *Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

L'élève, pour pouvoir exploiter au mieux des instruments de calcul en termes de conjectures, devra développer des capacités nouvelles telles que : dans le cas de l'arithmétique, la gestion de la taille des listes. Il faut demander au logiciel une liste de nombres suffisamment longue pour pouvoir étayer une conjecture, mais sans excéder un temps de calcul raisonnable.

### *Les interfaces et le degré de l'autonomie*

Il est bien de développer chez les élèves, dans le cas des calculatrices, une bonne « lecture » de certaines expressions : les calculatrices renvoient des expressions induites par le calcul formel qu'il serait bon qu'un élève sache décrypter.

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

Dans l'article il y a une proposition de six exercices d'arithmétique de différentes sources : Baccalauréat Nouvelle-Calédonie décembre 1999, Baccalauréat Liban juin 1999, Baccalauréat Inde 2000, Baccalauréat Asie juin 1999, Baccalauréat Asie juin 2000, un

exercice tiré de la brochure de l'IREM de Poitiers intitulée : « Enseigner l'Arithmétique ». Les énoncés de ces exercices sont ensuite reformulés d'une façon adaptée à une utilisation du tableur ; les exercices proposés mettent en évidence comment l'usage du tableur peut s'inscrire parfaitement dans le cours d'arithmétique comme outil pour la construction de conjectures.

#### *Suivi de la genèse instrumentale*

Dans le processus d'instrumentalisation du logiciel de calcul (le tableur), la connaissance de certaines de ses limites (ses capacités de calcul) peut favoriser l'apparition de conjectures par les apprenants qui correspondent à une certaine forme d'autonomie.

#### *Evaluation de l'apprentissage mathématique*

Non évoquée dans l'article.

#### *Commentaire et bilan*

La construction des conjectures dans une phase de résolution de problème de recherche en arithmétique constitue une étape importante pour le développement de l'autonomie. Dans cet article, l'auteur souligne l'importance d'une bonne appropriation de la situation mathématique proposée et une bonne compréhension des capacités et potentialités de l'outil technologique que les apprenants ont à leur disposition. Ce type d'activité développe plusieurs formes d'autonomie : l'autonomie dans l'organisation du travail et l'autonomie matérielle et pratique qui se traduit par la capacité de s'adapter aux outils disponibles dans la classe (§ 1.2.1).

## Verdier 2002

### *Référence de l'article*

VERDIER J. (2002), Les calculatrices n'ont pas toujours raison, un exemple le calcul de  $A = 9x^4 - y^4 + 2y^2$  pour  $x = 10\ 864$  et  $y = 18\ 817$ , *Bulletin de l'APMEP* 440, 293-302.

### *Type et résumé de l'article*

Article décrivant une expérimentation et analysant un produit technologique. Quoi qu'en pensent les élèves, les calculatrices n'ont pas toujours raison ! L'objet de cet article est d'analyser les réactions des élèves mis en face de résultats contradictoires, dus à l'incapacité des machines à effectuer correctement certains calculs.

### *Type et nature de la technologie*

Calculatrices de différents types. Possibilité de projection d'écran de la calculatrice.

### *Le milieu d'activité de l'apprenant*

Dans l'article, l'auteur présente les résultats de deux étapes dans l'expérimentation : en classe où les élèves travaillent par groupes, chacun avec sa propre calculatrice pas nécessairement du même modèle avec une possibilité de débat entre les élèves ; à la maison où les élèves travaillent seuls, ce qui révèle une autonomie de la part de l'élève sans intervention de l'enseignant.

### *Le processus d'apprentissage et le rôle de l'enseignant*

Pour corriger le devoir, l'enseignant a utilisé une calculatrice, manipulée par un élève dont l'écran est projeté. Ceci facilite le lancement du débat et manifeste une autonomie individuelle dans le cadre d'un débat collectif.

### *Le processus d'apprentissage en relation avec la technologie*

Non évoqué dans l'article.

### *Les interfaces, les rétroactions et le degré de l'autonomie*

La calculatrice ne peut conserver que 10 à 15 chiffres significatifs dans les calculs qu'elle réalise. L'activité fait percevoir aux élèves que les chiffres conservés par la machine ne sont pas tous affichés à l'écran. La réponse que donne chaque machine dépend du nombre de chiffres qu'elle peut mémoriser après la virgule. La majorité des élèves, lors de leur activité, ont cru que le calcul de grands nombres n'était pas faisable sur la calculatrice.

### *Proposition des situations mathématiques génériques*

L'article tourne autour d'une situation mathématique qui est expérimentée et modifiée au cours d'un long processus (10 ans).

### *Suivi de la genèse instrumentale*

Non évoqué dans l'article.

### *Évaluation de l'apprentissage mathématique*

Des auto-évaluations, faites par les apprenants, des résultats obtenus lors de leur activité. Les interprétations des résultats obtenus sont liées aux rétroactions de la machine.

### *Commentaire et bilan*

Le traitement du problème proposé dans cet article suppose un développement avancé des genèses instrumentales. Le problème est proposé aux élèves comme un devoir maison, ce qui laisse une grande place à l'autonomie. On voit que les apprentissages mathématiques et instrumentaux sont fortement articulés, on insiste beaucoup sur le contrôle par l'élève des résultats de la calculatrice qu'il utilise, ce qui peut contribuer au développement des capacités de travail en autonomie.



#### 4. Conclusion de la partie II

Nous présentons ici une interprétation des fiches d'analyse des articles sélectionnés et nos conclusions générales, dans le cadre des choix méthodologiques qui ont été faits : choix de deux coupes, choix de la période.

Dans la coupe « calculatrices », nous avons remarqué la prédominance de deux sujets : le calcul formel comme objet d'étude mathématique ; l'écran projetable, comme dispositif de travail dans la classe, aussi bien pour les environnements de calculatrices individuelles que pour les environnements de calculatrices en réseau. Ces sujets influent, d'une façon ou d'une autre, sur le traitement des questions d'autonomie.

Dans la coupe de la revue Repères-IREM, nous avons remarqué que la plupart des articles évoquent des expérimentations qui reposent sur des initiatives individuelles (et pas sur des dispositifs de recherche), et correspondent à des séquences d'enseignement comportant plusieurs phases (et pas sur des séances isolées). Ceci semble être une caractéristique des articles publiés, sur ce thème, dans cette revue, dans la période 2002-2008.

Nous avons noté que les questions relatives à l'autonomie des élèves ne constituent jamais un objectif en soi, pour les recherches sur l'enseignement des mathématiques et les TIC : ces questions d'autonomie apparaissent plutôt comme conséquences de questions plus générales portant sur le développement de métaconnaissances dans les apprentissages mathématiques instrumentés par les TIC, les TIC apparaissant alors comme un constituant essentiel du milieu.

Nous distinguons différents aspects de l'autonomie, que nous déclinons sous l'étiquette générique « aptitude à réaliser des choix » :

- l'aptitude à *choisir un registre de représentation* (Hersant et Vanderbrouck 2006) pour le développement d'une résolution d'un problème mathématique ;
- l'aptitude à *choisir une technologie pertinente* (un artefact, un logiciel (Roddier 2002 ; Stoll 2007)) ;
- l'aptitude à *choisir un cadre et des stratégies pertinentes de résolution* (Hivon et al 2008), particulièrement nécessaire dans le cas des problèmes ouverts (Stoll 2007).

Après cette présentation générale du cadre de l'étude, nous décrivons maintenant les différents types de manifestation de l'autonomie. Celle-ci apparaît en relation avec le développement de métaconnaissances, ou avec la technologie, ou avec un point de vue institutionnel ou avec les questions du temps de l'étude (on retrouve là les relations profondes entre topogénèses et chronogénèses, § 1.2.2, p. 63). Ces différents aspects ne constituent pas une partition de notre recherche, les liens entre les catégories construites sont nombreux.

Dans l'ensemble des articles étudiés, on peut relever un rôle, en général indirect, de l'enseignant pour le développement de métaconnaissances des élèves :

- première métaconnaissance, *l'aptitude à élaborer une conjecture* en s'appuyant sur une technologie. Cette élaboration de conjectures semble apparaître dans les études suivant deux formes : une élaboration de conjectures avec le libre choix pour les élèves de la technologie d'appui (Roddier 2002) et une élaboration de conjecture dans un environnement technologique (logiciels, calculatrices, fichiers...) proposé par l'enseignant (Lagrange et Heilbronner 2003). Ces deux formes de conjecture peuvent contribuer au développement de deux formes d'autonomie différentes : apprendre *en autonomie* dans la première et apprendre *l'autonomie* (§ 1.2.1, p. 62) dans la deuxième. Bien sûr, l'élaboration des conjectures, seule, ne construit pas nécessairement l'autonomie des élèves et doit être associée à d'autres gestes ;

- *l'aptitude à prendre position au sein d'un groupe*, apparaît comme une deuxième métaconnaissance, dans la mesure où elle suppose la communication avec les autres, l'argumentation de ses propres choix, la volonté de convaincre et de s'intégrer dans un débat. Le travail en groupe entre les élèves est pris en compte dans les articles, surtout dans le cas de développement du débat scientifique (Hivon et al 2008) et cela intervient en relation avec les technologies, en particulier quand celles-ci peuvent soutenir un travail en réseau. En outre, et dans la même perspective, des études révèlent ce qu'on peut appeler des autonomies de groupe (Parsysz 2007) où le groupe d'élèves se constitue en unité contre les autres unités de la classe en essayant d'élaborer des solutions alternatives ;

- *l'aptitude à réguler et contrôler sa propre activité* constitue une autre métaconnaissance importante. La *réflexivité* des élèves (le recul qu'ils prennent sur ce qu'ils font) sur leur propre pratique (Hivon et al 2008) est une façon de traduire cette aptitude. Elle est, aussi, prise en compte dans certains articles, à l'intérieur des séquences d'enseignement et d'apprentissage (Noguès 2006), dans les phases de travail autonome à l'aide d'une technologie. Par exemple, le contrôle des calculs approchés (décimales cachées, différents registres de représentation des nombres) constitue un sujet d'étude important au début de la période concernée (Verdier 2002 et Artigue 2002). Ces articles étudient les apprentissages instrumentaux en interaction avec les potentialités de la machine et avec les apprentissages mathématiques.

Le type de technologie a une influence sur les choix didactiques effectués par l'enseignant aussi que sur le développement des processus d'apprentissage, intégrant l'autonomie à la fois comme moteur et comme résultat. Cette influence est due à plusieurs facteurs et prend plusieurs aspects :

- d'abord du point de vue des *génèses instrumentales* (c'est-à-dire les processus par lesquelles les élèves transforment les artefacts qui sont à leur disposition en instruments du travail mathématique), l'utilisation des logiciels peut soutenir le développement de démarches de contrôle, de validation et de justification (Lagrange et Heilbronner 2003). Un même artefact peut soutenir d'ailleurs le développement de plusieurs instruments, par exemple instruments d'explorations (Lagrange et Heilbronner 2003) ou de conjectures (Roddier 2002), ce qui permet de comprendre la complexité des processus et l'importance du temps nécessaire pour ces génèses ;

- ensuite du point de vue de la diversité des artefacts utilisés, qui peut aussi soutenir une réflexion critique, chez les apprenants, quant aux résultats mathématiques obtenus par différents moyens : cela paraît un tout cas comme indispensable dans des processus de construction des instruments, dès lors que l'on prend en compte le développement de l'autonomie des élèves. En ce qui concerne, en particulier, l'articulation papier-crayon/technologie, elle prend une importance particulière dans les articles repérés. Cette articulation est située de deux façons différentes : *complémentaire* – on utilise successivement un environnement, puis l'autre, pour résoudre le problème (Lagrange et Heilbronner 2003, Noguès 2006) ou *intégrée* (Artigue 2002) – c'est la mobilisation dynamique et conjointe des deux environnements qui permet de traiter chaque partie du problème. Le pivotement entre les deux types d'environnements (papier/crayon et instrumenté) semble aller de pair avec le développement de l'autonomie et des apprentissages : une conjecture doit être validée par une démonstration (Moisan 2006) ;

- en ce qui concerne l'enregistrement des traces, l'accessibilité des traces de l'activité instrumentée peut être un facteur important, s'il est exploité par l'enseignant pour favoriser le développement de la réflexivité des élèves (Hersant et Vanderbrouck 2006). Ce travail sur les traces peut être individuel, il peut être aussi collectif, par exemple quand il y a possibilité de publication (rétroprojection, vidéoprojection) des productions d'un élève ou du professeur (Noguès 2006), ou de plusieurs élèves simultanément (Hivon et al 2008) ;

- en ce qui concerne la conception des ressources, le développement des métaconnaissances (conjectures, régulation et contrôle) suppose des ressources pédagogiques adaptées dont la conception est un problème complexe, à la fois du point de vue des situations mathématiques et des scénarios d'usage les mettant en œuvre (Noguès 2006).

Le *temps* est un facteur qui influe sur le statut des questions d'autonomie, de deux points de vue :

- le temps en classe et le temps hors classe. Utiliser les TIC pour stimuler le travail des apprenants hors classe est une idée importante signalée dans les articles étudiés (Moisan 2006 ; Artigue 2002). Les élèves peuvent ainsi se tester et s'évaluer, et donc développer leur autonomie. Mais cette intention en reste à un niveau très général : on n'a pas relevé d'étude spécifique portant sur des types de tâches et sur l'organisation d'un milieu adidactique pour ce genre d'activité ;

- le temps long des genèses instrumentales. Le temps d'appropriation des calculatrices symboliques semble plus long (Artigue 2002) que le temps d'appropriation d'environnements comportant moins d'applications (Hersant et Vanderbrouck 2006). La réduction de ce temps suppose que l'enseignant s'implique dans l'apprentissage des techniques instrumentées par les élèves.

Du point de vue institutionnel, un article évoque les responsabilités de l'école pour le développement de l'autonomie des élèves, en particulier du point de vue de l'évaluation. Il s'agit de l'épreuve pratique de mathématique expérimentée actuellement en France (Moisan 2006). Cette épreuve semble constituer une étape importante pour la scolarité des élèves, les recherches didactiques et la prise en compte des questions d'autonomie : elle devrait avoir des conséquences en chaîne pour la formation des maîtres, le développement de ressources et de dispositifs de travail spécifiques.

Au terme de cette étude, des nouvelles questions apparaissent, elles pourraient donner matière à des recherches ultérieures :

- quelle organisation de l'étude hors classe, quelles technologies, pourraient concourir au développement de l'autonomie chez les élèves ?

- quelle pratique d'enseignement, quelle orchestration des situations pour soutenir une bonne articulation entre l'activité papier/crayon et l'activité instrumentée ?

- quels modèles de ressources pédagogiques pourraient favoriser une autonomie des apprenants dans cette époque de complexification de la technologie ?

Au terme de cette étude, nous voulons revenir sur le sens du concept d'autonomie dans un contexte technologique avancé : l'autonomie avec les logiciels et les calculatrices ne signifie pas la solitude face à une machine figée, mais elle est au cœur de la socialisation de l'acte de l'apprentissage des mathématiques, dans lequel la technologie joue un rôle important par son dynamisme et ses interactions avec les apprenants dans un milieu bien organisé *a priori*.





### Partie III : La facilité d'utilisation des TICE par les enseignants

*La facilité c'est le talent qui se retourne contre nous.*  
*Jean-Paul Sartre*





## 1. Introduction

Le développement et la complexification des TIC en jeu pour l'enseignement des mathématiques se traduisent par des difficultés d'intégration différenciées, au niveau de leur appropriation par les élèves comme au niveau de leur gestion didactique par les enseignants.

Cette complexification ascendante des TICE a des effets sur les utilisateurs (apprenants et enseignants) : des processus d'appropriation plus longs, une intégration dans l'étude plus difficile. La collaboration entre enseignants et l'assistance qu'ils apportent aux élèves pour la prise en main des outils technologiques vont entraîner de nouvelles formes de travail, en classe et hors classe.

Les conditions d'utilisation des TICE (appropriation et d'usage) constituent donc un objet d'étude important, en particulier du point de vue de l'enseignant, un acteur essentiel de l'intégration des outils technologiques : avant d'intégrer les différents outils technologiques dans sa classe, il doit pouvoir se les approprier afin de les exploiter dans sa propre pratique professionnelle.

Nous étudierons la facilité plus ou moins grande d'utilisation des outils technologiques (logiciels et calculatrices) *par les enseignants*. Cette utilisation ne se restreint pas à ce qu'ils font dans les classes, leur activité hors de la classe (chez eux ou avec des collègues) est aussi concernée. Nous classons les points de vue des enseignants sur leur propre activité suivant deux niveaux :

- le niveau du discours, réflexion hypothético-déductive sur la facilité d'appropriation et d'usage des artefacts, etc. ;
- le niveau de l'action, analysé au cours d'expérimentations faites dans les classes et au cours d'études sur les processus d'appropriation hors classe des outils technologiques.

Il s'agira donc de considérer chez les enseignants :

- leur appréciation de la facilité d'utilisation des calculatrices et logiciels : la facilité pour eux-mêmes dans la réalisation de leur propre projet professionnel et la facilité qu'ils attribuent aux élèves développant leurs apprentissages avec la technologie dont ils disposent ;
- leurs points de vue plus généraux sur la place des outils dans les processus d'apprentissage ;
- au-delà de l'appréciation des enseignants, nous regarderons ce qui ressort des recherches sur les processus d'appropriation des outils par les enseignants, hors et en classe.

Ces questions assureront une transition avec la quatrième partie qui est centrée sur les élèves, leurs processus d'apprentissage et l'impact de la technologie sur leurs résultats. Il nous semble *a priori* qu'il existe un lien entre ces deux parties (partie III et partie IV) : l'appropriation des outils par l'enseignant et leur mise en œuvre dans sa propre activité ont une influence sur la prise en main de ces outils par l'élève et ses résultats après cette prise en main.



