HAL
open science

De l'analyse des travaux et productions relatifs aux TIC à la définition d'une problématique de leur intégration à l'enseignement

Michèle Artigue

▶ To cite this version:

Michèle Artigue. De l'analyse des travaux et productions relatifs aux TIC à la définition d'une problématique de leur intégration à l'enseignement. http://www.didirem.math.jussieu.fr/, 2000. edutice-00000373

HAL Id: edutice-00000373
https://edutice.hal.science/edutice-00000373v1

Submitted on 25 Feb 2004

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE L'ANALYSE DE TRAVAUX CONCERNANT LES T.I.C. A LA DEFINITION D'UNE PROBLEMATIQUE DE LEUR INTEGRATION A L'ENSEIGNEMENT

RAPPORT DE RECHERCHE

Septembre 2000

Sommaire

Sommaire 3
Chapitre I PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE 6
I. La problématique de la recherche 6
II. La méthodologie de la recherche 7
CHAPITRE II CONSTITUTION ET ANALYSE DU PREMIER CORPUS DE PUBLICATIONS 10
I. Les critères de sélection 10
II. La grille de repérage 11
III. Les résultats des premières analyses 13
A. Nombre d'articles par pays 13
Nombre d'articles par année 14
C. Nombre d'articles par type 14
D. Nombre d'articles par domaine mathématique 14
E. Nombre d'articles par niveau de formation 15
F. Nombre d'articles par type de matériel utilisé 16
IV. Remarques et conclusions 17
CHAPITRE III 19
LES ANALYSES QUALITATIVES PRELIMINAIRES AU TRAITEMENT STATISTIQUE 19
I. La constitution du second corpus et la définition de la grille de lecture 19
I.1 La constitution du corpus 19
I.2 La définition de la grille de lecture 19
II. Analyse qualitative : cadres theoriques et problématiques 22
II.1 Les problématiques 22
II.2 Les cadres théoriques 27
III. UN PREMIER BILAN : LA MULTIDIMENSIONNALITE NECESSAIRE D'UNE PROBLEMATIQUE DE L'INTEGRATION 33

CHAPITRE IV TRAITEMENT QUANTITATIF DU SECOND CORPUS DE PUBLICATIONS 36
I. La méthodologie d'analyse statistique 37
Buts et méthode générale 37
Données 37
Codage 37
Modalités retenues pour l'analyse 38
Traitements 40
Résultats 41
II. Interprétation des résultats statistiques 42
Introduction 42
Partition « Toutes entrées » 45
Partition « Problématique générale » 49
Partition « Instruments » 54
Partition « Approche anthropologique » 60
Partition « Situations » 63
Partition « Sémiologie-épistémologie » 66
Partition « Cognitif » 69
Partition « Enseignant » 74
III. Tableau de Synthèse 78
CHAPITRE V VERS UN CAHIER DES CHARGES DE L'INTEGRATION 82
I. La place dominante du pôle apprenant (élève ou formé) dans l'analyse de l'introduction des TIC 82
II. La prise en compte du pôle savoir dans l'intégration 83
III. L'amélioration apportée par les TIC : question ou postulat ? 84
IV. Des aspects de l'intégration à approfondir dans l'avenir 85
La dimension instrumentale et l'interaction des techniques 85
Le temps 85
Les dispositifs d'enseignement et l'enseignant 86
L'analyse des environnements technologiques et l'interaction homme machine. 87
V. Une approche transférable ? 88
REFERENCES 90

Ce rapport rend compte d'une recherche menée d'octobre 1998 à septembre 2000 dans le cadre d'un projet soutenu par le Comité National de Coordination de la Recherche en Education (CNCRE). Son objet était d'aboutir à la constitution d'un cahier de charges pour la définition d'une problématique de l'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) à l'enseignement à partir de l'analyse de travaux existant dans ce domaine.

Cinq équipes y ont participé :

L'équipe de Recherche en Didactique des Mathématiques DIDIREM de l'Université Paris 7,

L'équipe Etudes et Recherches sur l'Enseignement des Sciences (ERES) de l'Université de Montpellier II,

L'équipe EIAH (Environnements Informatiques et Apprentissages Humains) du laboratoire Leibniz de l'IMAG (Informatique Mathématiques Appliquées de Grenoble),

Le Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine (LIUM),

L'équipe de recherche (axe TICE) de l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres de Bretagne.

Après avoir précisé la problématique du travail et les principaux choix effectués sur le plan méthodologique, nous présentons cette recherche et les résultats qu'elle a permis d'obtenir, en en suivant globalement le déroulement chronologique : constitution et analyses successives, qualitatives et quantitatives, des différents corpus de travaux pris en compte, via la constitution de diverses grilles de lecture, étude des potentialités et limites de ces travaux dans une perspective d'intégration des TIC à l'enseignement des mathématiques, conclusions tirées quant aux dimensions à prendre en compte dans un cahier de charges pour l'intégration des TIC à l'enseignement et à la définition de critères associés.

Un rapport d'étape concernant cette recherche a été produit en octobre 1999 à l'intention du CNCRE mais non diffusé ; le présent rapport en intègre les éléments essentiels.

Chapitre I

PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

I. La problématique de la recherche

Les essais d'intégration des TIC à l'enseignement ont donné lieu, depuis plus de vingt ans, à un foisonnement de travaux d'innovation et de recherche. Malgré ceci, la pénétration réelle des TIC dans le système éducatif reste aujourd'hui encore marginale. Les oppositions qu'elle rencontre constituent une réalité qui contraste avec la rapidité de leur pénétration dans d'autres secteurs de la vie sociale et dans la culture. Ceci conduit à interroger la littérature existante qui est un vecteur essentiel de la diffusion des résultats obtenus et à poser la question de son exploitation. Ceci conduit aussi à s'interroger sur les problématiques qui ont guidé les travaux sur les TIC et sur leur adéquation à la complexité des problèmes en jeu.

Ce sont les interrogations qui ont guidé la construction du projet de recherche dont nous rendons compte ici. Il a été élaboré par cinq équipes en réponse au dernier appel d'offres du CNCRE, appel d'offre qui, dans l'un de ses thèmes, proposait d'utiliser les travaux existants pour répondre aux questions suivantes :

« Comment les TIC sont-elles utilisées dans le système éducatif ? Modifient-elles la nature, les contenus et les modalités des apprentissages, ainsi que les acquis, le rapport au savoir et les attitudes des élèves, des étudiants et des enseignants ? ».

Notre projet avait pour objectif, en se basant sur l'analyse d'un vaste corpus de travaux récents, d'étudier les problématiques des travaux dans ce domaine et les approches théoriques qui les sous-tendaient, et de mettre en rapport les choix implicitement ou explicitement faits à ce niveau, ainsi que les évolutions éventuelles avec les types de résultats obtenus, leurs potentialités mais aussi leurs limites. Cette analyse devait déboucher sur la définition d'une problématique de l'intégration des TIC à l'enseignement ou, tout au moins, sur l'élaboration d'un cahier des charges pour la définition d'une telle problématique.

Dans cette recherche, nous avons choisi de nous centrer sur un champ disciplinaire particulier : celui des mathématiques. Ce choix est sans aucun doute restrictif par rapport à la question générale de l'intégration des TIC à l'enseignement et nous souhaiterions l'argumenter.

1. Les mathématiques constituent une discipline scientifique dont les rapports avec l'informatique et plus globalement les TIC, ont été initialement et restent aujourd'hui encore privilégiés. Des enseignants de mathématiques se sont, dès le début, largement investis dans les projets institutionnels visant l'intégration de l'informatique comme discipline ou comme outil à l'enseignement et dans les formations associées. En France, les programmes de mathématiques, dès le début des années 80, ont pris en compte cette dimension technologique, en rendant obligatoire l'usage de calculatrices, en intégrant les approches quantitatives et qualitatives (numériques, graphiques, algorithmiques) que la

technologie rendait a priori possibles. Les diverses institutions en charge de la réflexion sur cet enseignement comme l'INRP[1], les IREM[2], les institutions chargées de l'élaboration des programmes comme le CNP[3] et le GTD de mathématiques, les associations de spécialistes comme l'APMEP[4] ont produit textes et travaux pour expliquer et soutenir ces décisions curriculaires… Pourtant, en mathématiques comme dans les autres disciplines, l'intégration reste marginale. Ceci fait des mathématiques, nous semble-t-il, un terrain privilégié pour analyser et essayer de comprendre les résistances à l'intégration des TIC à l'enseignement.