## 2. Les enseignants face aux outils technologiques

L'appropriation des outils technologiques par l'enseignant implique un ensemble de gestes, qu'il s'agit de repérer et de regrouper suivant plusieurs types de tâches. La prise en main, par l'enseignant, de tout outil technologique et sa mobilisation au service de son projet professionnel s'inscrivent nécessairement dans *une genèse instrumentale* (Rabardel 1995). Lors de cette genèse, les enseignants réorganisent l'ensemble de leur activité. Plusieurs questions se posent alors : quelle prise en main de la machine par l'enseignant ? Quel degré de difficulté dans l'utilisation de la machine ? Qu'est ce qu'une *facilité* d'utilisation ? Quels en sont les critères ? Le travail en groupe des enseignants facilite-t-il cette utilisation ? Dans l'affirmative, quelles en sont les conditions ?

### 2.1 La facilité d'utilisation du point de vue de l'ergonomie

Nous distinguons trois variables qui engendrent une *facilité d'utilisation* d'un environnement technologique :

- *l'adaptabilité* (Bastien 1996) de cet environnement, qui concerne sa capacité à réagir selon le contexte, et selon les besoins et préférences des utilisateurs ;
- *le degré de ressemblance* (guessability) (Moyes et Jordan 1993), qui repose largement sur les similitudes de l'interface d'un logiciel avec d'autres. Par exemple, un enseignant qui utilise Cabri géomètre sera plus apte à utiliser l'application géométrie de la calculatrice TI-nspire qui contient une interface qui ressemble à Cabri géomètre. Plus généralement, toute expérience antérieure avec un outil augmente la capacité d'utilisation avec un outil proche ;
- *la facilité d'apprentissage* (learnability) (Moyes et Jordan 1993), qui décrit le type d'apprentissage par lequel les nouveaux utilisateurs pourront s'approcher d'un rendement maximum. En terme d'utilisation, la facilité peut se mesurer en fonction du temps d'apprentissage.

Selon Davis (1986), la *perception* de la facilité d'utilisation influencerait également de manière significative l'*attitude* d'un individu. En effet, selon Bandura (1982), plus un environnement est facile à utiliser, plus l'utilisateur aura un sentiment d'*auto-efficacité*.

De même, la facilité d'utilisation d'un outil donnerait également à l'utilisateur la sensation d'avoir un contrôle sur ce qu'il fait (Lepper 1985). L'efficacité est l'un des facteurs principaux qui sous-tend la motivation (Bandura 1982 ; Lepper 1985) et c'est ce qui illustre ici le lien direct entre la perception de la facilité d'utilisation et l'attitude. La perception de la facilité d'utilisation d'un outil peut aussi contribuer à améliorer les performances et l'attitude de l'utilisateur.

De ce qui précède, il apparaît que les notions de « facilité » ou « difficulté » sont des conséquences à la fois des caractéristiques de la technologie et des connaissances de l'individu qui en dispose. Par exemple, un enseignant qui a une longue expérience de l'utilisation de la calculatrice graphique ne rencontre pas les mêmes difficultés d'utilisation que celui qui vient d'apprendre l'usage de cette technologie. Nous plaçons les connaissances d'un sujet, nécessaire à la prise en main d'un outil technologique, à deux niveaux :

- *le niveau mental* : c'est le niveau des connaissances (ou métaconnaissances) qui se rapporte à la conceptualisation de la technologie elle-même, et à son rôle dans la réalisation du projet professionnel ;

- *le niveau de la pratique* : il concerne les connaissances qui se rapportent à la manipulation, la prise en main et l'appropriation de la technologie. Ceci permet l'investissement de la technologie, pour la réalisation du projet professionnel.

Par conséquent, pour analyser la facilité d'utilisation d'une technologie par un individu, il semble nécessaire de prendre en compte :

- les connaissances dont on dispose sur les caractéristiques de l'utilisateur (sur ses capacités perceptives, motrices, cognitives, etc.) ;
- l'effort demandé par la technologie, par rapport au contexte du déroulement de l'activité, aux caractéristiques de la tâche, etc.

La facilité d'utilisation d'un environnement technologique n'est pas une notion *absolue* qui aurait des dimensions et des limites bien précises. Cette notion est relative, elle dépend de l'expérience professionnelle antérieure d'un enseignant et de l'activité où la technologie est requise, elle conditionne sans doute le degré d'intégration de la technologie (Assude 2007) dans son travail d'enseignement.

## 2.2 Facilité d'utilisation et processus de construction des instruments

### 2.2.1 Facilité d'utilisation et genèse instrumentale (Rabardel 1995)

Le processus d'*instrumentalisation* est constitué des phases de découverte et de transformation de l'outil technologique. Selon ses besoins, l'enseignant transforme l'artefact en un *instrument* au service de son activité professionnelle. La conception qu'un enseignant a des TICE constitue une clé qui permet d'étudier la facilité d'utilisation ; cette conception conditionne les *schèmes d'utilisation* qui gèrent l'activité de l'enseignant. Dans la phase de *transformation*, la question qui se pose est la suivante : la transformation de cet artefact en un instrument est-elle facile ou difficile? Le dialectique facilité/difficulté est au cœur des processus d'instrumentation, et c'est là que la question ergonomique devient centrale (§ 2.1).

### 2.2.2 Les différents instruments construits et leur rapport avec la facilité d'utilisation

À partir d'un artefact (ou d'un ensemble d'artefacts, logiciels ou calculatrices), un utilisateur développe un instrument propre (ou un système d'instruments). Mais quels instruments construire et pour quels types d'usage ? Pour un enseignant de mathématiques, il y a plusieurs types d'usages des outils technologiques, lorsqu'ils sont intégrés dans son activité professionnelle. À chaque type d'usage correspond une « facilité d'utilisation » différente :

- après la découverte de l'outil technologique par l'enseignant, celui-ci doit l'introduire dans les classes comme outil pour l'apprentissage des élèves. On peut alors distinguer, dans cette situation, la facilité de présentation de la technologie et la facilité d'accompagnement des genèses instrumentales chez les élèves ;
- dans l'activité de conception de *ressources pédagogiques*, la facilité d'utilisation existe dans l'adaptation (l'adaptabilité § 2.1) des ressources conçues (*situations* et *scénarios d'usages*) à un nouvel outil technologique ;
- lors de la mise à l'épreuve des ressources pédagogiques en classe, la notion de facilité concerne la gestion didactique des ressources ainsi que l'accompagnement des activités des élèves.

On remarque donc qu'il y a différentes étapes dans le travail de l'enseignant en classe et hors classe, qui correspondent à différents types d'usages et de prise en compte de la technologie. À chaque type d'usage, la notion de facilité d'utilisation aura une signification spécifique.

### 2.3 L'aspect ergonomique : utilité, utilisabilité et acceptabilité.

Avant d'exploiter un environnement technologique dans son activité professionnelle, un enseignant doit accepter son utilisation et son intégration dans sa pratique professionnelle. L'évaluation d'un environnement technologique par un enseignant se réalise en correspondance avec son projet professionnel et la vision qu'il a de son enseignement.

Pour l'évaluation des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, nous retenons les trois dimensions suivantes : *utilité*, *utilisabilité* et *acceptabilité* (Tricot *et al* 2003). Nous essaierons, dans ce qui suit, de préciser la place de la facilité d'utilisation suivant ces trois dimensions. On note qu'on ne peut pas percevoir chacune de ces dimensions d'une façon indépendante des deux autres, un lien existe toujours entre elles.

L'utilité d'un environnement technologique, ce sont les caractéristiques de cet environnement qui permettent aux enseignants de réaliser les différents types de tâches visées. L'évaluation de l'utilité d'un environnement consiste à regarder qu'il y ait bien adéquation entre le projet professionnel défini par un enseignant et l'atteinte de cet objectif par la mobilisation de cet environnement informatique choisi. Tricot *et al* (2003) insistent sur le fait que l'évaluation de l'utilité d'un environnement technologique prend en compte la mise en œuvre des processus cognitifs et métacognitifs au cours de l'activité d'apprentissage (ici on parle de l'activité d'apprentissage de l'utilisateur). En ce qui concerne l'utilisateur-enseignant, des recherches ont montré que la facilitation de la mise en œuvre des processus ou des stratégies aux niveaux cognitif ou métacognitif (Gordon 1996) favorise cet apprentissage ; on pense par exemple à la *compréhension* (Mayer 2001), à l'*analogie* (Sander et Richard 1997), à la *production des hypothèses*, etc.

L'utilisabilité désigne la possibilité d'utiliser un environnement technologique ou les moyens existant dans cet environnement. Selon Tricot *et al* (2003) :

l'utilisabilité d'un EIAH se joue au niveau de son interface (sa cohérence, sa lisibilité, la façon dont elle représente les actions possibles, etc.), de sa navigation (la cohérence, la simplicité, l'exhaustivité des déplacements possibles, etc.) et de sa cohérence avec l'objectif et le scénario didactiques.

En général, l'utilisabilité d'un environnement technologique comprend sa facilité d'utilisation, la facilité d'apprentissage à cette utilisation, l'efficacité dans son utilisation, son utilisation sans erreurs, la satisfaction de ses utilisateurs. L'utilisabilité se manifeste de façon différente en fonction du contexte et des objectifs de l'utilisateur. Au niveau des interfaces (de visualisation ou de manipulation), une interface « utilisable » doit permettre à l'utilisateur de réaliser une action rapide et efficace. L'interface est le seul canal de communication entre l'utilisateur (qui est l'enseignant dans notre contexte) et l'environnement technologique qu'il utilise. Cette interface nécessite donc d'être conçue de façon à rendre concrets et évidents, dans la mesure du possible, des traitements informatiques qui sont par essence abstraits (Sneiderman 1998).

L'acceptabilité d'un environnement technologique est la valeur de la représentation (attitudes, opinions) de cet environnement, du point de vue de son utilité et de son utilisabilité. La valeur de cette représentation conditionne la décision de l'utilisation de cet environnement technologique : l'acceptabilité d'un environnement technologique est en rapport avec la possibilité de le rendre compatible avec les pratiques et les objectifs des utilisateurs-enseignants. L'acceptabilité peut subir l'influence des facteurs très divers tels les valeurs culturelles des utilisateurs, leur motivation, les cadres et les organisations sociales, et enfin les pratiques dans lesquelles s'insère plus ou moins bien l'environnement technologique.

Chacune des trois dimensions (utilité, utilisabilité et acceptabilité) est une variable (Tricot *et al* 2003) sur laquelle on peut réaliser des mesures indépendantes des deux autres variables.



## **2.4 Facilité d'utilisation et dimensions d'évaluation ergonomique**

Nous présentons, dans ce paragraphe, comment les variables de la facilité d'utilisation (II.1.a) engendrent chacune des trois dimensions nécessaires pour l'évaluation d'un EIAH (II.1.c).

### *2.4.1 Acceptabilité et facilité d'utilisation*

La facilité d'apprentissage d'un environnement technologique est un élément déterminant de l'intégration dans sa propre pratique professionnelle. En outre, le degré de ressemblance entre les environnements technologiques peut jouer sur l'acceptabilité de l'environnement technologique. Par exemple, un logiciel peut être rejeté par un enseignant si son interface ne correspond pas à quelque chose de connu par lui.

Si un environnement technologique contient un certain degré de flexibilité permettant de s'adapter à un large éventail de besoins, il suscitera une acceptabilité plus importante auprès des enseignants.

### *2.4.2 Utilité et facilité d'utilisation*

La facilité d'utilisation a à voir avec les caractéristiques et potentialités d'un environnement technologique, pour la réalisation des objectifs d'enseignement d'un professeur. Donc, d'une certaine manière, et suivant la définition de l'utilité, on parle de la facilité d'utilisation dans le cadre de l'utilité, d'un environnement technologique, pour la réalisation du projet professionnel.

Un grand degré de ressemblance entre deux environnements technologiques suppose la présence d'un nombre important de caractéristiques communes entre ces environnements. Ceci permet d'effectuer un certain nombre de tâches, avec des techniques proches, ce qui engage un certain type de transitivité de l'utilité entre les environnements technologiques.

Il existe un lien crucial entre l'adaptabilité d'un environnement technologique et son utilité. Un environnement technologique est adaptable s'il est capable de réagir selon les besoins et préférences de l'utilisateur, c'est-à-dire qu'il contient des moyens et des caractéristiques qui permettent aux utilisateurs d'effectuer les types de tâches visés, ce qui constitue un certain degré d'utilité.

### *2.4.3 Utilisabilité et facilité d'utilisation*

La facilité d'utilisation d'un environnement technologique désigne l'actualisation des possibilités de l'utiliser et de le manipuler. Donc d'une certaine façon, la facilité d'utilisation désigne des aspects d'utilisabilité. L'utilisabilité désigne encore les moyens existants dans un environnement qui le rendent utilisable par un individu. Si ces moyens ont un certain degré de ressemblance avec ceux d'autres environnements technologiques, on peut parler d'une même utilisabilité de ces environnements technologiques par rapport à l'individu qui en dispose.

Une relation complémentaire joint l'utilisabilité et l'adaptabilité d'un environnement technologique. Chacun de ses critères renforce le statut de l'autre. La capacité d'un environnement technologique à réagir selon les besoins et préférences de l'utilisateur, augmente sa possibilité d'être utilisé par un individu.

## 2.5 Le travail en groupe d'enseignants dans la conception des ressources

De nombreux professeurs sont réticents à l'utilisation des TICE dans leur classe. Parmi les raisons qu'ils évoquent, il y a :

Des problèmes matériels (comme la difficulté d'accès aux ordinateurs) et des problèmes didactiques (difficulté d'accès à des ressources pédagogiques intégrant les TICE d'une façon pertinente, difficulté pour réorganiser l'enseignement dans la classe) (Combes *et al* 2005).

Donc, la conception des ressources adaptables à une technologie ne semble pas une tâche facile pour un enseignant isolé (Guin et Trouche 2002), dans une époque où les TICE se développent et se complexifient. On se trouve dans un espace-temps qui exige un travail plus collectif de la part des enseignants de mathématiques.

Le travail en groupe des enseignants se déroule en dehors de la classe, et l'activité de conception des ressources en forme la partie majeure. La conception des ressources pédagogiques ne s'arrête pas à l'activité des concepteurs, elle se poursuit dans l'activité des enseignants qui l'utilisent : c'est la thèse de la conception continuée ou *conception dans l'usage* qui non seulement prolonge l'activité du concepteur, mais en réalise une partie (Rabardel et Pastré 2005). Ceci suppose un échange entre enseignants, diffusion des ressources aussi que leur évolution.

En s'appuyant sur ce qui précède, il semble significatif de distinguer les différents aspects du travail en groupe des enseignants, en fonction des objectifs professionnels de l'activité de chacun. Dans ce qui suit, on différencie travail individuel et travail personnel, ainsi que travail collectif, travail coopératif et travail collaboratif.

### 2.5.1 Le travail collectif : quelques définitions et types d'activités

Nous faisons la différence entre les notions d'*individu* et de *personne* dans le cadre de la pratique professionnelle de l'enseignant. Nous retenons la définition sociologique de l'individu cité dans Wikipédia :

L'idée d'être un individu inclut une vision de l'humain comme étant autonome et indépendant.

Or une personne, c'est le sujet présentant des potentiels de progression dans un cadre sociologique bien déterminé.

Selon Wikipédia, Le *travail* est ce qui lie un effort où l'on peut s'épuiser à un résultat positif. Un travail comporte deux dimensions : le *projet* et la *production*.

Nous désignons par *travail individuel* le travail « subjectif » dans le sens qu'il est lié à l'individu qui le réalise. Le *travail personnel* est celui qui doit être réalisé par un individu dont le projet professionnel, dans lequel s'inscrit ce travail, ne lui est pas nécessairement propre ; il prend à sa charge sa réalisation.

Nous proposons de faire aussi une distinction entre l'idée de *coopération* et celle de *collaboration*. Cette distinction peut paraître quelque peu formelle, mais elle nous sert cependant à positionner deux modes de fonctionnement différents lorsqu'il s'agit d'organiser un travail impliquant plusieurs acteurs. Nous énonçons les définitions suivantes, données par (Rameau et Samyn 2006) :

- *Coopérer*, c'est œuvrer dans le cadre d'une « division du travail » organisée. En ce sens, la coopération est plutôt placée sous le signe d'une organisation hiérarchique où la place, le rôle et les tâches de chacun sont définis par l'institution. Dans la conception et la réalisation du projet commun, on sait précisément ce que l'on va faire, et donc on peut définir tout aussi précisément ce que chacun doit faire ;

- *Collaborer*, implique une participation importante des différents acteurs à la définition du projet collectif et à la répartition des tâches, donc à la définition du rôle de chacun au sein du groupe. Dans ce contexte, on a l'idée de « ce vers quoi on va », mais le « vers quoi on va » peut évoluer – et même très souvent va évoluer – en fonction du jeu des interactions entre les acteurs.

On marque une nuance notamment entre travail coopératif et travail collaboratif :

Le travail coopératif implique une division du travail entre les participants, chaque participant étant responsable d'une partie du problème à résoudre. Dans la collaboration, les participants s'engagent tous dans les mêmes tâches, en se coordonnant, afin de résoudre le problème ensemble. (Roschelle et Teasley, 1995).

La notion de travail collaboratif se construit autour de deux idées :

- celle de *travail* qui comporte les deux dimensions sus-citées (projet et production) ;
- celle de *collaboration* qui précise les modalités de réalisation : une certaine manière d'adhérer au projet commun et de s'impliquer, un certain type de partage des tâches et d'attitude participative de chacun à l'effort de production.