2. Il existe, en mathématiques, une longue tradition de recherche didactique et, ce n'est sans doute pas indépendant de ce qui précède, les travaux consacrés aux technologies informatiques au sens large en constituent un part substantielle depuis une vingtaine d'années. Il y a donc un corpus de recherches et de résultats important pour guider la réflexion que nous souhaitons mener mais aussi une histoire de cette recherche susceptible de permettre d'identifier des évolutions de problématiques et d'en rechercher les raisons. Enfin l'existence à côté de la recherche d'un important secteur d'innovation peut aider, par l'étude des rapports entre ces deux pôles, à identifier et comprendre certaines difficultés propres à l'intégration des TIC à l'enseignement.
3. La question des savoirs, nous en faisons l'hypothèse, joue un rôle clef dans les problèmes d'intégration des TIC à l'enseignement. Questionner l'intégration en se centrant sur une discipline particulière permet de la travailler de façon approfondie, en s'interrogeant sur la façon dont l'implémentation informatique des savoirs les transforme au niveau des contenus comme des moyens d'accès, sur la façon dont ces transformations sont perçues et gérées par les acteurs du système éducatif avec les répercussions que ces perceptions et gestions vont nécessairement avoir sur l'intégration.

Si nous avons choisi un champ disciplinaire particulier, en revanche, il nous a semblé nécessaire de viser, à travers le choix des équipes participant au projet, la complémentarité des approches. Sciences cognitives, didactique, sciences de l'éducation, intelligence artificielle sont ainsi représentées. Mais rendre la complémentarité des approches opérationnelle dans une recherche de courte durée comme une telle recherche sur contrat ne va pas de soi. C'est pourquoi nous avons choisi des équipes ayant déjà toutes collaboré dans des recherches antérieures.

II. La méthodologie de la recherche

La définition d'une problématique de l'intégration des TIC à l'enseignement passe, dans notre projet, par l'analyse de travaux existants. Ceci suppose la constitution d'un corpus de sources de documentation et la sélection argumentée d'un ensemble travaux dans ces sources, puis la construction d'outils de description et d'analyse de ces travaux. La définition du projet de recherche comportait de ce fait les phases suivantes :

1. <u>Constitution d'un corpus de publications représentatives de la diversité des travaux concernant les TIC et leur l'exploitation dans l'enseignement des mathématiques,</u>

   la diversité à prendre en compte tenant à la fois à la diversité des technologies concernées (micro-mondes spécifiquement conçus pour l'enseignement et l'apprentissage, tutoriels,

[1] INRP : Institut National de la Recherche Pédagogique

[2] IREM : Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques

[3] CNP : Conseil National des Programmes, GTD : Groupe Technique Disciplinaire

[4] APMEP : Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public

logiciels professionnels mathématiques ou non mathématiques, progiciels multimedia et hypermedia, outils de communication par réseau...), à la diversité des types de travaux menés (travaux de recherche, d'innovation, de conception et d'évaluation de produits...), à la diversité des approches théoriques et problématiques sous-tendant ces travaux.

2. Constitution d'une grille d'analyse pour l'exploitation de ce corpus,

   en croisant, compte-tenu de ce qui précède, pour constituer cette grille, différentes approches : didactique des mathématiques, informatique et intelligence artificielle, ergonomie cognitive, psychologie cognitive et environnements interactifs d'apprentissage humain. Ce croisement devait notamment permettre de prendre en charge les questions relatives à :

   - l'analyse des produits technologiques envisagés: transformation des connaissances liée à leur contextualisation informatique (Balacheff, 1994), qualité graphique et dynamique des objets représentés, contraintes et potentialités introduites par l'instrument (Rabardel, 1995), caractéristiques de l'interface en termes d'interactivité, de communication et de navigation, prise en compte des intentions de l'utilisateur dans l'environnement élaboré.
   - l'analyse des représentations des élèves et enseignants vis à vis de ces technologies,
   - l'analyse de l'impact de ces technologies sur les processus d'apprentissage des élèves et plus largement sur leur rapport aux savoirs visés par l'enseignement,
   - l'analyse des situations d'enseignement impliquant l'usage de ces technologies et des pratiques des enseignants, en s'appuyant conjointement suivant les niveaux d'analyse sur différentes approches didactiques : théorie des situations (Brousseau, 1986, 1997), théorie anthropologique (Chevallard, 1992), théorie des champs conceptuels (Vergnaud, 1991).

3. Repérage de convergences et de divergences dans les approches et les résultats, dans le but de :
   - dégager des régularités permettant une classification des travaux du domaine,
   - aider à formuler des hypothèses sur l'intérêt et les limites des travaux effectués.
4. Repérage de travaux particulièrement représentatifs des différentes classes ou particulièrement intéressants dans une perspective d'intégration et analyse détaillée de ces travaux par classes.
5. Définition, enfin, à partir de l'ensemble des analyses d'une problématique concernant l'intégration des TIC à l'enseignement s'appuyant sur les analyses précédentes, identification de besoins de recherche spécifiques.
6. Implications pour la formation initiale et continue des maîtres, ainsi que pour la conception de nouveaux produits.

La recherche a de fait globalement suivi cette trame, en considérant des travaux publiés à partir de 1994. La période considérée est donc réduite mais, elle correspond, pour ce qui concerne les mathématiques à une très large masse de travaux d'une part, d'autre part à un moment où les effets de capitalisation des recherches commencent à se faire sentir. Des synthèses sont publiées, les approches initiales, souvent très naïves comme on le verra par rapport à la complexité des problèmes d'intégration, commencent à être sérieusement questionnées, ceci aboutissant à des travaux plus intéressants par rapport à notre projet. Un

premier corpus très étendu (662 publications) a été constitué et exploité à l'aide d'une première grille, dénommée dans ce qui suit : « grille de repérage ». Sur la base de l'exploitation de ces fiches, un second corpus plus réduit d'environ 79 articles a été constitué. Ce corpus a fait l'objet d'une analyse qualitative détaillée, sur la base d'une seconde grille dénommée dans ce qui suit : « grille de lecture ». Par ailleurs, un travail spécifique d'analyse a été mené concernant l'ensemble des publications (146) répertoriés dans le premier corpus, concernant un type de technologie précis : les logiciels dits de calcul formel ou de calcul symbolique. Ce sous-corpus présentait pour nous un intérêt particulier. Le secteur du calcul formel est un secteur de développement plus récent, en particulier sur le plan de la recherche en éducation, confrontant de plus l'enseignement à l'intégration d'outils professionnels de l'activité mathématique qui n'ont pas été conçus pour l'enseignement. On y observe en une sorte de raccourci une évolution des approches et problématiques qui, dans d'autres domaines des TIC, se sont dilués sur une beaucoup plus longue période.

Les analyses qualitatives faites sur le second corpus et le sous-corpus ont permis d'identifier des caractéristiques générales des travaux et des évolutions, en particulier au niveau des cadres théoriques et des problématiques. Elles ont aussi permis d'ébaucher une première structure d'un cahier des charges possible pour une problématisation de l'intégration, cette structure étant multidimensionnelle. Elle comporte neuf entrées, un ensemble de critères d'analyse étant associé à chacune des entrées.

Cette première structure a été ensuite exploitée pour effectuer un traitement statistique des travaux du second corpus. Les travaux de ce corpus ont été codés en fonction des critères d'analyse retenus selon les différentes entrées puis les données recueillies ont été soumises à un traitement statistique dont la méthodologie est détaillée dans le chapitre IV. Le but de ce traitement était d'une part, d'objectiver en permettant de les quantifier certaines des caractéristiques et tendances que les analyses qualitatives nous avaient conduites à identifier, d'autre part, de tester l'opérationalité de la structure construite et en particulier des critères retenus dans leur capacité à discriminer des travaux et permettre d'en repérer automatiquement des caractéristiques pertinentes dans une perspective d'intégration.

Dans la suite de ce rapport, nous consacrerons la partie II au premier corpus : critères de sélection choisis pour sa constitution, définition de la grille de repérage, synthèse des résultats obtenus via son exploitation. La partie III sera consacrée, de manière similaire, à la constitution et à l'exploitation du second corpus ainsi qu'à l'analyse du corpus sur le calcul formel. Dans la partie IV, nous présenterons la structure multidimensionnelle élaborée et les résultats des traitements statistiques effectués sur le second corpus. Dans la partie V enfin, nous tirerons les leçons du travail effectué pour ce qui est de l'élaboration d'un cahier de charge d'une problématique de l'intégration des TIC à l'enseignement, tout en en pointant les limites et les prolongements qui nous semblent nécessaires.