Un travail collaboratif doit vérifier plusieurs conditions :

- *communiquer* : il implique des activités d'organisation pour assurer la cohérence et l'efficacité du groupe, la synchronisation des activités des uns et des autres ;
- *partager* : le travail collaboratif nécessite également le partage des ressources qui s'organisent autour de divers éléments : supports, partage de point de vue, partage d'expérience, etc.
- *produire* : l'enjeu décisif du travail collaboratif reste la production.

Tandis que dans le sens que nous donnons au travail coopératif, il n'y a pas nécessairement un projet commun, la production s'inscrit dans le cadre des projets individuels dont chaque production individuelle se juxtapose à d'autres. Donc dans le travail coopératif, la condition de communication et d'interaction avec les autres sera plus faible.

Cette distinction entre travail coopératif et collaboratif n'est pas toujours très claire, en particulier pour une activité qui alterne des phases individuelles et collectives, et, très souvent, mixe ces deux aspects selon la tâche considérée. C'est pourquoi, des auteurs (George 2001; Jermann et Dillenbourg 1999), utilisent un terme plus général que collaboratif ou coopératif, c'est le *collectif*.

Dans cette perspective, concevoir un dispositif pour la diffusion et l'échange des ressources pédagogiques entre un ensemble d'enseignants paraît très intéressant, et contribue à la facilitation du travail individuel d'un enseignant et la réalisation de son propre projet professionnel.

### 2.5.2 Le rapport de la facilité d'utilisation au temps

La facilité d'utilisation d'une technologie se mesure encore avec le critère temps. Par exemple, et dans la perspective de conception de ressources adaptées, une tâche, difficile à réaliser dans une durée donnée, sera moins difficile si la durée donnée pour la réalisation de cette tâche est plus longue. Le travail collectif des enseignants permet, sous certaines conditions, un gain de temps de l'enseignant. Dans cette perspective, deux questions interviennent : quelle est l'influence du travail collectif sur le temps de travail en dehors de la classe ? Quelle influence a ce travail collaboratif sur le *temps d'enseignement* dans les classes du point de vue de *l'orchestration instrumentale* (Trouche 2005) ?

Le temps, comme facteur, influe sur l'activité professionnelle de l'enseignant en classe et hors classe, du point de vue de l'utilisation et l'investissement de la technologie. Nous classons cette influence suivant différentes rubriques :

- un accompagnement des enseignants (Trouche 2007) par la mise en place des dispositifs de *formation continue* ;
- la recherche, la mutualisation de ressources et leur adaptation aux objectifs d'enseignement ;
- la discussion avec des collègues (à distance et en présence) demande des dispositifs de travail collectif.

Ces différents aspects exigent un temps de travail supplémentaire de la part de l'enseignant.



### 3. Méthodologie

Notre méthodologie s'appuie sur un corpus composé d'articles comportant les propriétés suivantes :

- les articles faisant partie des publications sélectionnées dans la première partie ;
- les articles sélectionnés s'intéressent au point de vue des enseignants ;
- l'ensemble des technologies est concerné (pas seulement les calculatrices) ;
- la période est toujours 2002-2008.

Nous avons choisi de restreindre notre étude aux articles du Bulletin vert de L'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public (APMEP) ; c'est une revue dont les auteurs sont des enseignants de mathématiques, elle semble donc constituer un bon domaine pour repérer leur point de vue, à propos de la question de facilité/difficulté de la technologie dans leur travail d'enseignement.

#### 3.1 La sélection des articles

##### 3.1.1 Critères de sélection

Nous avons fait une sélection parmi les articles des revues parues entre 2002 et 2008 ; il s'agit des numéros 438 à 477. Les articles sélectionnés prennent en compte, au moins l'un des critères suivants :

- la description de la prise en main des outils technologiques par les enseignants : phase de découverte et appropriation première ;
- la prise en main de la technologie en relation avec l'utilisation *hors classe* en ce qui concerne la préparation des cours, etc. ;
- l'utilisation de la technologie *en classe*, avec différents types d'investissement pour favoriser l'apprentissage, etc. ;
- une prise en compte explicite du temps dans l'article : les apports de la technologie pour le temps du travail hors la classe, ainsi que sur le temps d'enseignement dans les classes ;
- des descriptions ergonomiques en correspondance avec la facilité d'utilisation : rôle des interfaces dans cette facilité, etc. ;
- le retour réflexif de l'utilisation de la technologie sur l'expérience professionnelle de l'enseignant.

Sur le site de l'APMEP (<http://www.apmep.asso.fr/>), on trouve les sommaires de tous les bulletins depuis l'année 1997. Dans la plupart des sommaires, le titre de l'article intègre un lien électronique qui donne accès à la fiche de l'article sur le site *publimath* (<http://publimath.irem.univ-mrs.fr/>). Les mots clés et le résumé de l'article donnent une idée de son contenu, mais parfois, cette fiche est soit inexistante, soit incomplète, ou alors elle ne donne pas une idée précise du contenu. De ce fait, il était indispensable de consulter les articles dans les revues. La recherche des articles a été réalisée depuis la bibliothèque de l'INRP.

##### 3.1.2 Les articles sélectionnés

Dans notre recherche, nous avons retenu en total 29 articles :

ARCHAMBAULT J.-P. (2004), Les logiciels libres : enjeux éducatifs, *Bulletin de l'APMEP* 452, p. 433-441.

- BOULLE R. (2003), Les TICE entre discours officiels et réalités de terrain, *Bulletin de l'APMEP* 447, p. 443-454.
- BUTZ F. (2003), Aire et périmètre des rectangles, *Bulletin de l'APMEP* 449, p. 694-696.
- BUTZ F. (2005), Un objet impossible, avec Cabri-Géomètre, *Bulletin de l'APMEP* 458, p. 340-344.
- COSTE R. (2004), Résolution numérique d'équations différentielles en série S : la méthode d'Euler, *Bulletin de l'APMEP* 450, p. 60-72.
- COUSQUER E. (2002), Travail collaboratif en mathématiques au LAMIA, *Bulletin de l'APMEP* 441, pp.497-511.
- DAHAN J.-J. (2006), Utilisation du logiciel Cabri 3D de géométrie dans l'espace, *Bulletin de l'APMEP* 466, p. 645-655.
- DAROU J.-P. (2002), Construction de polyèdres réguliers et semi-réguliers, *Bulletin de l'APMEP* 439, p. 165-176.
- DAUDIN C. (2003), Le calcul c'est dépassé, *Bulletin de l'APMEP* 446, p. 340-346.
- DE GUZMAN M. (2002), Problèmes actuels dans l'enseignement des mathématiques, *Bulletin de l'APMEP* 442, p. 568-589.
- GANDIT M., PARISSÉ B. et DE GRAEVE R. (2007), Mathématiques avec Xcas, *Bulletin de l'APMEP* 468, p. 82-90.
- GANDIT M., SERRET C. et PARISSÉ B. (2005), Mathématiques et environnement informatique, *Bulletin de l'APMEP* 459, p. 545-550.
- GODON B. (2003), Le site du CREAM, *Bulletin de l'APMEP* 444, p. 72-74.
- GUÉRIMAND F. (2003), Wims : serveur d'exercices mathématiques interactifs, *Bulletin de l'APMEP* 449, p. 797-807.
- HACHE S. (2002), Un site mathématique mutualiste et gratuit sur le Net, *Bulletin de l'APMEP* 440, p. 374-378.
- KUNTZ G. (2003), Cent adresses pour découvrir et convaincre, *Bulletin de l'APMEP* 445, p. 248-252.
- KUNTZ G. (2003), Publiem un site jeune et déjà prometteur à construire ensemble, *Bulletin de l'APMEP* 446, p. 360-366.
- KUNTZ G. (2004), Mathenpoche : de la percée institutionnelle vers un espace numérique de travail ! *Bulletin de l'APMEP* 452, p. 418-431.
- KUNTZ G. (2006), Des examens sans calculatrices personnelles ? *Bulletin de l'APMEP* 463, p. 266 et 297.
- KUNTZ G. (2006), Le café pédagogique, *Bulletin de l'APMEP* 467, p. 825-827.
- LAGRANGE J.-B., HEILBRONNER L. (2003), Adapter un logiciel de calcul formel pour l'utiliser avec des élèves de Lycée, *Bulletin de l'APMEP* 445, p. 225-232.
- LAJUS S.-P. (2004), Les yeux plus gros que le ventre, *Bulletin de l'APMEP* 451, p. 227-233.
- LE FEUVRE B., MEYRIER X., VINCENT P. ET LAGRANGE J.-B. (2006), Un logiciel utilisant le calcul formel pour le lycée, *Bulletin de l'APMEP* 466, p. 714-730 et 736.
- LUBZANSKI J. (2007), L'épreuve pratique en Terminale S : avant, pendant et après ? *Bulletin de l'APMEP* 473, p. 827-830.
- ROBERT C. (2005), Projet de site web sur la statistique dédié aux enseignants, *Bulletin de l'APMEP* 461, p. 797-801.

ROUCHE N. (2005), Apprenti Géomètre : un nouveau logiciel, *Bulletin de l'APMEP* 457, p. 273-281.

ROUCHE N. (2005), Apprenti Géomètre : un nouveau logiciel (II), *Bulletin de l'APMEP* 458, p. 387-394.

ROUX M. (2006), Pour un usage rudimentaire du vidéoprojecteur, *Bulletin de l'APMEP* 462, p. 51-58.

VOGEL N. (2004), Réaction à l'article précédent « Les yeux plus gros que le ventre », *Bulletin de l'APMEP* 451, p. 234-236.

### 3.1.3 Structure de l'étude des articles

Les articles sélectionnés sont classés en deux grands groupes :

- le premier concerne les articles qui parlent des phases de découverte et de première appropriation de l'outil technologique par l'enseignant ;
- le deuxième concerne les articles qui parlent des différents types d'usage des outils technologiques, après leur découverte.

#### Le premier groupe d'articles : découverte et première appropriation de la technologie

Les articles de ce premier groupe seront, à leur tour, séparés selon deux points de vue : au niveau du discours et au niveau de l'action (cf. partie I). Ce regroupement des articles nous permet de distinguer, d'une part, le point de vue des enseignants sur la technologie, appuyé sur une simple description ou de simples expressions, d'autre part les points de vue provenant d'une expérience pratique sur la technologie.

Les points de vue (au niveau du discours et d'action), dans cette première partie des articles, se rapportent à un facteur précis de la facilité d'utilisation : l'adaptabilité, le degré de ressemblance, la facilité d'apprentissage. Nous décrivons donc les facteur(s) qui sont pris en compte dans les articles, et comment ils le sont. Le « comment » prendra en compte une analyse suivant les deux niveaux : discours/action. Le schéma d'analyse de ce premier groupe d'articles sera le suivant :

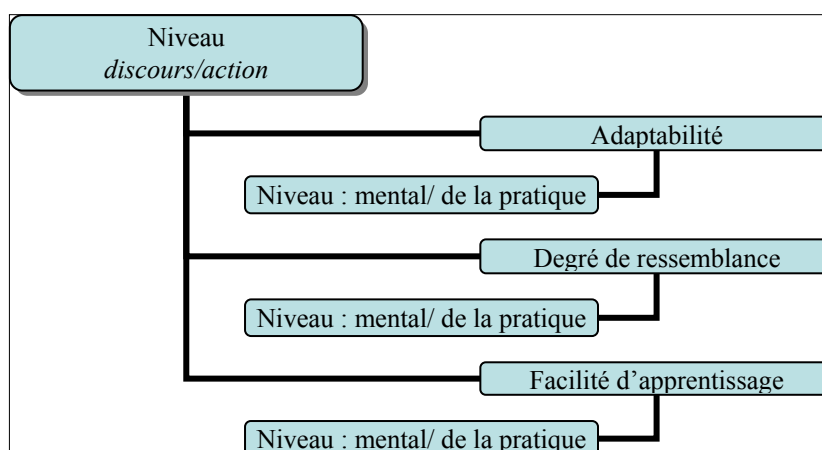


Tableau 5. Schéma d'analyse du premier groupe d'articles

#### Le deuxième groupe d'articles : après la découverte et l'appropriation

Pour ce deuxième groupe, sans distinction de points de vue (discours/action), nous les classerons selon différents types d'usages de la technologie (§ 2.2.2) :

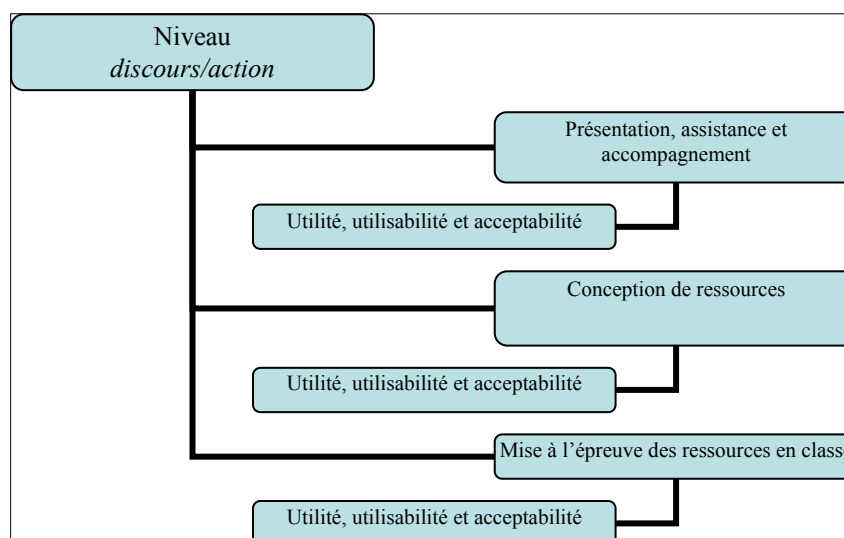
- présentation, assistance et accompagnement de la genèse instrumentale des élèves ;
- conception des ressources et activités de documentation hors classe ;



- mise à l'épreuve des ressources pédagogiques en classe.

Après avoir trié les articles selon ces trois types d'usage, il s'agit de repérer le rôle de l'aspect ergonomique de la technologie, suivant les trois dimensions : utilité, utilisabilité et acceptabilité (§ 2.3).

Le schéma d'analyse des articles de cette deuxième partie sera donc le suivant :



**Tableau 6.** Schéma d'analyse des articles du deuxième groupe d'articles

À l'aide de cette structure méthodologique, nous aborderons le point de vue des enseignants sur la technologie dans une perspective de facilité d'utilisation.

### 3.1.4 l'étude des articles

La séparation des articles en deux groupes, « découverte et première appropriation » et « après la découverte et l'appropriation », ainsi que la distinction des articles en deux niveaux (discours et action), n'était pas une tâche simple. Ainsi, par exemple, des descriptions d'expérimentations dans les articles sont précédées par des hypothèses (qui sont de type discours). Nous avons classé ces articles au niveau de l'action, car les hypothèses sont énoncées au service de l'orientation de l'action de l'enseignant.

Voici le classement des 29 articles retenus :

	Découverte et première appropriation	Après la découverte et l'appropriation	Total
Discours	15	4	19
Action	2	8	10
Total	17	12	29

**Tableau 7.** Classement des 29 articles retenus

Les résultats dans ce tableau montrent que les articles de « découverte et de première appropriation » sont majoritairement dans le groupe des articles au niveau du discours. Les articles du niveau d'action s'inscrivent eux, une place majoritairement dans « après la découverte et l'appropriation ».

Les articles de « découverte et première appropriation » au niveau du discours :

ARCHAMBAULT J.-P. (2004), Les logiciels libres : enjeux éducatifs, *Bulletin de l'APMEP* 452, p. 433-441.

- DAHAN J.-J. (2006), Utilisation du logiciel Cabri 3D de géométrie dans l'espace, *Bulletin de L'APMEP* 466, p. 645-655.
- COUSQUER E. (2002), Travail collaboratif en mathématiques au LAMIA, *Bulletin de l'APMEP* 441, pp.497-511.
- DE GUZMAN M. (2002), Problèmes actuels dans l'enseignement des mathématiques, *Bulletin de l'APMEP* 442, p. 568-589.
- GODON B. (2003), Le site du CREAM, *Bulletin de l'APMEP* 444, p. 72-74.
- GUÉRIMAND F. (2003), Wims : serveur d'exercices mathématiques interactifs, *Bulletin de l'APMEP* 449, p. 797-807.
- HACHE S. (2002), Un site mathématique mutualiste et gratuit sur le Net, *Bulletin de l'APMEP* 440, p. 374-378.
- KUNTZ G. (2003), Cent adresses pour découvrir et convaincre, *Bulletin de l'APMEP* 445, p. 248-252.
- KUNTZ G. (2006), le café pédagogique, *Bulletin de l'APMEP* 467, p. 825-827.
- KUNTZ G. (2003), Publiem un site jeune et déjà prometteur à construire ensemble, *Bulletin de l'APMEP* 446, p. 360-366.
- LAJUS S.P. (2004), les yeux plus gros que le ventre, *Bulletin de l'APMEP* 451, p. 227-233.
- LE FEUVRE B., MEYRIER X., VINCENT P. ET LAGRANGE J.-B. (2006), Un logiciel utilisant le calcul formel pour le lycée, *Bulletin de L'APMEP* 466, p. 714-730 et 736.
- ROBERT C. (2005), Projet de site web sur la statistique dédié aux enseignants, *Bulletin de l'APMEP* 461, p. 797-801.
- ROUCHE N. (2005), Apprenti Géomètre : un nouveau logiciel, *Bulletin de l'APMEP* 457, p. 273-281.
- ROUCHE N. (2005), Apprenti Géomètre : un nouveau logiciel (II), *Bulletin de l'APMEP* 458, p. 387-394.

Les articles de « découverte et première appropriation » au niveau de l'action

- GANDIT M., SERRET C. et PARISSÉ B. (2005), Mathématiques et environnement informatique, *Bulletin de l'APMEP* 459, p. 545-550.
- GANDIT M., PARISSÉ B. et DE GRAEVE R. (2007), mathématiques avec Xcas, *Bulletin de l'APMEP* 468, p. 82-90.