Le lecteur trouvera par ailleurs en annexe 1 la liste des articles du premier corpus, en annexe 2 les fiches de lecture du second corpus, en annexe 3 les documents relatifs à l'analyse statistique du second corpus et, enfin, en annexe 4, les problématiques en calcul formel.

CHAPITRE II

CONSTITUTION ET ANALYSE DU PREMIER CORPUS DE PUBLICATIONS

Nous présentons dans ce chapitre le travail correspondant à la constitution et à l'analyse du premier corpus. Nous précisons dans un premier temps les critères de sélection utilisés pour la constitution de ce corpus, puis nous décrivons la grille de « repérage » qui a servi à coder les éléments du corpus. Nous présentons ensuite l'analyse quantitative menée à partir de ces codes, pour contrôler d'une part l'échantillon ainsi constitué et préparer d'autre part le travail ultérieur. Nous terminons en pointant un certain nombre de limites de cette première phase du travail et en indiquant comment nous avons essayé de pallier certaines d'entre elles.

I. Les critères de sélection

La sélection, comme précisé antérieurement, a porté, à quelques exceptions près, sur des travaux parus entre 1994 et 1998. Sur cette période de cinq ans, nous avons cherché à prendre en compte la diversité des productions existantes, sans nous limiter aux publications de recherche. Ceci nous a conduits à organiser le recueil du corpus suivant les dimensions suivantes : articles publiés dans des revues de recherche, articles publiés dans des revues d'enseignement, articles publiés dans les actes de colloques et de congrès, thèses, ouvrages de synthèse, rapports de contrats, productions du Ministère de l'Education Nationale et sites internet. Après un recensement de la littérature existante et aisément accessible dans chacune de ces dimensions, nous avons décidé de commencer par dépouiller systématiquement pour la période concernée :

1. La base de données du « Zentralblatt für Didaktik der Mathematik » (base de données internationale de référence pour la recherche en éducation mathématique), avec l'entrée " Computer Assisted Instruction ",
2. Les revues de recherche générales et spécialisées suivantes :
    - Revue Française de Pédagogie,
    - Recherches en Didactique des Mathématiques,
    - Journal for Research in Mathematics Education,
    - Educational Studies in Mathematics,
    - International Journal of Computers for Mathematics Learning,
    - International Journal of Computer Algebra in Mathematics Education,
    - Sciences et Techniques Educatives,
    - Educational Technology,
    - Research and Development,
    - Journal of Artificial Intelligence in Education

- Journal of Educational Multimedia and Hypermedia,
- les actes du séminaire DIDATECH (Didactique et Technologie Cognitive, Grenoble),

3. Les revues davantage centrées sur l'enseignement suivantes :
   - Repères IREM,
   - Petit x,
   - Bulletin de l'APMEP,
4. Les actes de congrès généraux ou spécialisés suivants:
   - Colloques EIAO (Environnements Interactifs d'Apprentissage avec l'Ordinateur),
   - Congrès IFIP (International Federation for Information Processing)
   - Congrès du groupe international PME (Psychology of Mathematical Education),
   - Congrès Hypermedia et apprentissage...,
5. Les thèses de didactique des mathématiques soutenues dans ce domaine, en nous limitant aux thèses soutenues en France,
6. Les chapitres consacrés aux TIC dans des ouvrages didactiques de synthèse, quelques ouvrages spécifiques tels celui de Noss et Hoyles (Noss et Hoyles, 1997) auquel il sera fait référence dans la suite de ce rapport, les ouvrages des NATO series consacrés au domaine.
7. Les rapports de contrats de recherche passés avec le Ministère de l'Education Nationale,
8. Les rapports faisant suite à un travail d'innovation dans le domaine des TIC, émanant :
   - du Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche,
   - de l'Institut National de Recherche Pédagogique (INRP),
   - du Centre National de Documentation Pédagogique (CNDP) et de certains Centres Régionaux de Documentation Pédagogique (CRDP),
   - des Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques (IREM),
9. Les sites internet dédiés du Ministère de l'Education Nationale, ainsi que certains serveurs académiques.

Ce dépouillement a permis la constitution d'un corpus de 662 articles sur lequel nous avons effectué les premières analyses.

II. La grille de repérage

Ce premier corpus a été traité à l'aide d'une grille de lecture simplifiée dénommée " grille de repérage ". Il s'agissait, dans cette première phase du travail, de repérer rapidement les caractéristiques principales des publications répertoriées dans le corpus, pour permettre une classification et la sélection de travaux en vue de la constitution du second corpus. Les modes de description choisis ont été les suivants :

1- Auteur(s)
2- Titre
3- Année
4- Référence
5- Type d'article
6- Matériel Utilisé
7- Domaine Mathématique
8- Niveau de formation
9- Problématique
10- Intérêt du document
11- Pays.

Précisons la signification des rubriques introduites et les catégories envisagées a priori, les chercheurs étant par ailleurs invités à qualifier dans une catégorie : " Autres ", les objets n'entrant pas dans une de ces catégories.

Type d'article : il s'agit de caractériser, comme l'indique la rubrique, le type de production concerné. Nous avons envisagé a priori quatre types possibles : publication de recherche, comptes rendus d'expérimentation ou d'innovation, publication de réflexion générale et publication concernant la conception, la description et/ou l'analyse de produits technologiques.

Matériel utilisé : il s'agit de caractériser la ou les technologies envisagées dans la publication et nous avons a priori envisagé les catégories suivantes : calculatrice (en distinguant éventuellement entre calculatrices numériques, graphiques et symboliques), CAS (c'est-à-dire logiciels de calcul symbolique tels Derive, Mathematica, Maple), logiciel statistique, tableur, grapheur, EIAO au sens large, logiciel de géométrie dynamique (Cabri-géomètre, Géoplan, sketchpad...), micro monde LOGO, exerciseur, multimedia, hypermedia, internet.

Domaine mathématique : il s'agit de préciser le domaine mathématique concerné par l'étude. Les catégories suivantes ont été envisagées a priori : arithmétique, algèbre élémentaire, analyse, fonctions/graphes, géométrie, algorithmique, algèbre linéaire, probabilités/statistiques, logique et mathématiques discrètes.

Niveau de formation : il s'agit de caractériser les niveaux de formation concernés par la publication et les catégories suivantes ont été a priori envisagées : élémentaire, collège, lycée, second degré sans distinction collège / lycée, enseignement supérieur, formation des enseignants. Nous sommes bien conscients par ailleurs des décalages existant à ce niveau entre les pays, le travail mathématique effectué par exemple au niveau collégial[5] aux USA étant par certains aspects plus proche de ce qui se fait en terminale scientifique en France que de ce qui se fait à l'université.

Problématique : il s'agit ici de caractériser brièvement la problématique du travail concerné, si celle-ci est explicite ou aisément inférable. Aucune catégorie n'a été ici introduite a priori.

Intérêt du document : ce critère nous a semblé nécessaire, dans l'optique de la sélection d'un second corpus, bien qu'il reste relativement subjectif. L'intérêt doit être ici pensé dans l'optique de notre projet. Ainsi, un article peut être intéressant du fait de la problématique

[5] Le collège aux Etats Unis suit l'enseignement secondaire et précède le cursus universitaire proprement dit.

qu'il développe, de sa dimension théorique, du dispositif méthodologique mis en oeuvre, des résultats obtenus ; il peut être aussi intéressant, bien que sans originalité particulière, parce qu'il est représentatif d'un certain point de vue ou qu'il effectue une synthèse intéressante (ce peut-être le cas en particulier pour certains articles de réflexion générale). Une innovation peut être intéressante, du fait des situations qu'elle propose, des perspectives qu'elle ouvre, même si l'analyse qui l'accompagne reste très limitée ; une description/évaluation de produit peut être intéressante du fait de l'analyse qui est développée, même si le produit concerné est par lui-même relativement banal.

A chaque publication a été ainsi associée une grille de repérage et on trouvera en annexe 1 un certain nombre de ces grilles reproduites. Les grilles ont ensuite fait l'objet d'un premier traitement dont nous présentons les résultats ci-après.

Précisons que, au vu des grilles constituées, certaines catégories a priori ont été légèrement modifiées mais que, globalement, ces catégories se sont révélées pertinentes.