Les articles « après la découverte et l'appropriation » au niveau de discours :

- KUNTZ G. (2006), Des examens sans calculatrices personnelles ? *Bulletin de l'APMEP* 463, p. 266 et 297.
- KUNTZ G. (2004), Mathenpoche : de la percée institutionnelle vers un espace numérique de travail ! , *Bulletin de l'APMEP* 452, p. 418-431.
- LUBZANSKI J. (2007), L'épreuve pratique en Terminale S : avant, pendant et après ?, *Bulletin de l'APMEP* 473, p. 827-830.
- VOGEL N. (2004), Réaction à l'article précédent « Les yeux plus gros que le ventre », *Bulletin de l'APMEP* 451, p. 234-236.

Les articles « après la découverte et l'appropriation » au niveau d'action :

BOULLE R. (2003), Les TICE entre discours officiels et réalités de terrain, *Bulletin de l'APMEP* 447, p. 443-454.

BUTZ F. (2003), Aire et périmètre des rectangles, *Bulletin de l'APMEP* 449, p. 694-696.

BUTZ F. (2005), Un objet impossible, avec Cabri-Géomètre, *Bulletin de l'APMEP* 458, p. 340-344.

COSTE R. (2004), Résolution numérique d'équations différentielles en série S : la méthode d'Euler, *Bulletin de l'APMEP* 450, p. 60-72.

DAROU J.-P. (2002), Construction de polyèdres réguliers et semi-réguliers, *Bulletin de l'APMEP* 439, p. 165-176.

DAUDIN C. (2003), Le calcul c'est dépassé, *Bulletin de l'APMEP* 446, p. 340-346.

LAGRANGE J.-B., HEILBRONNER L. (2003), Adapter un logiciel de calcul formel pour l'utiliser avec des élèves de Lycée, *Bulletin de l'APMEP* 445, p. 225-232.

ROUX M. (2006), Pour un usage rudimentaire du vidéoprojecteur, *Bulletin de l'APMEP* 462, p. 51-58.

### **3.2 L'analyse des articles retenus**

#### *3.2.1 L'analyse des articles de « découverte et première appropriation »*

En ce qui concerne les articles du type « discours », nous présentons ici une analyse générale en fonction de l'adaptabilité, du degré de ressemblance et de la facilité d'apprentissage.

En ce qui concerne l'adaptabilité, un rôle important est donné aux institutions scolaires : la mise à la disposition des enseignants de CD, de logiciels libres et l'encouragement à la constitution des communautés d'enseignants échangeant document et pratique pédagogiques (Archambault 2004). L'apparition de ces collectifs d'enseignants offre une contribution efficace pour l'adaptation des outils technologiques aux différents projets professionnels. La conception des ressources adaptées et adaptables aux différents environnements technologiques est une tâche attribuée et attendue du travail collectif. Les ressources gagnent en adaptabilité dans les échanges de pratiques entre les enseignants. Cette idée est très présente dans les articles, surtout dans ceux qui présentent des sites contenant des ressources numériques mutualisables (Godon 2003). Parfois, la grande diversité de ressources offertes sur internet engendre, pour nombre d'utilisateurs, d'importantes difficultés d'accès aux activités pédagogiques pertinentes qu'ils espèrent y trouver (Kuntz 2003). L'adaptabilité des environnements technologiques dépend du public ciblé par le concepteur. Ainsi, les ressources à destination des enseignants, proposées dans des sites, seront plus expliquées et détaillées, surtout au niveau de la programmation, ce qui leur convient davantage (Hache 2002). Les outils technologiques ont leurs difficultés propres qu'il est difficile de dissimuler. La maîtrise technique est donc nécessaire, mais ne suffit pas (Hache 2002).

L'adaptabilité des environnements technologiques est liée aux principes d'indépendance et de liberté pédagogique auxquels est attaché l'enseignant (Pouts-Lajus 2004). Nous avons remarqué dans les articles que les enseignants attendent toujours une contribution de la part du concepteur de l'environnement informatique et technologique mis à sa disposition, pour connaître les buts et l'esprit de la conception. Ils attendent également de sa part une contribution aux usages (comme une proposition de ressources). Ces contributions facilitent les impacts du premier contact avec la technologie. Nous avons remarqué que cette interaction encore un peu timide, entre concepteur et utilisateur/enseignant a commencé à émerger de plus en plus à la fin de cette période (2002-2008).

En ce qui concerne le degré de ressemblance, le discours des enseignants reprend l'idée qu'une bonne utilisation d'un logiciel (par exemple de géométrie dynamique) doit s'appuyer sur la perception réaliste du monde (Dahan 2006). Dans le cas des environnements informatiques, la « ressemblance » désignée dans le discours n'est pas limitée à la ressemblance entre ces environnements, mais elle désigne aussi une ressemblance au niveau des pratiques d'intégration des TICE : échange de pratiques, exemples concrets d'utilisation des TICE en classe (Kuntz 2006). Parfois, être familier avec un logiciel facilite l'intégration d'un autre logiciel qui lui ressemble dans l'enseignement (Rouche 2005).

En ce qui concerne la facilité d'apprentissage, nous avons noté le souhait de former les maîtres en favorisant une utilisation active des environnements informatiques (Cousquer 2002). Le travail collaboratif permet de percevoir la richesse des outils technologiques par les échanges mettant en évidence une diversité d'usage, mais met aussi en évidence l'ampleur du travail à accomplir pour en faire un usage efficace (Cousquer 2002). Les logiciels qui demandent peu de connaissances informatiques sont, en général, des logiciels appréciés chez les enseignants du fait de la facilité d'apprentissage (Guérimand 2003). Les logiciels de calcul formel sont puissants mais sophistiqués (Le Feuvre *et al* 2006), cette « sophistication » exige de débiter par des fonctionnalités simples, facilement identifiables, ce qui rend le temps des genèses instrumentales plus long. Nous avons remarqué que les concepteurs commencent, dans la deuxième moitié de notre période d'étude, à diffuser des brochures et des informations sur les sites (Rouche 2005), pour assister l'appropriation de la technologie par les enseignants.

Nous avons remarqué, dans cette branche d'étude (« découverte et première appropriation de la technologie » au niveau de discours), que les articles de présentation sont majeurs, surtout les articles de présentation des sites où on peut trouver des ressources numériques et une présentation des logiciels libres. On note aussi l'aspect facilitateur des sites qui permettent les interactions entre les enseignants, en particulier les sites qui présentent des analyses de logiciels (leurs potentialités, leurs contraintes) pour faciliter leur intégration dans la pratique des enseignants. Des logiciels, comme Wims (Guérimand 2003), permettent à l'enseignant, à partir d'un même serveur, de faire des échanges à distance.

Du point de vue du facteur « temps », nous notons que le temps économisé dans l'utilisation des fiches numériques, mutualisées ou récupérées des usages des années antérieures<sup>10</sup>, pousse l'enseignant à enrichir sa pratique par des formations (Hache 2002).

En ce qui concerne les articles du type « découverte et première appropriation » au niveau de l'action, il est remarquable que le processus d'intégration des logiciels par les enseignants n'évoque jamais une comparaison entre différents logiciels disponibles. Autrement dit, les questions de ressemblance, dans la prise en main de la technologie, ne sont pas prises en compte.

En ce qui concerne l'adaptabilité, l'utilisation répétée des logiciels, surtout ceux de calcul formel, peut aboutir à une certaine expertise chez les enseignants qui leur permet de les adapter et les intégrer en correspondance avec leurs besoins (Gandit *et al* 2007).

En ce qui concerne la facilité d'apprentissage, la rétroaction des environnements informatiques concourt à la facilité de leur prise en main et mise en œuvre. Elle permet, pour des logiciels, de corriger facilement les erreurs, et pour d'autres, de saisir l'historique de déroulement d'un procédé (Gandit *et al* 2005). Au niveau des interfaces, il semble que la facilité d'apprentissage est en lien avec la facilité d'utilisation des commandes et des instructions, comme dans le cas du logiciel Xcas (Grandit *et al* 2007).

---

<sup>10</sup> La présence des fichiers numériques, conservés d'une année à l'autre, permet des modifications rapides pour une nouvelle utilisation, ce qui est bénéfique au niveau du temps.

### 3.2.2 L'analyse des articles du groupe « après la découverte et première appropriation »

Nous avons classé ces articles suivant deux niveaux : discours et action.

Au niveau du discours, il y a peu d'articles (4 articles parmi les 29 articles), ils présentent essentiellement l'opinion d'enseignants sur la technologie après un certain temps de mise en œuvre et différents usages.

#### Présentation, assistance et accompagnement de la genèse instrumentale des élèves :

En ce qui concerne l'utilisabilité, l'apparition des logiciels libres augmente l'utilisabilité des logiciels (installation, en principe, plus facile chez les enseignants), qui se traduit par une performance de son utilisation en classe (Lubszanski 2007).

En ce qui concerne l'utilité, le développement des attitudes scientifiques et des réflexions chez les élèves constituent des objectifs importants chez la plupart des enseignants. Ces objectifs se développent en encourageant chez les élèves la recherche et l'émission de conjectures. Certains logiciels favorisent ces démarches qui, souvent, et ne demandent pas de compétences informatiques spécifiques (Lubszanski 2007). Dans ces cas, la marge d'utilité de la technologie s'élargit, car la technologie est directement au service des objectifs d'enseignement.

En ce qui concerne l'acceptabilité, ce qui empêche les enseignants d'intégrer les outils technologiques à disposition des élèves dans leur enseignement, c'est leur impression que cette intégration est coûteuse en temps. Le temps est un facteur qui influe sur l'acceptabilité de l'intégration de la technologie dans l'enseignement : ce n'est qu'après un certain temps d'utilisation et d'intégration de la technologie dans son enseignement, que l'enseignant commence à engranger les bénéfices de ce type de travail.

#### Conception de ressources et activités de documentation hors classe :

En ce qui concerne l'utilisabilité de la technologie, au niveau du discours, elle n'est pas traitée dans les articles sélectionnés.

En ce qui concerne l'utilité, il existe, dans des contextes spécifiques (associations d'enseignants par exemple), un intérêt chez les enseignants de mathématiques pour les ressources en ligne et pour communiquer leurs réactions, leurs critiques, leurs suggestions à leurs collègues (Kuntz 2004). Ceci constitue un travail coopératif indirect, qui favorise l'appréhension d'une utilité articulée avec un projet professionnel.

En ce qui concerne l'acceptabilité, on peut noter que la formation théorique des enseignants ne suffit pas pour arriver à une acceptabilité raisonnable de la technologie. Il semble important d'assurer aux enseignants une formation mieux pensée (Vogel 2004).

#### La mise à l'épreuve des ressources pédagogiques en classe :

Au niveau du discours, nous n'avons pas remarqué d'articles évoquant la mise en œuvre des ressources en classe. L'analyse *a priori* et *a posteriori* de la mise à l'épreuve des ressources ainsi que la réflexion critique sur cette mise à l'épreuve restent largement implicites.

Au niveau de l'action, les articles reflètent ce que disent les enseignants, d'un point de vue pratique, après un certain temps d'utilisation de la technologie dans leur travail d'enseignement. Ainsi, le point de vue décrit dans ces articles se situe dans le cadre d'une réflexion critique sur ce qui a été déjà réalisé effectivement dans les classes.

#### Présentation, assistance et accompagnement de la genèse instrumentale des élèves :

En ce qui concerne l'utilisabilité, l'introduction de la technologie pour les élèves pourra être utile si elle est précédée par une préparation spécifique (fiches de mode d'emploi, fiches de prise en main). Par exemple : l'utilisation d'un tableur peut être précédée par une préparation sur papier afin que les élèves éclaircissent le travail à faire avant de s'y lancer (Butz 2003).

En ce qui concerne l'utilité, les outils informatiques ont une efficacité réelle pour développer des images mentales riches chez les élèves (Roux 2006). Ceci aide à une transposition d'une mathématique plus « objective ».

Les logiciels qui ont une utilité plus faible que d'autres sont ceux qui renvoient des messages d'erreurs difficiles à interpréter ; les enseignants seront alors obligés d'intervenir aussi bien sur des questions de syntaxe que de non-compréhension (Lagrange *et al* 2003).

En ce qui concerne l'acceptabilité, ce n'est pas cité dans les articles de ce groupe, ce qui semble cohérent, car dès lors qu'on présente une technologie aux élèves, alors on a dépassé, d'une façon ou d'autre, le fait d'accepter son intégration dans son travail d'enseignement.

#### Conception de ressources et activités de documentation hors classe :

En ce qui concerne l'utilisabilité, lors de l'organisation des séances, les enseignants prennent en compte le temps mis pour la prise en main du logiciel par les élèves : une activité est faisable en une heure, par exemple, lorsque les élèves sont entraînés à l'usage du logiciel et elle ne l'est pas s'ils ne sont pas familiers avec la technologie (Butz 2005).

Nous n'avons pas noté que la dimension « utilité » est prise en compte dans ce groupe d'articles.

En ce qui concerne l'acceptabilité, elle dépend de la vision des mathématiques que possède un enseignant. L'intégration des calculatrices programmables et des tableurs dans l'enseignement, surtout dans le cas des équations différentielles (Coste 2004), est liée à une perception de l'intérêt de l'analyse numérique. Les ressources conçues dans des collectifs gagnent une acceptabilité auprès des enseignants, car elles sont expérimentées et s'intègrent dans une démarche qualité, comme les ressources du SFoDEM (Roux 2006). Ce point de vue sur les ressources liées à travail collectif (et collaboratif) est aussi mis en évidence à l'occasion des entretiens faits avec des enseignants dans l'équipe e-coLab (Sabra 2008).

#### La mise à l'épreuve des ressources pédagogiques en classe :

En ce qui concerne l'acceptabilité, le foisonnement des sites (institutionnels ou non), ainsi que d'ouvrages proposant une scénarisation des ressources (Boulle 2003), agit positivement sur l'acceptabilité de la technologie.

Nous notons que les articles qui parlent des TICE en mathématiques (dont ceux que nous avons repérés dans cette étude), ont aussi un effet indirect, via les formateurs, sur la facilité d'utilisation de la technologie ; c'est un moyen de mutualisation des expériences.



### Conclusions de la partie III

Dans ce qui suit, nous présentons les conclusions de notre étude, en étant conscients qu'elles sont dépendantes de choix méthodologiques : choix d'une coupe d'articles, choix d'une période, choix d'analyse.

Au niveau du discours, nous avons remarqué que les enseignants recourent souvent à des généralités dans leur explication, comme par exemple la description générale d'une expérience professionnelle avec les TICE au cours du temps (Lubzanski 2007). Ils évoquent aussi des besoins, et des critiques des environnements technologiques liées à leur propre pratique. Ces commentaires révèlent un retour réflexif sur les tâches effectuées, susceptible de faire évoluer leur activité professionnelle.

Au niveau de l'action, la majorité des articles repérés présente des expérimentations (Grandit 2005) ou des parties d'expérimentations (Lagrange *et al* 2003) des nouveaux logiciels. D'autres articles présentent des ressources expérimentées à la suite d'une initiative personnelle des enseignants (Butz 2005, Coste 2004, Darou 2002), ou bien des expériences vécues dans les classes par un enseignant, qui décide de les partager avec les autres (Butz 2003). Les articles qui transmettent des actions vécues sont proposés avec l'objectif de pousser et encourager les autres professeurs (Roux 2006). On note cependant qu'un certain type de réticence demeure chez des enseignants par rapport à l'utilisation des TICE (Cousquer 2002).

Les problèmes institutionnels semblent s'opposer à la facilité d'utilisation de la technologie par les enseignants. Par exemple le faible équipement des salles informatiques constitue une difficulté pour l'organisation des séquences d'enseignement (Vogel 2004). Par contre, un certain type de soutien institutionnel facilite l'intégration de la technologie dans l'enseignement des mathématiques (Lubzanski 2007). Ce soutien influe largement sur l'acceptabilité de la technologie par les enseignants.

Les outils technologiques semblent gagner, au fil des articles, une acceptabilité raisonnable dans la communauté des enseignants des mathématiques. Les échanges, entre enseignants intégrant les TICE et d'autres qui sont réticents, favorisent cette acceptabilité (Kuntz 2006). Les échanges favorisent la transmission des pratiques des uns vers les autres (Hache 2002). L'acceptabilité d'un outil suppose que soit installée, chez les enseignants, la conviction que « c'est utile ! » (Lajus 2004). Par contre, les enseignants des mathématiques maintiennent, encore, une idée négative de l'effet des outils technologiques sur la gestion de leur temps d'enseignement. Ceci semble constituer un obstacle sérieux à l'acceptabilité des environnements technologiques.

Nous notons une évolution dans la nature de l'activité des enseignants en France. La période 2002-2008 présente une montée progressive des aspects collectifs du travail (Cousquer 2002). Cette nouvelle tendance est due, dans la plupart des cas, à des initiatives personnelles ou associatives (Godon 2003). Le travail collectif des enseignants prend plusieurs formes : le développement de plates-formes de travail (Guérimand 2003) ainsi que le développement de groupes de travail formels ou informels (Kuntz 2006). On peut noter aussi le développement des sites pour la mutualisation des ressources entre les enseignants, et l'échange d'expérience à partir de différents supports (Kuntz 2003). Le travail collectif des enseignants, en présence ou à distance, à partir des plates-formes et des sites différents, a souvent pour but de faciliter l'utilisation des outils technologique dans l'activité professionnelle des enseignants.