III. Les résultats des premières analyses

Ces analyses ont été des analyses quantitatives simples. Elles avaient pour premier objectif de contrôler l'échantillon constitué par le corpus, en nous assurant que les choix faits collectivement dans les sources de données, puis par chaque équipe dans les sources dont elle avait la charge, assuraient une représentativité satisfaisante des travaux dans le domaine, suivant les valeurs possibles des critères 3, 5, 6, 7, 8 et 11 de la grille. Qu'en est-il ressorti ? Nous donnons dans ce paragraphe les résultats rubrique par rubrique, puis, dans le paragraphe suivant, nous tirerons les premières conclusions.

A. Nombre d'articles par pays

Précisons que les pays ont été codés comme suit :

AUS : Australie	I : Italie	NO : Norvège
AUT : Autriche	IR : Irlande	P : Portugal
B : Belgique	IS : Israel	R : Russie
BR : Brésil (et Colombie)	ISL : Islande	RPC : Chine (et Taiwan, Corée)
C : Canada	J : japon	S : Suède
CH : Suisse	D : Allemagne	SP : Espagne
DK : Danemark	M : Mexique	UK : Grande Bretagne
F : France	NG : Nouvelle Guinée	US : Etats-Unis
FI : Finlande	NL : Pays-Bas	NP : Non précisé
G : Grèce		

Le tableau ci-après fournit la répartition par pays des publications.

D	AUS	AUT	BR	CH	FI	F	IR	I	IS	M	NL	UK	US	NP
41	14	16	3	5	8	192	1	18	16	3	8	73	150	77

RPC	DK/ NO	SP	G	J	NG	P	B	C	CR	R	S
4	3	6	1	8	3	5	1	3	1	1	1

Les pays les plus représentés sont, dans l'ordre, la France (29 %), les Etats-Unis (23%), le Royaume Uni et la RFA. Mais il faut noter que les sources documentaires utilisées n'ont pas permis de préciser les pays d'origine des auteurs pour 11% de la population. Il s'agit cependant essentiellement de publications qui semblent relever de la culture anglo-saxone, qui se trouve donc bien représentée. Comme cela était prévisible, on constate une sur-représentation de travaux français, mais elle nous semble rester dans des limites raisonnables. En revanche, les travaux latino-americains et plus généralement les travaux relevant des cultures hispaniques, portugaises et asiatiques sont à l'évidence sous-représentés. Ceci nous est apparu comme un biais du corpus auquel il serait important de pouvoir remédier, au moins partiellement, dans la suite du travail.

Nombre d'articles par année

1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1 (0%)	8 (1%)	139 (21%)	148 (23%)	134 (21%)	105 (16%)	107 (15%)	20 (3%)

Les publications sont donc réparties de façon relativement régulière sur les cinq principales années du recensement. Pour l'année 1999, le recensement a été limité au premier trimestre, compte tenu de l'avancement du travail.

C. Nombre d'articles par type

Les types d'articles ont été codés comme suit :

- publication de recherche : R
- compte-rendu d'expérimentation ou d'innovation : EI
- publication de réflexion générale : RG
- publication concernant la description et/ou l'analyse de produits : P

La répartition est la suivante :

EI	P	R	RG	R/EI	R/P	non précisé
132 (20 %)	135 (20 %)	246 (37 %)	101 (15 %)	10 (2 %)	1 (0 %)	37 (6%)

Comme on le constate, tout en étant dominantes, les publications de recherche ne constituent pas la majorité du corpus et les différentes catégories a priori répertoriées sont relativement bien représentées. Deux catégories mixtes R/EI et R/P ont été introduites, vu les difficultés rencontrées à classer certains articles, mais elles ne représentent que 3% de l'effectif, ceci montrant que les distinctions introduites sont opérationnelles.

D. Nombre d'articles par domaine mathématique

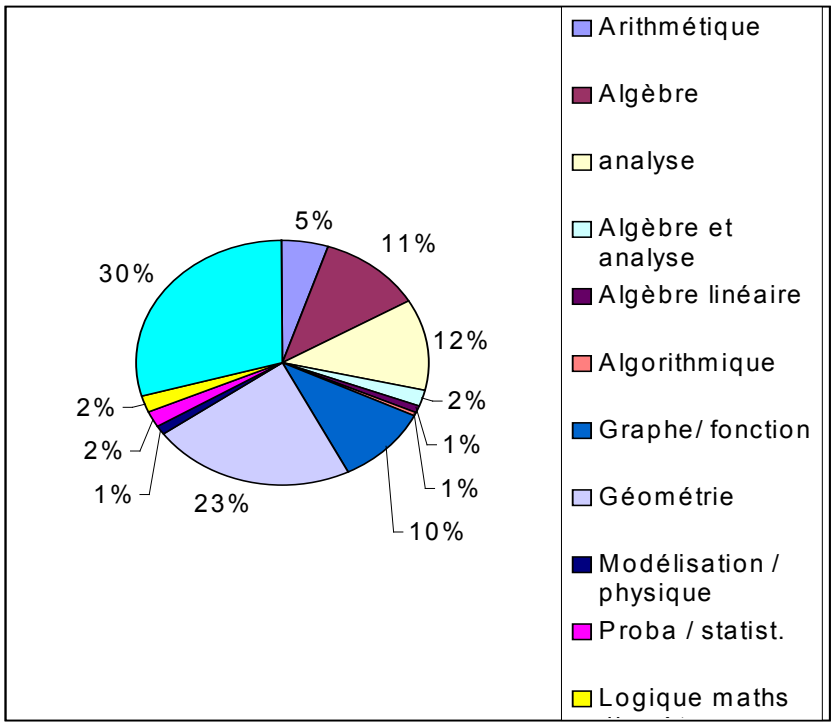
Les publications se répartissent comme suit :

Arithmé-tique	Algèbre	Analyse	Algèbre et analyse	Algèbre linéaire	Algorith mique	Graphe/ fonction	Géomé-trie	Modélisati on / phys.	Proba / stat.	Logique maths discrètes	Général ou Non précisé
35 (5%)	76 (11%)	78 (12%)	16 (2,5%)	4 (0,5%)	5 (0,5%)	68 (10%)	148 (23%)	7 (1%)	16 (2,5%	14 (2%)	195 (30%)

Les poids des domaines de l'arithmétique, de l'algèbre, de l'analyse et de fonction / graphe sont respectivement 5 %, 11 %, 12 % (avec 2,5 % en plus pour des publications sur les deux domaines conjointement) et enfin 10 % du corpus retenu, soit globalement 40 %. Le domaine de la géométrie représente à lui seul 23 % du corpus retenu. Ces résultats semblent a posteriori raisonnables. Nous pouvons cependant faire deux remarques :

- Le poids des publications du domaine numérique semble assez faible. On peut se demander si ceci correspond réellement à un nombre plus faible de travaux dans ce domaine qui concerne surtout l'enseignement élémentaire et le début du collège, en particulier ces dernières années, ou s'il faut voir là l'effet d'un biais de la sélection du corpus.
- Le poids important des publications du domaine algèbre et analyse peut être lié à la présence de plusieurs revues spécialisées en calcul formel dans les sources choisies. Nous avons justifié ce choix dans le chapitre I.

Soulignons également le pourcentage important d'articles qui ne sont pas centrés sur un domaine mathématique précis (30%).



E. Nombre d'articles par niveau de formation

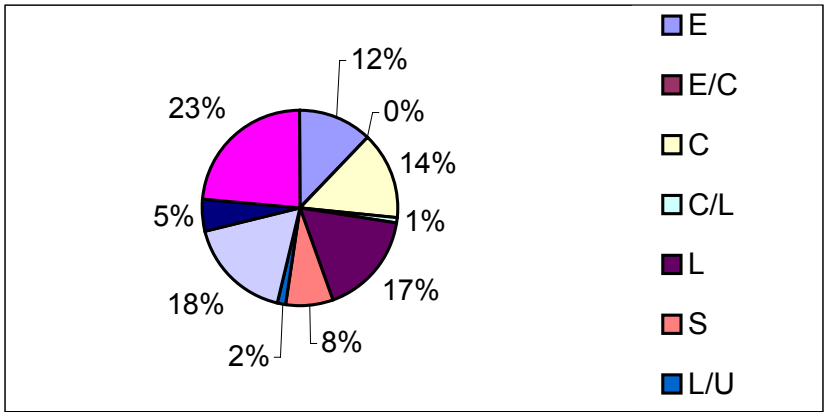
Les niveaux de formation ont été codés comme suit :

Élémentaire	E	Collège	C
Lycée	L	Secondaire sans distinction collège / lycée	S
Enseignement supérieur	U	Formation des enseignants	FE

Les codes E / C, C / L, etc. correspondent à deux niveaux de formation sans distinction.

Le code NP désigne non précisé.

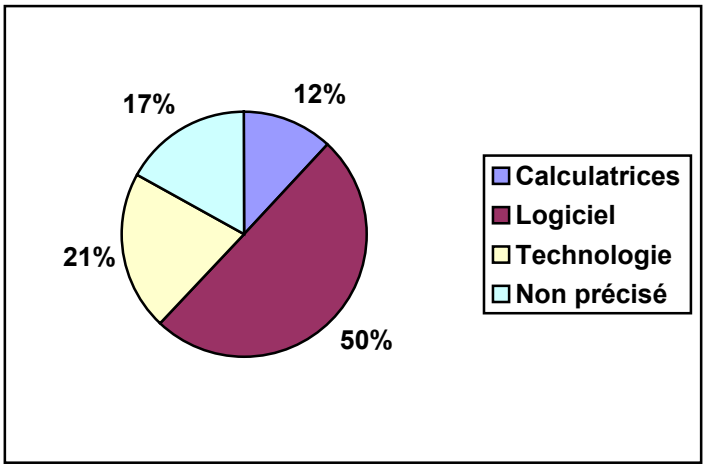
E	E/C	C	C/L	L	S	L/U	U	FE	NP
80 (12%)	1 (0 %)	95 (14 %)	6 (1 %)	112 (17 %)	50 (8 %)	10 (2 %)	116 (18 %)	34 (5 %)	158 (23 %)



Les travaux du corpus semblent raisonnablement répartis sur les différents niveaux d'enseignement. On note une domination de l'enseignement secondaire qui était à prévoir compte-tenu des travaux développés à ce niveau. En revanche, vu la perspective qui est la nôtre, le faible nombre de travaux concernant la formation des enseignants est problématique. Il y a peut-être là un biais possible dans la sélection mais plus, sans doute, l'effet de l'investissement plus récent et encore limité au niveau des productions, de la recherche en didactique des mathématiques sur les questions relatives aux enseignants.

F. Nombre d'articles par type de matériel utilisé

Calculatrices	Logiciels	Technologie	Non précisé
80 (12 %)	321 (50 %)	137 (21 %)	112 (17 %)
Numériques et scientifiques : 11 Graphiques : 26 Symboliques : 43	Géométrie : 106 Micromondes : 50 Tableurs : 39 Calcul formel et grapheurs : 138	Tutoriel : 12 EIAO : 26 Internet : 15 Multimedia : 23 Hypermedia : 17	



Si l'on considère les matériels, la catégorie intitulée « logiciels » domine largement. Ceci était prévisible si l'on considère l'historique des travaux dans le domaine. On notera dans cette catégorie la présence encore limitée de travaux concernant les tableurs dont l'usage est maintenant explicitement mentionné dans les programmes de mathématiques du collège et du lycée en France. Le nombre plus réduit de travaux sur les calculatrices, et parmi ceux-là la

domination des travaux sur les calculatrices symboliques, et le nombre très réduit de travaux sur les calculatrices les plus simples, est en accord avec ce qui avait déjà été observé dans la rubrique relative aux domaines mathématiques. Par ailleurs, un recensement actualisé conduirait sans aucun doute à renforcer dans cette répartition le pôle multimedia, hypermedia et surtout internet. Les travaux de cette catégorie se retrouvent en effet très majoritairement dans les dernières années du recensement.

IV. Remarques et conclusions

Au vu de ces analyses quantitatives, il nous a semblé que le corpus dont nous disposions, même s'il présentait certains biais, pouvait être considéré comme suffisamment représentatif de la diversité de productions existantes, au moment où la recherche a débuté, pour servir de base à la constitution du second corpus, modulo quelques aménagements et précautions sur lesquels nous reviendrons dans la suite de ce paragraphe :

- dans les nationalités des auteurs, une trentaine de pays différents sont représentés, avec environ 40 % d'auteurs anglo-saxons, et 30 % d'auteurs francophones ; il y a donc une réelle ouverture internationale, même si certains grandes zones géographiques comme l'Asie, l'Afrique, l'Amérique latine, l'Europe centrale sont peu présentes. Pour certaines de ces zones, la sous-représentation n'a d'ailleurs rien d'étonnant, vu l'inégalité des conditions d'accès à la technologie,
- la répartition suivant les cinq années du recensement est régulière,
- dans les différents types d'articles, chacune des catégories a priori identifiées est solidement représentée et le secteur « recherche », tout en étant dominant, ce qui est normal, n'est pas exagérément sur-représenté,
- les principaux domaines d'enseignement mathématique sont bien représentés, si l'on excepte le domaine numérique dans la scolarité obligatoire. La situation aurait peut-être été différente si nous avions recensé des articles plus anciens,
- les différents niveaux de formation sont eux aussi représentés de façon satisfaisante même si, comme nous l'avons déjà souligné, nous aurions souhaité disposer de davantage d'articles centrés sur la formation des enseignants,
- les différents types de matériels sont eux aussi raisonnablement représentés. Il est clair que l'évolution technologique actuelle rendrait souhaitable une plus forte représentativité des technologies de l'information et de la communication par rapport aux calculatrices et logiciels, mais il faut aussi reconnaître que, si il y a explosion de productions dans ce secteur actuellement, il s'agit plus, pour l'instant, de travaux d'innovation que de recherches sur les résultats desquelles on pourrait solidement s'appuyer pour définir une problématique de l'intégration. Ceci était bien sûr encore plus patent quand la recherche a commencé il y a deux ans.

Ces résultats globalement satisfaisant ne doivent pas masquer les limites du travail entrepris dans cette première phase et de la méthodologie mise en place. Nous voudrions ici en souligner certaines.

1. Nous avions a priori fait l'hypothèse que l'exploitation systématique d'une base de données comme celle du « Zentralblatt für Didaktik der Mathematik », base internationale de référence, nous permettrait d'éviter des oublis majeurs dans la littérature existante en éducation mathématique au sens large, et donc de contrôler la sélection effectuée pour ce premier corpus, tout en nous fournissant, de façon relativement économique, une première vision globale du champ. A posteriori, l'utilisation de cette base de données nous a semblé

introduire certains biais systématiques. Les recensions effectuées nous ont paru en effet refléter assez mal la diversité des sources a priori prises en compte par le « Zentralblatt für Didaktik der Mathematik », avec à la fois des phénomènes de sur-représentativité (notamment pour la littérature en langue allemande) et de sous-représentativité. De plus, les renseignements fournis pour chaque publication, malgré la présence d'un résumé, ne permettaient pas nécessairement d'informer de façon fiable toutes les rubriques de la grille, en particulier celles concernant la problématique et l'intérêt de l'article, pourtant essentielles à notre propos. Un travail plus approfondi, sur un corpus plus restreint, s'avérait donc d'autant plus nécessaire.

2. Nous n'avons sans doute pas assez utilisé dans les sources la littérature professionnelle des enseignants susceptible de nous donner accès aux points de vue de praticiens, hors du secteur de l'innovation et de la recherche, sur les questions d'intégration et enrichir de ce fait notre analyse des résistances du système éducatif.
3. L'utilisation de la grille de repérage élaborée n'a pas posé de problème pour le recensement des publications classiques sur papier. Elle s'est révélée en revanche beaucoup moins adaptée au recensement de CD-ROMs et sites internet.
4. Conscients de ces limites, nous avons essayé de les prendre en compte dans la constitution du second corpus, en étant attentifs dans les choix effectués à ne pas renforcer les déséquilibres d'une part, en complétant d'autre part les sources utilisées pour le premier corpus. Nous avons ainsi dépouillé pour la période considérée la principale revue latino-américaine : « Educación Matemática », et la revue française « Enseignement Public et Informatique ».

Pour la suite du travail et la constitution du second corpus, devant prendre notamment en compte les éléments d'information correspondant aux rubriques 9 (problématique) et 10 (intérêt) de la grille de repérage, qui n'avaient jusqu'alors pas fait l'objet d'un traitement spécifique, nous avons décidé de répartir le premier corpus en catégories thématiques. Ces catégories sont les suivantes :

- Arithmétique et algèbre au niveau élémentaire, collège et début lycée,
- Calcul formel au niveau lycée et enseignement supérieur,
- Fonctions et représentations graphiques,
- Géométrie,
- Multimedia, Hypermedia, CD-ROM, Internet…,
- Articles de réflexion générale,
- Formation des enseignants.