On remarque aussi l'apparition de sites de types différents : les sites contenant des ressources mutualisées et des logiciels libres à télécharger (Archambault 2004), offrant aussi des possibilités d'échanges d'expériences entre enseignants. L'apparition de ces sites élargit la



réflexion des enseignants et des chercheurs, de la « facilité d'utilisation » des outils technologiques à la facilité d'utilisation d'environnements informatiques plus larges, dont les sites de ressources font partie. La notoriété des sites contenant des ressources numériques vient de la confiance envers ces ressources, conçues et expérimentées au sein des collectifs. La confiance est en relation directe avec leur adaptabilité. Les enseignants hésitent alors moins à les intégrer à leur propre activité individuelle d'enseignement.

En ce qui concerne l'usage de la technologie, la perception de la potentialité des outils technologiques, ainsi que la conscience de l'ampleur de travail à accomplir pour leur mise en œuvre, constituent les premiers pas vers un usage plus facile et plus efficace. Les enseignants, conscients de cela, évoquent leur besoin de formation continue. Ils signalent un besoin d'un type particulier de formation : après l'appropriation première de la technologie, les enseignants perçoivent que les formations sont en général trop éloignées des besoins de la classe et sollicitent des formations plus articulées autour de phases de mise en œuvre. Des formations de ce type ont émergé dans la période 2002-2008, par exemple le SFoDEM. Le travail collaboratif joue un rôle efficace dans ces projets, mais il soulève des questions de temps.

Pour faciliter l'utilisation des nouvelles technologies, les enseignants attendent des concepteurs une aide, surtout en ce qui concerne les premières prises en main. Cette aide est réalisée par des informations et des brochures sur les sites des concepteurs, aussi que par l'apparition de ressources proposant des scénarios de mise en œuvre. Ces gestes de la part des concepteurs sont considérés comme naturels, surtout dans la deuxième moitié de la période 2002-2008 (Kuntz 2006). Ceci peut être mis en relation avec l'apparition des initiatives analogues de la part d'équipes de professeurs de mathématiques (comme le CD « 36 élèves 36 calculatrices » (Boursey *et al* 2003).

Au niveau des interfaces, en particulier les interfaces de manipulation, les logiciels qui demandent peu de connaissances informatiques et moins de programmations (par exemple la manipulation directe sur écran comme Cabri géomètre) sont les plus acceptés par les enseignants pour les intégrer dans leur activité professionnelle (Dahan 2006).

On peut noter que ce type d'articles constitue une mutualisation particulière des idées et des expériences entre enseignants, ce qui a sans doute des effets sur la facilité d'utilisation de la technologie.

À la suite de cette étude, plusieurs questions apparaissent et mériteraient d'être reprises dans des études plus approfondies : ce qui est décrit dans les articles traduit-il la situation réelle dans les classes ? Quel décalage entre le discours et le réel existant ? Boulle (2003) met en évidence les décalages existant entre le discours officiel et la réalité du terrain. Ceci amène d'autres questions : quels sont les facteurs produisant ce décalage ? Quelle est leur nature (didactique, ergonomique, sociale, culturelle, etc.) ?

Nous avons remarqué que la facilité d'utilisation repérée dans les articles ne prend pas beaucoup en compte les facteurs et les caractéristiques propres aux individus, il semble que cela est dû plutôt à la nature de notre étude qui repère le point de vue d'enseignants génériques, qui parlent de leur travail. Des questions pourraient être posées, au-delà de ce que disent les enseignants, sur le lien existant entre la facilité d'utilisation et le monde des enseignants (Sabra 2008), avec ses facettes professionnelles, culturelles, sociales...

## Partie IV : Impact de l'intégration de la technologie sur les résultats d'apprentissage.

*L'observation recueille les faits ; la réflexion les combine ; l'expérience vérifie le résultat de la combinaison.*

*Denis Diderot*





## 1. Résultats d'apprentissage sous l'intégration des TICE en mathématiques

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'intégration des outils technologiques (logiciels et calculatrices) au sein du processus d'apprentissage des élèves et, en particulier, à leur influence sur la construction de leur propre savoir en mathématiques.

### 1.1 TICE et processus d'apprentissage

Tout d'abord, il s'agit de définir ce qu'est l'intégration des TICE dans les processus d'apprentissage. Les outils technologiques enrichissent le milieu d'apprentissage (traditionnellement la salle de classe). Actuellement, les classes sont équipées de vidéoprojecteurs, des calculatrices de types différents... et les enseignants peuvent accéder à des salles informatiques dans lesquelles les ordinateurs sont équipés de logiciels de différents types (de calcul formel, de géométrie dynamique, de simulation...). Ceci nous conduit à dire que le milieu matériel qui interagit avec l'apprenant s'est enrichi dans les classes de mathématiques.

Les approches constructivistes ou socioconstructivistes ont, depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle au moins, remis en question une vision purement transmissive de l'apprentissage et mis l'accent sur les processus d'adaptation individuels et sociaux à un milieu ; elles ont éclairé l'influence des connaissances antérieures des élèves sur leurs constructions cognitives, par exemple en mathématiques. Les ressorts de la conceptualisation apparaissent dès lors comme :

- l'interaction avec un certain milieu. Le processus d'apprentissage consiste à agir sur un milieu donné ; la rétroaction du milieu permet de construire des connaissances nouvelles qui s'intègrent dans de nouveaux apprentissages ;
- la réorganisation permanente des connaissances au fur et à mesure de l'intégration de nouvelles connaissances.

En ce qui concerne l'enrichissement du milieu par l'intégration de nouvelles technologies, il semble également pertinent de poser les questions suivantes :

- quel *instrument* (Rabardel 1995) l'apprenant construit-il au cours du temps pour une bonne mobilisation des connaissances antérieures dans la construction d'un nouveau savoir ?
- comment les enseignants conduisent-ils les genèses instrumentales ?

L'intégration des TICE dans un milieu d'apprentissage est importante, mais il reste à en assurer la *viabilité* (Chevallard 1992).

### 1.2 Résultats des processus d'apprentissage

Apprentissage et technologie sont en lien à plusieurs niveaux :

- niveau de médiation : lors d'un engagement dans une activité mathématique, en mobilisant des outils, l'élève construit un (ou plusieurs) instrument(s) au cours du temps ;
- niveau affectif : impact de la technologie sur les élèves, leur motivation et leur investissement dans le travail,
- niveau cognitif : les résultats de l'apprentissage mathématique des élèves.

### *1.2.1 Résultat des genèses instrumentales*

Les processus d'instrumentation et d'instrumentalisation se développent dans le temps. Ces processus ont lieu dans le cadre de l'action du sujet : une prise en main de l'outil technologique, une mobilisation de l'outil pour résoudre un problème donné.

Un rôle d'assistance de cette genèse instrumentale est donné à l'enseignant : introduction de la technologie, organisation des séances, ressources pédagogiques construites et mises en œuvre suivant des scénarios à imaginer. Dans un moment d'évolution et de complexification technologiques, comment est abordée, dans la littérature, cette question de genèse instrumentale ?

### *1.2.1 Résultat affectif : motivation et investissement des élèves dans le travail*

Les élèves considèrent la calculatrice comme une aide possible pour leur travail mathématique, ce qui facilite l'appropriation de cet outil (Trouche 2002), d'où un premier impact positif. La motivation « régule le fonctionnement de l'individu en interaction avec son milieu » (Nuttin 1985) ce qui se manifeste par une participation active des élèves dans le travail. Dans le cadre de notre étude, on cherche comment ces facteurs affectifs sont pris en compte dans la littérature des recherches francophones et quelle est leur place dans les résultats des processus d'apprentissage avec la technologie.

### *1.2.2 Résultat des apprentissages mathématiques*

Nous nous intéressons à la façon dont la technologie est mobilisée au service de l'apprentissage des mathématiques aussi qu'à l'influence des TICE sur cet apprentissage. Nous essayons de repérer, dans les recherches, les questions du rapport des élèves au savoir : est-ce que la technologie modifie ce rapport au savoir ? Est-ce qu'il y a des recherches qui comparent l'apprentissage des mathématiques avant la technologie et après la technologie ?

## **1.3 Evaluation des résultats de l'apprentissage avec la technologie**

Nous venons de parler des résultats d'apprentissages avec la technologie, mais ces résultats sont analysés à partir d'outils d'évaluation. Nous distinguons, dans le cadre de notre étude, deux types d'évaluation :

- l'évaluation des apprentissages mathématiques des élèves, pour tirer des conséquences sur le rôle de la technologie dans cet apprentissage ;
- l'évaluation des processus d'apprentissage : ces évaluations supposent des recherches didactiques.

Il s'agit donc pour nous de repérer les méthodes d'évaluation des apprentissages, en cours dans les institutions scolaires. Les méthodes d'évaluation ont des effets sur les résultats de cette évaluation. La question est de savoir comment un enseignant peut mesurer les progrès d'un apprenant par rapport aux différents objectifs de cet apprentissage. Aussi nous essayerons de repérer les outils méthodologiques permettant l'analyse de l'apprentissage avec la technologie.

## 2. Méthodologie

Pour aborder nos objectifs, nous avons eu recours au corpus des 35 publications de la première partie pour les raisons suivantes :

- nous pouvons repérer dans ce corpus les points de vue d'auteurs de différents statuts (chercheurs, formateurs, enseignants, institutionnels) ;
- ce corpus contient différents types de publication : articles de recherche, description d'une expérimentation, réflexion générale ou présentation d'un produit technologique. Cette diversité de types de publications nous permet de repérer différents résultats des processus d'apprentissage, à différents niveaux et suivant une diversité d'outils méthodologiques.

Nous notons que, dans l'ensemble de ce corpus, la technologie commune est la calculatrice (de différent type). On peut cependant y trouver des publications où la calculatrice n'est qu'une des technologies évoquées, dans un ensemble d'environnements informatiques.

### 2.1 Sélection des articles

Pour répondre aux objectifs de notre étude, nous avons sélectionné, dans ce corpus, les articles qui se centrent totalement ou partiellement sur les apprenants et leurs tâches, ainsi que les articles qui parlent de la technologie et de sa potentialité pour l'apprentissage des élèves. Nous avons sélectionné en fin du compte 15 articles :

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., ZUCHI I. (2008), Nouvel environnement technologique, nouvelles ressources, nouveaux modes de travail : le projet e-CoLab, *Repères-IREM 72* et EducMath.

[http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

BOURSEY E., NOYARIE D., THOMAS R. (2003), 36 élèves 36 calculatrices, *IREM de Lyon*, cédérom.

CARON F. (2007), Au cœur de « la calculatrice défectueuse » : un virus qu'on souhaiterait contagieux ! *Petit x 73*, 71-82.

KRYSINSKA M., MERCIER A., SCHNEIDER M. (2007), Gestion d'instrumentation didactique de calculatrices graphiques dans l'étude de classes paramétrées de fonctions, in Floris et Conne (dir.) *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques. Intégrer des artefacts complexes, en faire des instruments au service de l'enseignement et de l'apprentissage*, p. 135-160. Bruxelles : De Boeck.

GUIN L., TROUCHE L. (dir.) (2002), *Calculatrices symboliques, transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, Grenoble : La Pensée Sauvage.

ARTIGUE M., L'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement secondaire : les leçons de quelques ingénieries didactiques, p. 277-349.

LAGRANGE J.-B., Étudier les mathématiques avec les calculatrices symboliques : quelle place pour les techniques, p. 151-185.

TROUCHE L., Une approche instrumentale de l'apprentissage des mathématiques dans des environnements de calculatrice symbolique p. 187-214.

HIVON L. (2006), Vers une mutualisation de la calculatrice en classe, Les calculatrices pour qui, pour quoi et comment, *MathémaTICE 1*, 13 p.,

<http://revue.sesamath.net/spip.php?article29>

HIVON L., MANUEL P., TROUCHE L. (2008), D'un réseau de calculatrices à la construction collaborative du savoir dans la classe, *Repères-IREM* 72 et EducMath

[http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

LAGRANGE J.-B, HEILBRONNER L. (2003), Adapter un logiciel de calcul formel pour l'utiliser avec des élèves de Lycée, *Bulletin de L'APMEP* 445, 225-232.

MOISAN J. (2006), Des outils numériques pour l'enseignement des mathématiques. *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 4-8.

NOGUÈS M. (2006), Des calculatrices en classe. *Dossiers de l'ingénierie éducative* 54, 47-49.

ROUSSEL D. et le Groupe lycée professionnel de l'IREM d'Aix-Marseille (2006), Les calculatrices formelles en classes de baccalauréat professionnel, *MathémATICE* 1, 6 p., <http://revue.sesamath.net/spip.php?article=27&x=16&y=11>

TROUCHE L. (2005), Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques, nécessité des orchestrations, *Recherches en Didactique des Mathématiques* 25(1), 91-138.

VERDIER J. (2002), Les calculatrices n'ont pas toujours raison, un exemple le calcul de  $A = 9x^4 - y^4 + 2y^2$  pour  $x = 10\ 864$  et  $y = 18\ 817$ , *Bulletin de l'APMEP* 440, 293-302.

## 2.2 Analyse du contenu : quels résultats des processus d'apprentissage ?

Nous traitons le contenu des articles sélectionnés, en repérant trois niveaux de résultat avec la technologie : résultat des genèses instrumentales ; résultat affectif ; résultat de l'apprentissage des mathématiques.

### 2.2.1 Résultat des genèses

Les recherches prennent en compte la différenciation de processus de prise en main de l'outil technologique par les apprenants. Le niveau de l'appropriation des outils technologiques semble variable chez les apprenants avec le temps. Certaines publications mettent en évidence le lien entre le niveau de l'appropriation de l'outil et la finesse du passage entre l'activité papier/crayon et l'activité instrumentée (Aldon *et al* 2008). Les recherches sur l'intégration des calculatrices symboliques dans les processus d'apprentissage des mathématiques se sont révélées fructueuses, surtout au niveau de diversité d'applications qu'elles permettent (Trouche 2005).

Les publications repérées donnent aux interfaces un rôle important dans la genèse instrumentale ainsi que dans les résultats des élèves. Les interfaces mal conçues entraînent des difficultés d'utilisation de l'outil technologique, perturbant l'intégration dans les cours de mathématiques (Aldon *et al* 2008).

Dans le cas du calcul formel, les articles relèvent une influence forte de l'outil (Roussel *et al* 2006, Noguès 2006) sur de l'activité des élèves.

L'hétérogénéité des calculatrices dans les classes oblige les enseignants à jongler entre les marques et les modèles : devant l'ampleur de la tâche (et son intérêt jugé limité), la plupart y renoncent et laissent les élèves se débrouiller. Ces derniers n'utilisent alors, en général, que les fonctions de base (Moisan 2006). Cette hétérogénéité a poussé des équipes d'enseignants à concevoir des fiches techniques et des ressources exploitables avec plusieurs outils technologiques (Boursey *et al* 2003), d'où l'intérêt des recherches sur les ressources construites et partagées entre les enseignants et leurs effets sur la genèse instrumentale.

Les ressources construites par les enseignants, ou résultant d'un travail collectif et collaboratif, peuvent être très riches aussi bien sur le plan instrumental que mathématique (Aldon *et al* 2008). Les recherches montrent que les situations proposées constituent une contribution forte pour les genèses instrumentales. Par exemple, des situations proposées dans certains articles (Verdier 2002) font percevoir aux élèves que le calcul des grands nombres n'est pas toujours faisable exactement par la calculatrice (du fait de ses propres limites). En conséquence, de nouvelles compétences calculatoires apparaissent (Verdier 2002). Des recherches mettent en évidence que la mobilisation des techniques pour la construction du propre savoir des élèves suppose que le professeur organise cette mobilisation (Krysinska 2007) par la gestion didactique du milieu, dont les ressources sont une composante forte.

### 2.2.2 *Résultat affectif : motivation et investissement dans le travail*

Les recherches sélectionnées s'intéressent moins au niveau affectif qu'aux deux autres niveaux (genèse instrumentale et apprentissage mathématique). Les résultats affectifs, quand ils existent, sont liés à des conditions didactiques et ergonomiques.

Lorsque les élèves perçoivent les possibilités et capacités que peut donner un outil technologique, ils s'engagent dans l'activité d'apprentissage (Aldon *et al* 2008). La perception des contraintes d'un outil technologique contribue à la mise en place de situations mathématiques susceptibles de constituer un défi motivant pour l'élève et de faire appel à sa créativité (Caron 2007).

Il est remarquable que, dans des dispositifs en réseau, l'activité mathématique est plus intense et peut engager la réalisation de tâches complexes (Hivon 2006). La possibilité pour ce type de dispositif d'offrir une simultanéité de réponses sur un espace commun de travail semble favoriser l'engagement des élèves (Hivon 2006) et des *pratiques réflexives* (Dillenbourg 1999), qui peuvent permettre aux élèves de s'extraire de leur propre production et de s'inclure plus facilement dans un échange entre pairs.

### 2.2.3 *Résultat des élèves dans l'apprentissage des mathématiques*

L'utilisation de certains des outils technologiques (comme le logiciel de « calculatrice défectueuse »), dans la résolution des problèmes peut difficilement se faire sans un travail sur le sens des concepts mathématiques et des liens qui les unissent (Caron 2007). Les potentialités des outils technologiques et la perception de ces potentialités par les élèves peuvent offrir de multiples pistes d'exploitation dans la résolution des problèmes (Aldon *et al* 2008). Dans le même cadre, lorsqu'on parle du rôle de la technologie dans les apprentissages mathématiques, on note que la rapidité d'exécution et la fiabilité permettent d'élaborer des stratégies sans que l'enseignant intervienne pour relancer la recherche (Lagrange et Heilbronner 2003). Pour assurer des bons résultats dans l'apprentissage des mathématiques à partir d'un outil technologique, des recherches recommandent la mise en place de situations mathématiques spécifiques et la conception des ressources pédagogiques qui prennent en compte les contraintes de l'outil (Trouche 2005).