Chaque équipe a pris en charge une ou plusieurs catégories d'articles, en fonction de ses compétences particulières, étant entendu qu'une discussion collective des choix effectués au sein de chacune d'elle pour la constitution du second corpus serait organisée et que des ajustements seraient alors effectués, si nécessaire, pour préserver les équilibres. Pour chacune des catégories, des statistiques par rubrique et des tris croisés ont été effectués. Ils ont permis de préciser le panorama des articles pour chaque catégorie et d'identifier un certain nombre d'évolutions sur les cinq ans considérés. Nous en avons rendu compte dans le rapport intermédiaire mais ne les reprenons pas ici, car ils n'ont pas apporté de résultats majeurs pour notre projet central de définition d'une problématique de l'intégration.

CHAPITRE III

LES ANALYSES QUALITATIVES PRELIMINAIRES AU TRAITEMENT STATISTIQUE

Nous décrivons dans ce chapitre les analyses qualitatives préliminaires à l'analyse statistique. Elles concernent d'une part la partie du premier corpus concernant le calcul formel (146 articles), d'autre part le second corpus (79 articles). Nous décrivons d'abord la constitution de ce second corpus et celle de la grille de lecture qui a servi à son exploitation, puis nous présentons successivement les principaux résultats des analyses qualitatives menées. Nous nous centrons sur l'étude des cadres théoriques et des problématiques, puis sur les éléments de cette étude susceptibles de nourrir la définition visée d'une problématique de l'intégration. Nous en déduisons les principales dimensions qu'il nous semble nécessaire de conjuguer dans une telle problématique, dimensions qui structureront la suite du travail de recherche.

I. La constitution du second corpus et la définition de la grille de lecture

I.1 La constitution du corpus

La constitution du corpus s'est effectuée au sein de chaque équipe, en prenant donc en compte la répartition du travail effectuée entre elles, suivant leurs spécialités tant disciplinaires que thématiques. La sélection a été fondée d'une part sur l'intérêt des travaux pour cette recherche spécifique, d'autre part sur leur représentativité au sein de leurs catégories respectives. La notoriété des auteurs dans le champ a aussi été prise en compte dans l'expression de la représentativité. Ces critères restant cependant relativement subjectifs, les raisons précises de la sélection de chaque article ont été répertoriées et discutées lors d'une réunion d'harmonisation préalable au traitement du corpus. Nous avons ainsi abouti à un corpus de 79 publications.

A chacun des éléments de ce corpus a été ensuite associée une fiche réalisée sur la base d'une grille de lecture dont nous allons maintenant préciser les rubriques. Les fiches de lecture elles-mêmes sont reproduites dans l'annexe 2.

I.2 La définition de la grille de lecture

La grille de lecture, contrairement à la grille de repérage, diffère suivant les types de publications concernés.

Pour les publications de type « Recherche » ou « Expérimentation/Innovation », elle comporte les rubriques suivantes :

- Raisons de la sélection

- Cadre(s) théorique(s)
- Problématique
- Méthodologie/Dispositif
- Analyse
- Résultats/Conclusions
- Observations du lecteur

Pour les publications de type « Présentation et analyse de produits technologiques », la rubrique « Problématique » est remplacée par une rubrique « Objectifs du produit » et la rubrique « Méthodologie/Dispositif » est remplacée par la rubrique « Méthodologie de développement et/ou d'expérimentation ». Enfin, pour les publications répertoriées comme « Réflexions générales », la rubrique « Méthodologie /Dispositif » est remplacée par « Moyens mis en oeuvre » et la rubrique « Analyse » par « Argumentation / Analyse ».

Nous précisons ci-après les contenus de ces différentes rubriques pour la grille de lecture concernant les articles de recherche et d'innovation, qui constituent la majorité des articles retenus pour cette seconde phase.

Raisons de la sélection : il s'agit de préciser, comme nous l'avons déjà indiqué, les raisons qui ont conduit à sélectionner le travail concerné pour le second corpus.

Cadre théorique : il s'agit de préciser le ou les cadres théoriques qui servent de support au travail ou, plus généralement, auxquels il est fait explicitement référence. Le terme « cadre théorique » est ici à entendre au sens large, vu les différences culturelles évidentes et les caractéristiques du corpus utilisé, qui ne se réduit pas à des publications de recherche. Toute approche originale, même si elle est encore peu construite, est à mentionner.

Problématique : là encore, ce terme est à prendre en compte de façon large. La problématique d'un travail n'est pas toujours clairement explicitée par les auteurs et l'on s'autorise des inférences à ce sujet à partir du texte, tout en le précisant. On mentionne également dans cette rubrique le rattachement éventuel de la recherche ou de l'innovation menée à un projet plus global, car cela peut aider à en situer la problématique.

Méthodologie / Dispositif :

On informe dans cette rubrique, si elles sont pertinentes pour le travail considéré, les sous-rubriques suivantes :

- *Durée* : il s'agit de préciser la durée de l'étude menée.
- *Méthodologie* : il s'agit de préciser le type de méthodologie utilisé, en distinguant en particulier des méthodologies qualifiées « d'externes » basées sur la comparaison entre groupes expérimentaux et groupes témoins, sur enquêtes et questionnaires, et les méthodologies qualifiées « d'internes » comme celles associées aux travaux d'ingénierie didactique, un travail pouvant bien sûr relever à la fois de ces deux grandes catégories méthodologiques.
- *Présentation du ou des dispositifs expérimentaux* : on précise dans cette sous-rubrique si le dispositif expérimental est détaillé ou non et, dans le cas d'une réponse positive, on le décrit.
- *Données recueillies* : on précise dans cette sous-rubrique les différents types de données recueillies : questionnaires (types à préciser) / entretiens (type à préciser)/

productions d'élèves en classe / observations de classes / enregistrements audio / video...

- *Modalités d'étude* : il s'agit ici de décrire les modalités du travail effectué, en précisant s'il est de type « étude de cas », concerne une ou plusieurs classes (on donnera alors le nombre), s'il s'agit plutôt d'une étude à grande échelle...

- *Modalités de travail dans la classe* : on distingue principalement à ce niveau les catégories suivantes : travail individuel / en binômes / en petits groupes / collectif, les modalités pouvant bien sûr faire intervenir plusieurs de ces catégories.

- *Statut de l'enseignant dans le travail mené* : en particulier dans le cas d'un article de recherche, on précise son degré d'intégration à la recherche.

- *Public* : il s'agit de préciser ici si le public est volontaire ou non, sélectionné ou non et alors suivant quels critères.

Analyse :

Cette rubrique est organisée autour des sous-rubriques suivantes :

- *Critères d'analyse* : il s'agit de préciser les critères utilisés par les auteurs pour analyser les données recueillies.

- *Modes de validation* : on précise, en particulier, si les auteurs ont recours à des validations statistiques (et si oui lesquelles), s'il s'agit d'une interprétation qualitative des données, s'il y a triangulation entre plusieurs types de données et d'analyses (et si oui lesquelles), s'il y a mise à l'épreuve d'un modèle progressivement réajusté...

Résultats / Conclusions :

Cette rubrique est, quant à elle, organisée autour de quatre sous-rubriques :

- *Types de résultats* : il s'agit de décrire les résultats obtenus et de préciser en quoi ils sont ou non conformes aux hypothèses faites, si de telles hypothèses ont été explicitées.

- *Degré de généralité* : il s'agit d'essayer d'apprécier le degré de généralité qui peut être accordé aux résultats obtenus, d'apprécier leur champ de validité et ce, même si la question n'est pas explicitement abordée par les auteurs.

- *Dispositif modifié ou non* : cette sous-rubrique concerne plus spécialement les travaux de recherche à composante d'ingénierie didactique et les travaux d'innovation. Son objet est de préciser si les résultats obtenus ont conduit à une modification des dispositifs didactiques élaborés, au niveau du contenu et/ou de la forme. Dans ce cas, qui nous semble important à pointer dans une perspective d'intégration, les principales modifications apportées sont précisées ainsi que les raisons éventuellement avancées par les auteurs pour justifier ces modifications.