L'interaction entre le travail papier/crayon et le travail à la machine semble jouer un rôle important dans les apprentissages des élèves, et peut se traduire par une bonne appréhension des objets mathématiques (Artigue 2002). Des situations mettent en évidence les nécessaires allers-retours entre les données à l'écran, immédiates, et la réflexion théorique (Noguès 2006) pour construire de vrais apprentissages.

Il est remarquable de constater que l'utilisation d'outils permettant de faire travailler en réseau (ex. TI-Navigator) permet aux élèves de développer un débat scientifique dans la classe : les élèves produisent des contre-exemples et s'engagent dans des démarches de preuves, (Hivon



2006). L'élève devient, là encore, acteur de la construction de son savoir et de celui de ses camarades (Hivon 2006).

Certaines recherches notent que l'homogénéité des outils technologiques (surtout dans le cas des calculatrices) est très favorable aux apprentissages, et permet de travailler des exercices plus complexes (Roussel *et al* 2006). Le fait de fournir un outil technologique approprié aux élèves permettra de faire des mathématiques et non plus d'admettre les mathématiques (Roussel *et al* 2006).

La calculatrice graphique permet une diversité de conjectures de la part des élèves : c'est un outil qui donne à voir de nombreux phénomènes graphiques (Krysinska *et al* 2007). Lorsque les questions, dans le cas des fonctions, sont formulées d'une façon à associer des écritures algébriques à des phénomènes graphiques, ceci semble favoriser la conceptualisation.

Certains articles notent que l'utilisation de calculatrices symboliques semble particulièrement utile pour soutenir l'apprentissage du calcul algébrique (Artigue 2002).

## **2.3 Evaluation des résultats des apprentissages avec la technologie**

### *2.3.1 Outils méthodologiques pour donner des évaluations*

Dans les articles, plusieurs outils méthodologiques interviennent dans l'analyse des processus d'apprentissage :

- des entretiens avec un échantillon d'élèves lors d'une expérimentation (Aldon *et al* 2008). Dans certaines recherches, les entretiens auront lieu dans des périodes différentes de l'expérimentation (dans le cas où l'expérimentation se déroule sur un temps significatif), pour mesurer les évolutions ;
- des observations dans les classes qui ont comme objectif de repérer l'activité des élèves avec la technologie et leur investissement dans le travail (Aldon *et al* 2008, Caron 2007, Hivon *et al* 2008) ;
- des ingénieries didactiques sur plusieurs séances : certaines pour la prise en main de l'outil technologique par les élèves (Artigue 2002, Hivon *et al* 2008) et d'autres dans le cadre de la conception des ressources adaptées à un outil technologique (Aldon *et al* 2008).

Parfois dans des recherches, un paramétrage du logiciel est réalisé pour qu'il ne propose que des commandes nécessaires liées à un problème proposé, et cela en correspondance avec la problématique de recherche (Lagrange et Heilbronner 2003).

### *2.3.2 Les méthodes d'évaluation dans l'enseignement ;*

Les publications ne révèlent pas un intérêt spécifique des enseignants concernant l'influence de la technologie sur l'apprentissage des mathématiques. L'introduction d'une épreuve pratique de mathématiques au brevet et au baccalauréat renforcerait cependant la place des outils technologiques dans l'enseignement (Moisan 2006). Cette évolution devrait susciter un développement des recherches en didactique pour l'élaboration et la mise en place des outils dans l'évaluation continue de l'apprentissage des mathématiques, intégrant l'apport des TICE. Certaines recherches mettent en évidence que parfois le travail instrumenté révèle la fragilité des connaissances mathématiques, ce qui peut aider l'enseignant à évaluer les acquis des élèves, surtout dans le calcul algébrique (Artigue 2002).

### 3. Conclusion de la partie IV

Nous présentons les conclusions de notre étude en restant prudents, car il s'agit de conclusions obtenues à partir d'un corpus de publications que nous avons analysé suivant les objectifs de notre étude.

Nous avons pu remarquer que, dans des recherches francophones, les apprentissages mathématiques des élèves sont mis en relation avec l'utilisation de la technologie (Aldon *et al* 2008, Artigue 2002). Une responsabilité forte est reconnue à l'enseignant dans l'assistance des processus d'appropriation de la technologie par les élèves.

L'hypothèse est aussi émise qu'une bonne prise en main de l'outil est liée à une bonne mobilisation des connaissances antérieures en mathématique (Boursey *et al* 2003). Pour tout cela, un rôle est attribué à l'enseignant pour assister cette appropriation à travers des ressources pédagogiques bien conçues.

Les études révèlent des niveaux d'appropriation différenciés des outils technologiques, ce qui amène à des résultats différenciés chez les élèves : les résultats d'apprentissage avec la technologie dépendent d'une certaine façon des caractéristiques de l'individu.

La découverte et la perception des nouvelles potentialités d'un outil technologique sont intimement liées à son intégration dans la classe de mathématiques (Aldon *et al* 2008). Certaines contraintes des outils technologiques obligent les apprenants à réinterroger le sens des concepts mathématiques et les liens qui les unissent (Caron 2007). Les potentialités et les contraintes de ces outils jouent un rôle déterminant dans la construction des ressources (Aldon *et al* 2008), ce qui a une influence sur les mathématiques construites par les élèves.

Les recherches donnent une importance particulière à l'articulation entre les activités instrumentées et les activités papier/crayon, elles notent que, si ce passage est assuré « avec douceur », il favorise de bons résultats pour l'apprentissage. La réussite de ce passage semble dépendre, dans les publications, de plusieurs facteurs :

- la nature des interfaces : visuelles et de manipulation ;
- les ressources pédagogiques mises en œuvre ;
- l'assistance de ce passage par l'enseignant à partir des ressources pédagogiques et une bonne gestion didactique des artefacts.

Une grande importance, pour le développement des processus d'apprentissage, est attribuée aux ressources, à plusieurs niveaux :

- les ressources pour l'appropriation de la technologie ont des effets forts sur les genèses instrumentales ;
- les ressources pour la construction du savoir mathématique supposent un bon passage entre l'activité instrumentée et l'activité papier/crayon ;
- les ressources doivent prendre en compte les contraintes et les potentialités de l'outil technologique en jeu.

Avoir une bonne relation avec l'outil technologique, facilite l'engagement des élèves dans l'activité de résolution de problèmes (Aldon *et al* 2008).

Les dispositifs en réseau ont des effets positifs sur l'apprentissage des mathématiques : ces dispositifs offrent la possibilité d'un débat scientifique en classe (Hivon 2006), ceci à des effets positifs sur l'investissement des élèves dans le travail. Ils entraînent une plus grande richesse du débat scientifique, vers une construction collaborative des connaissances (Hivon *et al* 2008).

Les articles sélectionnés ne prennent pas beaucoup en compte le niveau affectif des apprenants, mais interrogent souvent l'homogénéité (ou hétérogénéité) des outils mis à la disposition des élèves (en particulier pour les calculatrices).

Les évaluations des processus d'apprentissage avec la technologie se trouvent surtout dans des articles de recherches consacrés à des suivis sur le long terme (Aldon *et al* 2008), à des micro-ingénieries didactiques (Artigue 2002) aussi qu'à des entretiens avec les étudiants. La plus grande majorité des études a recours à une étude qualitative et non quantitative.

## Partie V : Apports et intérêt des logiciels de calcul formel au lycée.

*Trouver quelque chose en mathématiques, c'est vaincre une inhibition et une tradition.*  
Laurent Schwartz





## 1. Introduction

Dans l'étude de la littérature de recherches francophones sur l'intégration des calculatrices dans l'enseignement des mathématiques (cf. partie I), nous avons constaté une évolution des objets de recherche, du point de vue du savoir mathématique en jeu. Au cours de la période d'étude (2002-2008), la géométrie est principalement étudiée dans des environnements de géométrie dynamique implémentés sur des ordinateurs, et le calcul formel semble être davantage pris en compte. Ces phénomènes sont sans doute à mettre en relation avec les évolutions technologiques : développement des environnements de calculatrices symboliques qui donnent accès au calcul formel, petitesse des écrans de calculatrice peu adaptés à la manipulation de figures de géométrie complexes.

Avant le présent travail, nous avons réalisé trois types d'étude dans la littérature des recherches francophones en didactique des mathématiques, dans la période 2002-2008 :

- la première sur l'apprentissage en autonomie dans des environnements technologiques variés ;
- la deuxième sur la facilité d'utilisation de la technologie par les enseignants ;
- la troisième sur l'impact de l'apprentissage avec la technologie sur les résultats des élèves.

Le calcul formel était présent dans ces études, comme domaine d'activité mathématique :

- dans la première étude, nous avons réalisé deux coupes d'étude : une se centrant sur la technologie « calculatrices » et l'autre sur la revue « Repères-IREM ». Dans la coupe « calculatrices », nous avons remarqué la prédominance du calcul formel comme objet d'étude mathématique, surtout dans la deuxième moitié de la période choisie ;
- dans la deuxième étude, nous avons mis en évidence que les logiciels de calcul formel sont considérés par les enseignants comme « sophistiqués ». L'utilisation régulière de ces logiciels peut aboutir, au prix d'un effort important d'appropriation, à une certaine maîtrise par les enseignants, pour une intégration dans leur enseignement ;
- dans la troisième étude, dans le cas du calcul formel, les articles relèvent une influence forte des caractéristiques de l'environnement sur les résultats des élèves.

Il semble ainsi qu'il y ait une présence certaine du calcul formel, comme objet d'étude mathématique, dans les travaux de recherche. Les recherches portant sur le calcul formel dans l'enseignement mathématique se sont d'ailleurs développées, au niveau international, à partir des années 1990. L'apparition des calculatrices symboliques, qui a poussé les chercheurs à monter des d'expérimentation dans les classes, n'y est sans doute pas étrangère. Le développement d'une communauté scientifique spécifique, s'intéressant à cette question est significatif à cet égard : les colloques CAME (Computer Algebra in Mathematics Education <http://www.lkl.ac.uk/research/came/index.html>) sont organisés tous les deux ans depuis 1999, pour :

- favoriser l'interaction entre les chercheurs des différents pays ;
- faciliter l'échange d'informations sur les recherches autour du développement de l'utilisation de logiciels de calcul formel en mathématiques ;
- diffuser les études faites sur les logiciels de calcul formel dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques.

Une étude synthétique sur l'intégration des TICE pour l'enseignement de l'algèbre et des fonctions a été faite en Angleterre (Goulding et Kyriacou 2008). Elle ne porte pas uniquement, mais intègre une dimension, sur le calcul formel. Cette étude, commandée par les institutions officielles, s'inscrit dans le contexte des stratégies nationales pour l'enseignement primaire et secondaire en Angleterre et au Pays de Galles. La période concernée était celle

comprises entre 1996 et 2006. 33 publications ont été retenues, 14 ont été analysées de plus près. Il ressort de cette étude :

- la nécessité d'articuler les usages du tableur, et des représentations graphiques et symboliques ;
- l'intérêt de l'utilisation des calculatrices graphiques et des ordinateurs par une activité en groupe des élèves ;
- le rôle central du professeur de mathématiques pour soutenir l'apprentissage des élèves en assurant un bon passage entre l'activité avec la technologie et l'activité papier/crayon ;
- la nécessité pour l'enseignant d'aider les élèves à faire des liens entre des applications différentes de calcul symbolique, sous forme de tableaux et graphiques et rendre explicite ce lien ;

Dans ce qui suit, nous présentons notre propre étude qui, dans un premier temps propose des définitions du calcul formel et des logiciels de calcul formel ; dans un deuxième temps, nous présentons notre méthodologie et le choix du corpus d'étude, ainsi que l'analyse de ce corpus ce qui nous permettra de proposer une conclusion.

## 2. Cadre de l'étude

### 2.1 Le calcul formel, définitions

Quant à l'origine de *calcul formel*, Selon Elbaz-Vincent (in Guin et Trouche 2002) :

Historiquement (i.e. avant l'apparition des ordinateurs), un calcul, qu'il ait pour origine les sciences ou l'ingénierie, était un mélange de calcul numérique et de calcul sur les formules mathématiques. Bien des « calculs célèbres »... reposent sur de longues et fastidieuses manipulations de formules (Davenport, Siret & Tournier 1987, p. 12-13). C'est cette manipulation de formules qui est à l'origine du calcul formel ou calcul algébrique (ou encore calcul symbolique).

Selon Wikipédia<sup>11</sup> :

Le *calcul formel* est un procédé de transformation d'expressions mathématiques. Les objets de ce calcul ne sont plus les variables de l'expression mathématique mais les opérations elles-mêmes.

On peut ainsi conclure que le calcul formel consiste, pour l'essentiel, à rendre effectives des méthodes de calcul mathématique portant sur des valeurs non numériques. Comme son nom l'indique, le calcul formel manipule des objets mathématiques représentés par des formules, explicites ou implicites, par opposition à la manipulation d'approximations en calcul numérique (Artigue 2004). De fait, les logiciels de calcul formel intègrent aussi des fonctionnalités de calcul numérique et de graphique.

Dans l'histoire, l'évolution du savoir savant mathématique a été liée à l'évolution du calcul (formes et méthodes) : du calcul numérique, à l'utilisation des symboles et du symbolisme en mathématiques, vers le développement du calcul formel, qui consiste à manipuler des objets mathématiques abstraits en tenant compte de leurs propriétés mathématiques et en appliquant des règles de transformation, constituant ainsi un outil d'aide à la résolution de problèmes.

### 2.2 Le calcul formel dans les institutions scolaires

Les principaux domaines de mathématiques dans lesquels le calcul formel peut contribuer à la résolution des problèmes sont : le calcul numérique et les tracés de courbes, le calcul algébrique (polynômes, fractions rationnelles, équations) et l'analyse (dérivation, intégration des fonctions, équations différentielles). La résolution d'un problème en fonction d'un ou plusieurs paramètre(s) inconnu(s), la dérivée d'une fonction, la détermination de ses primitives, les simplifications d'expression constituent des exploitations possibles du calcul formel.

Le calcul formel est aujourd'hui très utilisé dans le monde scientifique en général et chez les ingénieurs en particulier. Il commence à être pris en compte dans les programmes scolaires. Il semble que ce développement soit lié à l'arrivée dans les classes de lycée des calculatrices symboliques, intégrant des logiciels de calcul formel, induisant une évolution des pratiques de calcul et ouvrant de nouvelles possibilités de traitement des problèmes (Artigue 2008).

En France, les textes officiels (<http://www.educnet.education.gouv.fr>) recommandent un usage raisonné, dans les collèges et les lycées, de plusieurs types de logiciels particulièrement adaptés, et adaptable, à l'enseignement des mathématiques (les tableurs, les logiciels de construction géométrique, mais aussi les logiciels de calcul formel). Aldon et Trouche (2008), soulignent la nécessité de reconsidérer l'enseignement des mathématiques dans les programmes à la lumière des possibilités riches offertes, en particulier par les logiciels de

---

<sup>11</sup> La définition proposée par Wikipédia le 27 novembre 2008.



calcul formel, encore marginaux dans les programmes, les manuels scolaires et les pratiques dans les classes.

### 2.3 Le calcul formel et les TICE

Un *logiciel de calcul formel* (ou Système de Calcul Formel, SCF) (*computer algebra system* ou *CAS* en anglais) est un logiciel qui intègre le calcul formel. La partie principale de ces logiciels est la manipulation des expressions mathématiques sous leur forme symbolique (<http://www.wikipedia.fr/>). On note que les TIC qui permettent de manipuler et traiter des questions de calcul formel ne se limitent pas aux ordinateurs : il existe désormais, à disposition des enseignants et des élèves, des calculatrices intégrant le calcul formel, qui ne demandent pas de connaissances particulières en programmation, mais supposent cependant l'apprentissage d'éléments de syntaxe précis.

Les logiciels de calcul formel intègrent la plupart des opérations (transformations) liées aux mathématiques scolaires. Ils permettent de construire des situations d'apprentissage diverses, qui nécessitent de traiter des expressions algébriques, des représentations graphiques ou de résoudre des équations. Ils ouvrent de nouvelles possibilités de travail mathématiques sur la compréhension des formes des expressions et la multiplicité des représentations (Guin et Trouche 2002).

L'explosion de la taille des formules apparaissant dans les calculs intermédiaires, ou dans les résultats, limite la capacité pratique de nombreux algorithmes formels. Une solution potentielle à ce problème est de représenter des objets mathématiques exacts non plus par des formules mais par des programmes qui évaluent ces formules : des opérations numériques, ou des représentations graphiques (2D ou 3D).

### 3. Méthodologie et mise en œuvre

Dans la présente étude, on s'intéresse à l'apport et l'intérêt du calcul formel au lycée, pour cela on repère le point de vue de trois types d'acteurs : les enseignants, les formateurs et les chercheurs. Pour repérer ces points de vue, nous avons choisi de constituer un corpus à partir de quatre revues :

- le Bulletin vert de L'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public (APMEP, <http://www.apmep.asso.fr/> ) ; c'est une revue dont les auteurs sont des enseignants de mathématiques, elle semble donc constituer un bon domaine pour repérer leur point de vue, à propos la question d'apports et intérêts de la technologie pour le calcul formel dans les classes aux Lycées ;

- la revue Repères-IREM (voir <http://www.univ-irem.fr/commissions/reperes/reperes.htm>), qui a pour objectif de diffuser les réflexions des praticiens et des chercheurs à propos de l'enseignement des mathématiques ;

- la revue Recherches en didactique des mathématiques (RDM : <http://rdm.penseesauvage.com/-Revue-RDM-.htm>) qui vise à assurer la diffusion des travaux de recherche en didactique des mathématiques. Cette revue est destinée aux chercheurs en didactique des mathématiques et plus globalement à toute la communauté d'éducation mathématique (en France et à l'étranger) ;

- la revue MathémaTICE (<http://revue.sesamath.net/>) est une revue collaborative portant sur l'utilisation des TICE en classe de mathématiques. Elle est collaborative car elle se nourrit essentiellement des témoignages et expériences des professeurs de Mathématiques. Dans une période de montée progressive de travail collectif des enseignants (cf. partie I), il est intéressant de repérer ce point de vue, surtout dans une revue dédiée au TICE.

#### 3.1 La sélection des articles

Nous avons commencé à sélectionner les articles, dans la période 2002-2008, concernant le niveau lycée, qui correspondent à nos objectifs de recherche. Les articles retenus sont ceux qui vérifient simultanément deux critères :

- ils concernent un domaine mathématique en lien avec le calcul formel (calcul symbolique et calcul algébrique) ;

- ils concernent la conceptualisation des mathématiques dans un environnement de calcul formel.

Dans ce qui suit, nous présentons les articles sélectionnés dans chacune des revues et le processus de sélection.

##### 3.1.1 Les articles de la revue MathémaTICE

La revue MathémaTICE de l'association Sésamath (<http://www.sesamath.net/>) est une revue en ligne, d'accès libre, qui paraît depuis septembre 2006 <http://revue.sesamath.net/> . Après avoir consulté tous les articles apparus dans cette revue, nous avons retenu 6 articles qui répondent à nos critères :

CONNAN G. (2007), Xcas, calcul formel (ou algébrique) et géométrie dynamique au lycée. *MathémaTICE* 7, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article106> .

GANDIT M., DE GRAEVE R. (2007a), Mathématiques avec Xcas, *MathémaTICE* 6, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article90> .

GANDIT M., PARISSÉ B., SERRET C., DE GRAEVE R. (2007b), Une approche des Mathématiques à l'aide d'un logiciel multifonction, *MathémaTICE* 7, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article98>.

LAGRANGE J.-B. (2007), Le calcul algébrique au premier trimestre de Première S. Utilisation d'un outil géométrique et symbolique, *MathémaTICE* 7, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article112>

PARISSÉ B. (2008), Des TP avec Xcas, *MathémaTICE* 8, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article105>.

ROUSSEL D. (2006), Les calculatrices formelles en classes de baccalauréat professionnel, *MathémaTICE* 1, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article27>.

### 3.1.2 Les articles du Bulletin vert de l'APMEP

Nous avons consulté l'ensemble des articles du Bulletin vert de l'APMEP, les numéros entre 438 et 447 parus dans la période 2002-2008. Une consultation des sommaires des différents numéros est possible sur le site de l'APMEP, mais sans avoir accès au contenu des articles <http://www.apmep.fr/spip.php?rubrique82>, ce qui a rendu incontournable la consultation en bibliothèque des articles. Les articles sélectionnés :

GANDIT M., SERRET C. et PARISSÉ B. (2005), Mathématiques et environnement informatique, *Bulletin de l'APMEP* 459, p. 545-550.

GANDIT M., PARISSÉ B., DE GRAEVE R. (2007), mathématiques avec Xcas, *Bulletin de l'APMEP* 468, p. 82-90.

KUNTZ G. (2008), À propos des plates-formes logicielles multifonctions, *Bulletin de l'APMEP* 474, p. 20-22.

LAGRANGE J.-B., HEILBRONNER L. (2003), Adapter un logiciel de calcul formel pour l'utiliser avec des élèves de Lycée, *Bulletin de l'APMEP* 445, p. 225-232.

LALLEMAND F. (2007), Un sujet de TP sur ordinateur utilisant le calcul formel, *Bulletin de l'APMEP* 473, p. 831-834.

LE FEUVRE B., MEYRIER X., VINCENT P., LAGRANGE J.-B. (2006), Un logiciel utilisant le calcul formel pour le lycée, *Bulletin de l'APMEP* 466, p. 714-760.

MOREAU E. (2005), L'application logistique : une suite au comportement chaotique, *Bulletin de l'APMEP* 460, p. 693-699.

REISZ D. (2003), Sur l'introduction du calcul littéral, *Bulletin de l'APMEP* 445, p. 197-213.

### 3.1.3 Les articles de Repères-IREM

Nous avons consulté les numéros de Repères-IREM, qui correspondent à notre période d'étude (du numéro 46 jusqu'au numéro 72). Les sommaires de tous les numéros de cette revue sont disponibles en ligne, même, pour certains numéros, les articles sont disponibles en ligne <http://www.univ-irem.fr/commissions/reperes/consulter/consulter.html>.

Nous avons pu trouver deux articles qui correspondent à nos critères :

BÉNARD D. (2002), Nombres et calculs au collège : instituer une cohérence, *Repères-IREM*, 47, p. 5-16.

MIZONY M. (2006), Le calcul formel dans l'enseignement des mathématiques, *Repères-IREM* 62, p. 85-97.

### 3.1.4 La revue RDM

Nous n'avons pas trouvé dans la revue RDM d'articles qui correspondent à nos critères, phénomène que nous interpréterons plus loin. On note cependant la présence d'un article (Trouche 2005) qui étudie les processus d'apprentissage dans des environnements informatisés. Il prend bien comme terrain d'étude les calculatrices symboliques, mais nous n'avons pas retenu cet article parce qu'il nous a semblé que son objet était plus général que les logiciels de calcul formel.

## 3.2 L'analyse des articles sélectionnés

Nous analyserons séparément les articles de chacune des revues, prenant en compte leur statut spécifique. Nous nous intéressons aux outils méthodologiques des auteurs pour en tirer des leçons de portée générale.

### 3.2.1 Les articles de la revue en ligne *MathémaTICE*

L'utilisation d'un logiciel de calcul formel au lycée peut induire une confusion dans les esprits des élèves entre observation et preuve (Connan 2007) : ceci peut constituer un obstacle pour l'apprentissage des méthodes de preuve, qui supposent un équilibre contrôlé entre des phases d'observation, de manipulation, de conjecture et de démonstration. Cet obstacle se révèle davantage dans des environnements technologiques comme le tableur et les logiciels de géométrie dynamique qui ne manipulent que des calculs approchés, moins pour les logiciels de calcul formel qui peuvent fournir des résultats exacts (Connan 2007).

Certains articles mettent en évidence qu'un logiciel de calcul formel, aussi bien conçu soit-il, ne contribue aux apprentissages que dans la mesure où les élèves construisent une compréhension des actions cohérente avec les connaissances mathématiques visées (Lagrange 2007). Ces études signalent aussi que cette maîtrise suppose un processus long et complexe de genèses instrumentales (Rabardel 1995). Certaines études reprochent aux logiciels de calcul formel d'être trop compliqués pour une utilisation au lycée (Connan 2007). Les efforts fournis pour une appropriation de ces logiciels peuvent cependant permettre aux élèves d'explorer plus facilement certains domaines d'activité mathématique, comme les statistiques (Parisse 2008).

Nous avons remarqué, surtout entre 2005 et 2007, l'apparition d'un ensemble d'articles qui évoquent le logiciel Xcas. Ces articles défendent l'idée que ce logiciel peut être particulièrement adapté au lycée en France, car il permet à la fois de faire du calcul formel, de la géométrie dynamique, du tableur (Connan 2007). D'après les auteurs de ces articles, l'originalité du logiciel réside dans le fait qu'il permet des allers-retours entre les différentes applications : il y a des possibilités de combiner, de manière immédiate, calcul et graphique, d'une part, tableur et graphique d'autre part, ce qui suscite des questions qui n'apparaissent pas directement si l'on travaille en environnement papier/crayon. Ceci permet d'aborder des notions mathématiques sous différents points de vue (Gandit *et al.* 2007a).

L'utilisation d'un tel logiciel peut changer l'approche des programmes de mathématiques dans les diverses classes de lycée. Elle modifie la façon dont les élèves abordent un problème de mathématiques, dès lors qu'on les laisse autonomes face à la machine. Elle peut modifier aussi la façon aussi dont le professeur présente les notions du programme (Gandit *et al.* 2007b). Les multiples fonctions des logiciels de calcul formel (comme Xcas) amènent à de nouveaux rapports avec le savoir mathématique, du fait, en particulier :

- de l'activité d'exploration qu'ils permettent (Gandit *et al.* 2007a) ;

- de la mise en relation des observations graphiques et des propriétés des expressions (par exemple l'intersection de la courbe avec l'axe des abscisses, et la forme factorisée) ;
- de la façon dont on peut aborder l'équivalence en effectuant une synthèse d'observations graphiques (coïncidence de courbes) et algébriques (différentes expressions données par le logiciel ou calculées par l'élève) (Lagrange 2007).

Un des articles repérés (Roussel 2006) parle de la plate-forme de calcul formel TI-89 Titanium. L'apport de ce nouvel outil (qui est qualifié dans l'article comme « inhabituel ») a entraîné une différenciation entre les élèves :

- les bons élèves s'investissent fortement dans la manipulation de la machine ;
- les élèves en grande difficulté ont été découragés à s'investir dans un apprentissage avec cette nouvelle machine ;
- les élèves en difficulté ont été fortement motivés par la machine, assistés dans leurs apprentissages par son utilisation.

Dans certains articles, les auteurs comparent les différents types de logiciels (tableur, logiciels de géométrie dynamique et Xcas), et cette comparaison est faite à partir d'une expérimentation dans des travaux pratiques différents (Connan 2007). Les articles notent, du point de vue des ressources adaptées aux logiciels de calcul formel, qu'il est plus rare de voir combinées la géométrie dynamique, une approche numérique par l'intermédiaire d'un tableur et une étude utilisant le calcul formel ou l'écriture d'un programme (Gandit *et al.* 2007b).

Les articles présentent des activités de différents types pour recueillir des données, les analyser et en tirer des leçons pour une meilleure intégration de ces outils. Nous signalons :

- la présence d'un questionnaire (Roussel 2006) pour repérer les points de vue des étudiants autour de la plate-forme TI-89 Titanium : « questionnaire de satisfaction de la plate-forme TI 89 Titanium » ;
- la proposition d'activités de prise en main de l'environnement de calcul formel (Gandit *et al.* 2007 a) ;
- des travaux pratiques conçus d'une façon adaptée à un environnement technologique, expérimenté et testé dans les classes (Gandit *et al.* 2007b).
- des sujets d'exercice de travaux pratiques pour l'épreuve pratique du baccalauréat (Parisse 2008).

### 3.2.2 Analyse des articles de la revue de l'APMEP

Le Bulletin vert de l'APMEP s'est intéressé à des logiciels *multifonctions* (Kuntz 2008) où l'utilisateur dispose simultanément d'un tableur, d'un grapheur, d'un logiciel de calcul formel et de géométrie dynamique communicant entre eux et permettant de fructueux aller-retour. Casyopée et Xcas sont deux exemples de ces logiciels multifonctions. Les développeurs de ces logiciels ont publié de nombreux articles.

Des articles évoquent le logiciel Xcas et les activités qu'il permet de réaliser : résoudre des équations, inéquations, intégrer, dériver, calculer des limites (Gandit *et al.* 2005). D'un point de vue plus général, certains articles mettent en évidence, à travers des exemples d'utilisation, à quelles conditions un logiciel de calcul formel peut contribuer à l'activité mathématique des élèves et à leur compréhension des notions (Le Feuvre 2006). D'autres articles expliquent que certains logiciels de calculs formels ne proposent et ne permettent pas de démarches systématiques de preuves (Lagrange et Heilbronner 2003).

Certains articles notent que le calcul formel est peu utilisé et exploité au lycée. Dans les programmes officiels, son statut est incertain. Les possibilités qu'offre le calcul formel ne

sont pas clairement identifiées et les enseignants sont souvent réticents à les exploiter (Le Feuvre 2006).

Un article discute l'opportunité du choix de tel ou tel logiciel de calcul formel pour une activité donnée, et cela en fonction de la facilité plus ou moins grande d'appropriation de ces logiciels (Lallemand 2007). On note aussi la présence d'un article qui étudie le thème du hasard et du chaos avec un logiciel de calcul formel, et cela à travers une réflexion menée avec un groupe d'élèves dans le cadre d'un travail pratique (Moreau 2005).

### *3.2.3 Analyse des articles de la revue Repères-IREM*

Dans la revue Repères-IREM, on n'a pu trouver que deux articles.

Dans un premier article (Bernard 2002), l'auteur recommande une reconstruction formelle des ensembles de nombres au lycée, qui passe par un retour sur leurs significations et leurs usages en lien avec ce qui est abordé au niveau du collège (Bernard 2002). Ceci peut faciliter la compréhension et l'utilisation des logiciels de calcul formel.

Le deuxième article (Mizony 2006) est un article de réflexion générale dans lequel un mathématicien évoque son expérience d'enseignement avec des logiciels de calcul formel (Maple et autres logiciels). L'utilisation des logiciels de calcul formel renouvelle profondément le rapport à l'enseignement des mathématiques. Les logiciels de calcul formel permettent par leur langage une grande interaction entre la programmation et les mathématiques. L'auteur met aussi en évidence l'aspect expérimental des mathématiques. Le calcul formel change les pratiques de recherche, dans la résolution des exercices et donc amène une évolution dans la production de mathématiques et de leur enseignement.

### *3.2.4 Le cas de la revue RDM*

Nous n'avons pas trouvé, dans cette revue d'article, suivant nos critères de sélection, sur le calcul formel. Cette absence nous a poussés à caractériser le type d'articles que nous avons repérés par ailleurs.

### *3.2.5 Synthèse concernant le type des articles repérés*

Le corpus des articles pour cette étude est constitué de 16 articles. Nous avons repéré 4 types d'articles :

- 3 articles de réflexion générale. Ces articles présentent un point de vue d'utilisateurs du calcul formel dans leur propre activité d'enseignement, parfois après une longue expérience, qui permet une compréhension de l'évolution des TICE et de leur influence sur le calcul de différent type (littéral, algébrique, symbolique et autres) ;
- 5 articles décrivent des expérimentations de ressources adaptées à un logiciel de calcul formel dans des classes différentes (secondes, premières et terminales). Dans certains articles, on relève les réactions des élèves durant et après l'expérimentation ;
- 4 articles évoquent une prise en main de la technologie. Ces articles commencent par une description de la technologie, et présentent ensuite des exemples de cette prise en main : il y a un grand recours dans les articles aux représentations graphiques. Certains de ces articles présentent des ressources à destination des élèves, pour accompagner la prise en main de la technologie ;
- 4 articles présentent un ou des logiciel(s) particulier(s), leur fonctionnalité, aussi que la multifonctionnalité de certains d'eux, avec les implications pour leur intégration dans les institutions scolaires.

On peut noter, au fil de la présentation de ces articles, que la majorité d'entre eux a comme but de *faciliter* l'intégration des logiciels de calcul formel dans les institutions scolaires. Ceci met en évidence sans doute que les logiciels de calcul formels sont complexes d'usage, à la fois pour les professeurs et pour les élèves.

En France, on a commencé à trouver des publications des recherches sur le calcul formel dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix. Cela semble lié à l'apparition des calculatrices symboliques. Dans la première partie, nous avons noté que l'année 2002 était la fin d'une période d'études focalisées sur les calculatrices symboliques. Les expérimentations et les résultats de ces expérimentations ont été suivis par des publications de types divers (description des expérimentations, présentation d'une technologie et autres). Les articles de recherches sont le fruit de ces expérimentations. Un ouvrage de synthèse est paru en 2002 (Guin et Trouche 2002), essayant de synthétiser un ensemble des résultats des recherches sur les calculatrices symboliques.

Après 2002, on entre dans une nouvelle période, marquée par des recherches sur des logiciels multifonctions, sur les ressources en ligne, ainsi que sur le travail collaboratif des enseignants (conception, échange et mutualisation des ressources). Des articles sur ces thématiques commencent à paraître dans les revues professionnelles, ou les revues dédiées aux formateurs. On peut penser que les articles de recherche, après une phase classique de maturation, seront publiés un peu plus tard.

#### 4. Conclusion de la partie V

Nos résultats sont bien sûr en relation avec nos choix méthodologiques.

Cette revue de littérature met en évidence l'intérêt de repenser l'enseignement des mathématiques en fonction des opportunités des logiciels de calcul formel. L'intégration de ces logiciels, complexes, suppose de nouveaux équilibres dans l'enseignement, entre techniques papier/crayon et techniques instrumentées, entre phases de conjectures et phases de preuve. Intégrer les calculatrices symboliques ou les logiciels de calcul formel dans l'enseignement des mathématiques ne va pas de soi.

On distingue, dans cette période, peu d'articles théoriques consacrés à l'intégration des logiciels de calcul formel (des articles théoriques sont parus dans la période précédente). Ce qui domine, ce sont des activités et travaux pratiques pour une bonne prise en main d'un logiciel de calcul formel particulier, sans relation avec un cadre théorique spécifique, ce qui peut témoigner d'une forme de naturalisation locale du calcul formel dans l'enseignement des mathématiques.

Les articles se sont particulièrement intéressés (surtout dans la deuxième moitié de la période considérée) à des logiciels de calculs formels en phase d'expérimentation. Les ressources spécifiques aux logiciels de calcul formel, notées dans les articles (qui sont la plupart du temps des ressources liées à l'expérimentation décrite) sont des exercices de Travaux Pratiques visant la mise en œuvre d'une démarche expérimentale en mathématiques, souvent en lien avec l'épreuve pratique en Baccalauréat.

Du point de vue de l'apprentissage des élèves, les articles expriment l'idée qu'une bonne utilisation des logiciels de calcul formel est liée à une bonne compréhension des objets mathématiques. Le calcul formel contraint à une réflexion spécifique sur la syntaxe des expressions qui peut amener à une compréhension plus profonde des objets mathématiques. Les logiciels de calcul formel permettent des allers-retours entre différents registres de représentation, entre forme symbolique et graphique, avec beaucoup plus de flexibilité que dans un environnement papier/crayon. Ce type d'activité modifie le rapport au savoir, surtout dans les phases d'exploration de l'activité mathématique.