- *Conclusions et perspectives* : il s'agit dans cette rubrique de présenter les conclusions éventuelles des auteurs et les perspectives qu'ils suggèrent à l'issue de leur travail.

Observations du lecteur : cette rubrique est une rubrique ouverte laissant la possibilité au lecteur de noter toute information qu'il juge intéressante sur la publication concernée, ne trouvant pas sa place dans les rubriques existantes, de noter les difficultés éventuelles qu'il a pu rencontrer à utiliser la grille ou bien d'ajouter un commentaire personnel.

II. Analyse qualitative : cadres theoriques et problématiques

Nous présentons dans cette partie les résultats des analyses qualitatives effectuées en nous centrant, comme indiqué, sur les cadres théoriques et la problématique des travaux considérés.

L'analyse des problématiques est effectuée à partir du sous-corpus de la première phase relatif au calcul formel. L'analyse des cadres théoriques est, quant à elle, effectuée à partir du second corpus, la sélection effectuée pour ce second corpus permettant mieux l'exploitation de ce point de vue.

II.1 Les problématiques

Les problématiques des travaux du corpus calcul formel ne sont pas toujours clairement explicitées, ce qui oblige, comme nous l'avions prévu, à des inférences hypothétiques. L'image qui se dégage du corpus est encore une fois celle d'une grande diversité et nous argumenterons cette affirmation par l'analyse réalisée sur le corpus concernant le domaine du calcul formel. Rappelons que cette analyse porte sur cent quarante six articles dont le descriptif est donné en annexe 4. Le panorama qui s'en dégage nous semble une bonne image des problématiques présentes dans le corpus et de leurs évolutions observables**,** des évolutions qui se sont produites pour d'autres domaines sur une période beaucoup plus longue.

Nous avons classé les publications du domaine « calcul formel » en cinq grandes classes de problématisation. Dans une première classe, nous avons regroupé les articles ne présentant aucun questionnement réel de façon à cerner l'analyse qu'ils font du calcul formel. Une seconde classe est celle des « innovations argumentées ». Nous nous demanderons quelles conclusions peuvent être tirées de ces innovations. Puis nous considèrerons les articles qui posent l'hypothèse d'une amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage comme conséquence de l'introduction du calcul formel. Nous tenterons de voir comment ces hypothèses sont validées. La classe suivante sera celle des articles qui posent des questions sur le calcul formel sans nécessairement présupposer des apports du calcul formel. Nous verrons quelles questions sont posées et les moyens que les auteurs se donnent pour les examiner. Nous terminerons par les articles qui posent une question dont l'importance justifie une classe à elle seule : la question de l'intégration du calcul formel dans l'institution scolaire.

A. Les articles sans problématisation

Soixante-dix-sept articles de ce corpus ne sont pas du tout problématisés. Il s'agit d'un pourcentage très important (53%) mais qui témoigne de la jeunesse relative de ce secteur de recherche. Dans ces articles, on trouve trois principales catégories : les articles qui relèvent d'une approche purement technique d'analyse des produits de calcul formel et de leurs potentialités, des articles qui, tout en privilégiant cette approche, font allusion aux élèves et étudiants, et des présentations d'enseignement.

Articles relevant d'une approche seulement technique

Parmi ces soixante-dix-sept articles, vingt-huit présentent seulement une approche technique des possibilités du calcul formel implémenté soit dans des logiciels soit dans des calculatrices. Parmi ces possibilités, les différentes formes de visualisation, la modélisation, la programmation sont privilégiées.

Articles techniques avec allusion aux élèves

Seize articles non problématisés font, en plus de cette approche technique, une allusion aux élèves ou étudiants. Pour certains, les possibilités techniques qu'ils soulignent justifient un travail auprès des élèves, sur lequel peu de choses est dit, mais qui est pensé a priori comme

très profitable. Par exemple, un auteur déclare que « visualiser les combinaisons des fonctions (qu'il a présentées) aide considérablement le développement cognitif du sujet ». Un autre présente un programme permettant « d'élargir l'expérience des élèves beaucoup plus rapidement qu'en calculant à la main ».

Dans quelques cas, un travail avec des étudiants est rapporté en quelques mots pour appuyer l'intérêt du travail technique présenté. Dans un seul cas, il est fait allusion à des difficultés possibles, mais, d'après l'auteur, elles peuvent être facilement surmontées.

Dans deux cas seulement, des difficultés techniques du calcul formel sont mentionnées, et les auteurs insistent sur la nécessité d'une formation des étudiants, compte tenu des pièges que ces difficultés peuvent induire.

Articles centrés sur la présentation d'un enseignement

Parmi les soixante-dix-sept articles non problématisés, trente-trois correspondent à la présentation d'un enseignement. Ce sont des schémas de cours, voire des cours détaillés, parfois complétés par quelques informations issues de l'expérience d'enseignement de l'auteur. Parfois l'enseignement est décrit comme s'inscrivant dans un cursus rénové et y participant. L'intérêt des enseignements présentés n'est en général pas questionné. Par exemple, dans un article de ce type, l'auteur déclare que DERIVE est parfait pour enseigner les équations différentielles, appuie cette déclaration par quinze pages de technique d'utilisation du logiciel et rapporte en deux pages son expérience d'enseignant.

Dans un seul cas, la description de l'enseignement est complétée par quelques données d'observation sur les élèves.

B. Les innovations argumentées

Treize articles sont du type « innovation argumentée ». Les apports du calcul formel qui appuient l'innovation sont présentés de façon argumentée, contrairement aux articles de la catégorie précédente, mais cette argumentation est faite d'assertions non problématisées et il n'y a pas de formulation d'hypothèses que l'innovation permettrait de tester. L'évaluation est essentiellement, dans ces travaux, de type « naturaliste », plus proche du discours d'opinion que d'une validation réelle ou appuyée sur d'autres travaux.

On trouve notamment dans cette catégorie la présentation de projets nationaux d'expérimentation et d'intégration du calcul formel (comme les projets français et autrichien), ou de projets de refonte curriculaire sous l'influence du calcul formel. D'autres articles présentent des innovations plus locales : essai d'introduction à un niveau donné et réactions des élèves, essai de mise en place d'un examen avec calcul formel. Dans un cas, l'article présente de façon intéressante l'évolution d'une situation dans diverses modalités : papier/crayon, calcul formel sur une séance, calcul formel sous forme de problème long.

Parmi les treize articles « innovation argumentée », trois concernent l'enseignant : ils s'attachent à présenter et à justifier des modalités de formation.

C. Les articles centrés sur des hypothèses d'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage

Dix-huit articles rentrent dans cette catégorie et posent clairement des hypothèses d'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage. Nous les avons répartis en deux sous-catégories, suivant la nature des hypothèses faites.

Hypothèses générales et faible validation empirique

Huit articles émettent des hypothèses générales sur les apports d'un logiciel de calcul formel, dans des domaines tels que « la compréhension, la conceptualisation, la résolution de problèmes… », soulignant notamment que l'usage du logiciel doit donner la possibilité de consacrer plus d'attention à « la modélisation, et l'interprétation des résultats ». Souvent, l'apport du logiciel est vu comme une sorte de « remédiation », une solution au problème « du niveau des étudiants », « des connaissances insuffisantes » ou « des difficultés algébriques ». Un auteur synthétise ces deux dimensions en soulignant qu'il attend du logiciel une « aide aux apprentissages conceptuels particulièrement pour les élèves faibles ».

Dans ces articles, la confirmation empirique de ces hypothèses est souvent, selon les caractérisations des fiches de lecture « faible », « informelle » ou « subjective et anecdotique », ce qui n'empêche pas la conclusion d'être en général enthousiaste. Dans la tradition des innovateurs, un auteur réfute un à un des arguments qu'il suppose être ceux des « anti-calcul formel ».

Hypothèses plus spécifiques et validation externe

Dix articles émettent des hypothèses plus spécifiques. Elles concernent respectivement une ou plusieurs des dimensions suivantes:

- L'amélioration des résultats des élèves ou étudiants : capacités de résolution de problèmes, habilité dans les calculs…,
- Des évolutions positives de conceptions,
- Une amélioration des attitudes vis à vis des mathématiques,
- Un changement du type d'enseignement dans la classe.