L'utilisation des logiciels de calcul formel change donc, potentiellement, l'approche des programmes de mathématiques dans les diverses classes. Actualiser ces potentialités suppose un ensemble de conditions (prise en compte de ces logiciels dans les techniques préconisées par les programmes, disposition de ressources spécifiques, réorganisation des formes de l'étude mathématique), conditions qui apparaissent en filigrane dans les articles étudiés.

De la lecture de ces articles, on retire l'impression que les recherches sur l'enseignement des mathématiques se construisent par de petites pierres qui se côtoient au cours du temps, pour donner une mosaïque marquant une période donnée.





## Conclusion Générale

Cette étude met en évidence l'intérêt de repenser un ensemble des travaux de recherche, d'un point de vue critique. Nous nous sommes inspirés de travaux antérieurs, en essayant de développer de nouveaux éléments méthodologiques, en espérant qu'ils pourraient être à leur tour repris et développés par d'autres chercheurs. Tout au long de cette étude, nous avons précisé la taille des échantillons et le type des revues retenues, qui ont, bien sûr, des traits propres à la communauté francophone.

Nous avons traité plusieurs questions, qui demandent la mise en œuvre d'une méthodologie spécifique. Les outils méthodologiques (fiche d'analyse et résumé) sont conçus de façon à pouvoir être adaptés à d'autres corpus de publications. Notre travail a été mené à partir des écrits sur l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques. Nous avons essayé de situer les questions d'un point de vue didactique, avec les outils théoriques développés par la communauté francophone.

Nous faisons l'hypothèse que la période retenue (2002-2008) était à la fin d'une période focalisée sur les calculatrices et les logiciels mono-application (tableurs, logiciels de géométrie dynamique), et le début d'une nouvelle période marquée par de nouvelles interactions, entre les acteurs et entre les applications, et par la thématique des ressources. Notre étude a conforté cette hypothèse. Nous sommes bien au début d'une période focalisant ses études sur les outils nomades, ainsi que les environnements assurant une multi représentativité, permettant des allers-retours entre plusieurs types d'applications (représentation graphique, calcul numérique et formel). Nous avons aussi noté l'émergence d'une plus grande prise en compte des enseignants, avec une évolution du questionnement de l'enseignant dans la classe à hors la classe, en particulier du point de vue de la conception et de la mutualisation des ressources.

La prise en compte du *temps* est aussi de plus en plus forte, mettant en évidence l'écart entre l'évolution rapide des environnements technologiques et l'intégration lente dans les pratiques de classe. On note que les expérimentations ont tendance à se poursuivre sur des périodes plus longues, avec un intérêt plus marqué à la question des ressources.

### Du point de vue de l'enseignement

Les recherches notent la complexité de l'intégration des TICE, qui au-delà de l'appropriation nécessaire, suppose une réorganisation des ressources des enseignants, de nouveaux équilibres dans la classe. L'intégration des TICE et les choix didactiques de l'enseignant ont des influences réciproques.

Les recherches notent un développement important du travail collectif des enseignants à la fin de la période considérée. Cette évolution semble liée à la fois à la disponibilité d'outils de communication (messagerie, forum), au foisonnement de ressources sur le web, au militantisme d'associations d'enseignants « partageurs de ressources » et à la complexification du travail des enseignants qui peut être le moteur de nouveaux processus de mutualisation. Le travail collectif des enseignants peut prendre plusieurs formes : le développement de plates-formes de travail, ainsi que le développement de groupes de travail formel ou informel. Pour une utilisation plus aidée de la technologie, les recherches signalent un besoin de renouvellement des dispositifs de formation de type particulier, mieux articulés avec les phases de mise en œuvre dans la classe et avec les phases de collaboration entre enseignants.

### Du point de vue des élèves

Les questions relatives à l'autonomie d'apprentissage des élèves face à un environnement technologique, ne semblent pas constituer en elles-mêmes un objectif de recherche dans la période considérée. Des aspects importants apparaissent cependant, comme l'aptitude à « réaliser des choix » : le choix d'un registre de représentation lors d'une activité, le choix d'une technologie pertinente, le choix des stratégies pertinentes de résolution. Les dispositifs en réseau, spécifiques à cette période, ont aussi une incidence sur l'autonomie des élèves : ces dispositifs offrent la possibilité d'un débat scientifique en classe, de nouveaux espaces pour l'expression des élèves.

### Du point de vue des mathématiques

Tout au long des parties de notre étude, nous avons noté une importance forte du calcul formel, considéré dans des environnements de calculatrices ou d'ordinateurs, en interaction avec d'autres logiciels.

### Du point de vue institutionnel

Les études soulignent des interactions fortes entre l'évolution des environnements technologiques et l'évolution des curricula (programmes, documents d'accompagnement, manuels scolaires, examens et concours - l'épreuve pratique de Baccalauréat - concours de recrutement et formation des enseignants). Par ailleurs, l'équipement des établissements est souvent évoqué comme source de difficultés de prise en compte des technologies.

L'évolution des matériels dans l'enseignement des mathématiques est liée à l'évolution technologique. Les recherches sont liées d'une façon ou d'autre à cette évolution : cette évolution technologique pousse les chercheurs à repenser le milieu didactique et les ressources d'enseignement, par le moyen d'études plutôt qualitatives (ce qui ne semble pas le cas dans les études anglophones).

L'intégralité de l'étude concerne un seul champ disciplinaire : les mathématiques. Mais les méthodologies mises en œuvre pourraient sans doute être adaptées à des études semblables, prenant en compte d'autres champs disciplinaires. L'activité de conception de ressources semble cruciale dans l'ensemble des points que nous avons évoqués, elle prend nécessairement en compte : l'enseignant avec ses expériences antérieures et sa conception de l'enseignement ; les processus de transposition du savoir mathématiques ; les contraintes institutionnelles. Les échanges de ressources entre les enseignants paraissent une caractéristique nouvelle du travail enseignant : sélectionner des ressources, les recombinaison, les mettre en œuvre, tout cela constitue le travail documentaire d'un enseignant (Gueudet et Trouche 2008), miroir d'un développement professionnel dont les composantes collectives apparaissent de plus en plus fortes.

La période 2002-2008 semble une période où les recherches regardent au-delà des seules interactions entre les trois pôles du triangle didactique (élève - enseignant - savoir). De nouvelles directions de recherche apparaissent, ou se renforcent : regarder le travail collectif des professeurs, le travail propre des élèves, le travail conjoint des professeurs et des élèves pour construire les ressources de l'enseignement... Le développement technologique et le développement d'aspects sociaux de l'enseignement et de l'apprentissage semblent aller de pair.

## Bibliographie Générale

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., ZUCHI, I. (2008), Nouvel environnement technologique, nouvelles ressources, nouveaux modes de travail : le projet e-CoLab (expérimentation Collaborative de Laboratoires mathématiques). *Repères-IREM*, 72, 51-78, en ligne [http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/).

ALDON G., TROUCHE L. (2008), *Calcul formel, fond, forme(s), pratique(s)*, conférence à l'université d'été de mathématiques, Saint-Flour. [http://www3.ac-clermont.fr/pedago/maths/pages/UE2008/actes/Conference\\_mardi\\_26\\_de\\_Gilles\\_Aldon\\_et\\_Luc\\_Trouche.pdf](http://www3.ac-clermont.fr/pedago/maths/pages/UE2008/actes/Conference_mardi_26_de_Gilles_Aldon_et_Luc_Trouche.pdf)

Artigue M. (dir.) (2000), *De l'analyse de travaux concernant les T.I.C. à la définition d'une problématique de leur intégration à l'enseignement*, rapport au Comité National de Coordination de la Recherche, en ligne <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr/view/edutice-00000373/>.

ARTIGUE M. (2004), l'enseignement du calcul aujourd'hui, *Repères-IREM* 54, 23-39.

ARTIGUE M. (2008), L'influence des logiciels sur l'enseignement des mathématiques, contenus et pratiques, *Actes du séminaire DGESCO de février 2007*, [http://eduscol.education.fr/D0217/actes\\_math\\_et\\_tice.pdf](http://eduscol.education.fr/D0217/actes_math_et_tice.pdf)

ASSUDE T. (2007), Modes et degré d'intégration de Cabri dans des classes du primaire. In FLORIS R et CONNE F (eds.), *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques*, p. 119-134. Bruxelles : De Boeck.

BANDURA A. (1982), Self-efficacy mechanism in human agency, *American Psychologist*, 37/2, 122-147.

BASTIEN C. (1996), *Les critères ergonomiques : un pas vers une aide méthodologique à l'évaluation de systèmes interactifs*, Thèse de doctorat en Ergonomie cognitive, Université René Descartes (Paris V).

BROUSSEAU G. (1990), Le contrat didactique : le milieu, *Recherches en Didactique des Mathématiques* 9/3, 309-336.

BROUSSEAU G. (1998), *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée sauvage.

BRUILLARD E. (1997), *Les machines à enseigner*. Paris : Hermès.

BRUNER J. (1983), *Le développement de l'enfant – Savoir-faire, savoir-dire*. Paris : PUF.

BÜCHEL F. (1995), *L'éducation cognitive. Le développement de la capacité d'apprentissage et son évaluation*, Delachaux et Niestlé.

BURILL G. (dir.), ALLISON J., BREAUX G., KASTBERG S., LEATHAM K., SANCHEZ W. (2002), *Handheld Graphing Technology in Secondary Mathematics: Research Findings and Implications for Classroom Practice*. USA : Texas Instruments.

CAME (Computer Algebra in Mathematics Education), site de la communauté de recherche internationale sur l'intégration du calcul formel dans l'enseignement des mathématiques, <http://www.lkl.ac.uk/research/came/index.html>

CAUDRON H. (2001), *Autonomie et apprentissage : questions clés*. Douai : Tempes.

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. (1992), Intégration et viabilité des objets informatiques, le problème de l'ingénierie didactique. In B. Cornu (dir.), *L'ordinateur pour enseigner les mathématiques* (p. 183-203). Paris : PUF.
- CHEVALLARD Y. (1999), L'analyse des pratiques enseignantes en anthropologie du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 19/2, 221-265.
- CHEVALLARD Y. (1985), *la transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : la Pensée sauvage.
- COMBES M.-C., GUIN D., NOGUÈS M., TROUCHE L. (2005), Formation à distance des professeurs de mathématiques, vers de nouvelles pratiques professionnelles. In J. Morego, R. Carles, V. Meritxell (eds.), *TRANSFORMA, Intégration des TIC et formation à distance dans un espace transfrontalier : l'exemple de la Catalogne et du Languedoc-Roussillon*. Barcelone : UOC.
- DAVENPORT J., SIRET Y., TOURNIER E. (1987), *Calcul formel : systèmes et algorithmes de manipulations algébriques*. Paris : Masson.
- DAVIS F.D. (1986), *A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results*, Doctoral Dissertation, MIT Sloan School of Management. Cambridge.
- DAVIS F.D., BAGOZZI R.P., WARSHAW P. (1989), User Acceptance of Computer Technology : A Comparison of Two Theoretical Models, *Management Science*, Vol. 35/8, p. 982-1008.
- DILLENBOURG P. (1999). *What do you mean by collaborative learning? Collaborative learning : cognitive and Computational Approaches*. Oxford : Elsevier.
- DOUADY R. (1986), Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7/2, 5-32.
- DUVAL R. (1995), *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Berne : Peter Lang.
- FLAVELL J. (1985), *Cognitive development*. New Jersey : Prentice-Hall International.
- GEORGE S. (2001), *Apprentissage collectif à distance. SPLACH : un environnement informatique support d'une pédagogie de projet*. Thèse de doctorat, Université du Maine, Le Mans.
- GORDON J. (1996), Tracks for learning: Metacognition and learning technologies, *Australian Journal of Educational Technology*, 12 janvier, 46-55.
- GOULDING M., KYRIACOU C. (2008), A systemic review of the use of ICTs in developing pupils' understanding of algebraic ideas, in *Research Evidence in Education Library*. Londres : University of London.
- GUEUDET G., TROUCHE L. (2008). Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. Le cas des mathématiques. *Éducation et didactique*, 2/3, 7-33.
- GUIN D., TROUCHE L. (dir.) (2002). *Calculatrices symboliques : transformer un outil en un instrument du travail mathématique, un problème didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- GUIN D. (dir.) (1999), *Calculatrices symboliques et géométriques dans l'enseignement des mathématiques, Actes du colloque francophone européen*, IREM (Université Montpellier 2), Montpellier.
- GUIN D., TROUCHE L. (dir.) (2002), *Calculatrices symboliques : transformer un outil un instrument du travail mathématique, un problème didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- GUIN D., JOAB M., TROUCHE L. (dir.) (2008), *Conception collaborative de ressources pour l'enseignement des mathématiques, l'expérience du SFoDEM (2000-2006)*. INRP et IREM (Université Montpellier 2).

- JERMANN P., DILLENBOURG P. (1999), An analysis of learner arguments in a collective learning environment, *Actes de la conférence Computer Support for Collaborative Learning (CSCL)*, p. 265-273. California : Stanford University.
- 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, K.S.F. Leung (eds) *Second international handbook of mathematics education, Part 1* (pp. 237-269), Kluwer Academic Publishers.
- LEGRAND M. (1991), Groupe des situations fondamentales et métaphore fondamentale ou réflexions autour de la recherche d'une situation fondamentale au sujet du concept de limite : la situation du pétrolier, *Séminaire de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique*, séminaire n° 131, université Joseph-Fourier – Grenoble, p. 33-98.
- LEPPER M. R. (1982), Microcomputers in education: Motivational and social issues, *the annual meetings of the American Psychological Association*. Washington.
- LESELBAUM N. (1990), *Le développement du travail autonome dans le système éducatif français*, Thèse de Doctorat, Université Paris 8.
- PERRENOUD P. (2002), L'autonomie, une question de compétences ? *Résonnances 1*, 16-18.
- MAYER R. E., (2001), *Multimedia Learning*. Cambridge : Cambridge University Press.
- MOYES J., JORDAN P. W. (1993), Icon design and its effect on guessability, learnability, and experienced user performance, in J.L. Alty, D. Diaper, S. Guest (eds.), *People and Computers VIII (HCI'93)*, p. 49-59. Cambridge : Cambridge University Press.
- NUTTIN J. (1985), *Théorie de la motivation humaine*. Paris : PUF.
- RABARDEL P. (1995), *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- RABARDEL P. (1999), Éléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques. In M. Bailleul (dir.), *École d'été de didactique des mathématiques* (pp. 202-213). Houlgate : IUFM de Caen.
- RABARDEL P., PASTRÉ P. (dir.) (2005), *Modèles du sujet pour la conception, dialectiques activités-développement*. Toulouse : Octares.
- RAMEAU G., SAMYN E. (2006), le Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO) exemple d'une solution technologique avec x-tek, *23e congrès de l'AIPU*, Monastir.
- ROBERT A., ROBINET J. (1996), Prise en compte du méta en didactique des Mathématiques, *Recherche en Didactique des mathématiques*, 16/2, 145-175.
- ROSCELLE J., TEASLEY S. D. (1995), The construction of shared knowledge in collaborative problem solving, in C.O'Malley (Ed.), *CSCL*, p. 69-97. New York : Springer-Verlag.
- SABRA H. (2008). *Interaction entre systèmes documentaires personnels et communautaire, Étude dans le cadre du projet e-CoLab*, mémoire de master, master HPDS, université Lyon 1.
- SANDER E., RICHARD J.-F. (1997), Analogical transfer as guided by an abstraction process: the case of learning by doing text editing, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 23/6, 1459-1483.
- SCHOENFELD A. H. (1985), *Mathematical problem solving*, Orlando, FL : Academic Press.
- SCHOENFELD A. H. (1987), What's all the fuss about metacognition? In A. H. Schoenfeld (Ed.), *Cognitive science and mathematics education*, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, p. 189-215.
- SHNEIDERMAN B. (1998), *Designing the User Interface : Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 2<sup>e</sup> édition vol.1. Massachusetts : Addison-Wesley.

TRICOT A., PLÉGAT-SOUTJIS F., CAMPS J.-F., LUTZ A. G., MORCILLO A. (2003), Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulins, P. Marquet & D. Bouhineau (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 391-402. <http://hal.ccsd.cnrs.fr/docs/00/00/16/74/PDF/n036-80.pdf>

TROUCHE L. (1994), Calculatrices graphiques, la grande illusion. *Repères-IREM*, 20, 39-55.

TROUCHE L. (2005), Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Recherches en didactique des mathématiques*, 25(1), 91-138.

TROUCHE L., FAURE C., NOGUÈS M., SALLES J. (2008), Zoom sur une technologie, in Guin D., Joab M., Trouche L. (dir.), *Conception collaborative de ressources pour l'enseignement des mathématiques, l'expérience du SFoDEM (2000-2006)*, cédérom, INRP et IREM (Université Montpellier 2).

TROUCHE L. (2007), Environnements informatisés d'apprentissage : quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques ? In R. Floris, F. Conne (dir.), *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques. Intégrer des artefacts complexes, en faire des instruments au service de l'enseignement et de l'apprentissage*, p. 19-38. Bruxelles : De Boeck.

TROUCHE L. (2004), Managing Complexity of Human/Machine Interactions in Computerized Learning Environments: Guiding Student's Command Process Through Instrumental Orchestrations, *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 9(3), 281-307.

VERGNAUD G. (1996), Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation, in R. Noirfalise, M.-J. Perrin (dir.), *École d'été de didactique des mathématiques* (pp. 174-185) : IREM, université Clermont-Ferrand 2.

WENGER E. (1998), *Communities of practice. Learning, meaning, identity*. New York : Cambridge University Press.

Wiki de l'IREM de la Réunion, réalisé par le groupe Mathenpoche

<http://irem.ac-reunion.fr/LogicielsLibresIREM/doku.php?id=articles:calculatrices>