Ces hypothèses sont ensuite testées par la mise en place d'un cursus modifié, notamment par l'introduction du calcul formel. Dans les cas où les hypothèses portent sur les élèves ou étudiants, les articles comparent les étudiants ayant suivi ce cursus avec un groupe de contrôle (il s'agit donc d'une validation externe). Il arrive que l'évaluation statistique qui accompagne la comparaison ne soutienne pas ou soutienne faiblement les hypothèses. De plus, pour les articles qui constatent des améliorations, l'interprétation des résultats est souvent discutable. C'est le cas quand, par exemple, le ou les auteurs font passer un examen standard à un groupe expérimental utilisant une calculatrice dotée de calcul formel et en déduisent des améliorations sur le plan conceptuel, alors que rien ne permet d'inférer que les connaissances ayant permis une meilleure réussite sont réellement de nature « conceptuelle ».

Dans les articles où les hypothèses portent sur le type d'enseignement, l'auteur utilise généralement des indicateurs tels que le temps « magistral » et le temps de recherche autonome, pour comparer des observations de classe avec et sans calcul formel. Des changement sont effectivement constatés vers davantage de travail individuel ou par groupes. Mais ces indices sont trop superficiels pour permettre d'apprécier les changements constatés, en termes de qualité de l'activité mathématique des élèves ou de la classe plus globalement.

D. Les articles centrés sur des questions

Trente et un articles posent des questions sur l'utilisation du calcul formel. A la différence des articles de la catégorie précédente, il n'y a pas de présupposition d'apports nécessaires du calcul formel. Les innovations ou expérimentations organisées, ou les exemples d'utilisation cités, viennent ici aider à examiner les questions à l'étude. Ils ne sont pas présentés pour eux-mêmes, comme c'était le cas dans la catégorie des innovations argumentées déjà citée. Encore

une fois, nous les avons séparés en catégories en fonction des types de questions étudiées, obtenant ainsi six catégories.

Exploration de questions générales

Les questions peuvent être générales, et alors l'article les explore plus qu'il n'y répond :

- limites et contraintes du calcul formel,
- problèmes posés à l'enseignement par l'intégration du calcul formel : curriculum, compréhension, examens,
- modes de pensée favorisés par le calcul formel,
- méthodes à donner aux étudiants pour qu'ils comprennent les résultats donnés par le CAS,
- tâches pour lesquelles l'outil est utile,
- procédures d'utilisation,
- problèmes de conception du produit et de l'interface,
- conception des manuels, formation des maîtres

Questions théoriques sur l'utilisation du calcul formel

Des questions générales sont parfois spécifiées par des approches théoriques portant sur :

- les rapports entre culture et cognitif,
- l'interaction de registres sémiotiques.

Un article critique de façon intéressante des théories développées spécifiquement à propos du calcul formel (théories de la « Boîte Blanche » et de la « Boîte Noire »)[6].

Questions sur les élèves

Quatre articles spécifient les questions en fonction des élèves ou étudiants :

- utilisation de DERIVE comme outil de diagnostic et de remédiation des difficultés,
- exploitation des bases apportées par l'usage du calcul formel dans les apprentissages ultérieurs,
- difficultés d'élèves utilisant DERIVE, liées à l'implémentation et au manque de maturité mathématique des élèves,
- attitudes différentes vis à vis du calcul formel et d'autres logiciels.

Questions sur l'enseignant

Trois articles analysent les comportements ou difficultés des enseignants, leur aptitude à intégrer les nouvelles technologies.

Questions sur l'instrument

Deux articles situent leur questionnement par rapport à l'instrument lui-même, s'interrogeant sur l'interface ou les pratiques de calcul favorisées par le calcul formel.

---

[6] Le logiciel fonctionne comme une boîte noire si on l'utilise pour produire des résultats, sans s'interroger sur leur mode de production, comme boîte blanche dans le cas contraire. Une question souvent posée à propos de l'usage de ces logiciels dans l'enseignement est celle du moment adéquat d'intervention dans l'apprentissage : dès le début, dans un fonctionnement de type boîte noire ou seulement quand les concepts commencent à être maîtrisés et que l'on peut s'appuyer sur cette maîtrise pour donner sens, piloter, contrôler l'action instrumentée.

Questions sur les situations d'utilisation

Douze articles posent des questions à partir de situations d'utilisation. Ces questions peuvent être plus ou moins spécifiées :

- intérêt de l'utilisation de la définition explicite des fonctions par comparaison avec l'utilisation d'autres commandes,
- problèmes posés par l'existence de deux groupes d'élèves dans la classe, les uns ayant DERIVE à la maison et les autres non,
- facteurs influençant la résolution de problèmes non standard avec le calcul formel,
- comparaison de procédures avec différents logiciels pour une tâche donnée,
- évaluation d'un enseignement spécifique,
- modifications apportées à la « structure didactique des leçons »,
- rôle du calcul formel dans les examens.

E. L'intégration

La dernière grande classe de problématiques porte sur l'intégration du calcul formel dans l'institution scolaire. Elle s'intéresse à l'utilisation du calcul formel dans les pratiques quotidiennes de l'enseignement et de l'apprentissage des mathématiques, sur un temps suffisamment long. Plus que sur les apports du calcul formel, ces problématiques portent sur la capacité « écologique » du calcul formel à exister dans ces pratiques. La méthode consiste à confronter l'analyse a priori du calcul formel et de ses potentialités avec les données recueillies au cours d'expérimentations « en vraie grandeur ».

La problématique de l'instrumentation est présente également, pour interroger l'intégration du point de vue de l'élève.

F. Conclusion : des apports et potentialités aux conditions de viabilité, un large éventail de problématisations

Les présentations purement techniques du calcul formel et de ses utilisations possibles sont nombreuses. Les allusions qui y sont faites à l'utilisation par les élèves et les présentations d'enseignement sont le plus souvent très optimistes quant aux apports du calcul formel. Dans certains cas cependant, une analyse technique du calcul formel et de ses spécificités peut conduire à mettre l'accent sur la nécessité d'une formation spécifique des élèves et des enseignants.

Les articles présentant des innovations sont plus argumentés que réellement problématisés, et leurs validations empiriques sont parfois faibles. Cependant, certains de ces articles peuvent rapporter de façon intéressante des expériences prolongées d'utilisation du logiciel avec les élèves.

Quand les articles comportent réellement des hypothèses, celles-ci portent très souvent sur les apports supposés du logiciel. Des hypothèses très générales sur les apports à la conceptualisation et à la remédiation des difficultés des élèves donnent souvent lieu à des conclusions enthousiastes, mais non appuyées sur une méthodologie solide. En spécifiant mieux les apports du calcul formel qu'ils supposent, certains articles donnent un statut d'hypothèse de recherche à ces apports. Généralement, la méthodologie est comparative. On peut cependant assez souvent s'interroger sur l'interprétation que l'article fait des résultats de la comparaison d'un groupe utilisant le calcul formel et d'un groupe de contrôle.

Davantage d'articles partent de questions, plutôt que d'hypothèses, ce qui est tout à fait compréhensible vu l'état de développement du champ. C'est déjà reconnaître que l'utilisation du calcul formel ne va pas de soi. Il y a alors un éventail important de champs de questions. Les questions les plus générales trouvent peu de réponses. Des questions plus précises sur les élèves, sur les enseignants, sur l'instrument ou sur des situations d'utilisation spécifiques permettent mieux d'aborder la réalité des utilisations. Les questions sur les théories susceptibles d'aider à analyser les situations d'utilisation du calcul formel existent aussi. Un champ nouveau mais important nous semble enfin celui de l'intégration du calcul formel. La question posée est alors plus globalement celle de la viabilité du calcul formel dans l'enseignement et non plus celle de ses seules potentialités.

II.2 Les cadres théoriques

Le repérage des cadres théoriques dans les travaux répertoriés n'a pas été toujours facile. En effet, dans beaucoup de publications, ces cadres ne sont pas présentés de façon explicite, les auteurs se bornant à citer un certain nombre de travaux sur lesquels ils s'appuient ou à évoquer certains concepts sans les insérer nécessairement dans une structure théorique explicite et cohérente. L'extrait de fiche reproduit ci-dessous, correspondant à un article portant sur l'analyse comparée de logiciels dynamiques, en est un exemple typique :

« Cadre théorique non explicite mais références à la transposition informatique (Balacheff), à la géométrie dynamique (Goldenbberg & Cuoco), à la notion de micro-monde (Papert), à la distinction dessin/figure (Parzysz), enfin à la dimension expérimentale de l'activité mathématique (Laborde) »

Au niveau de l'analyse, ceci oblige donc le chercheur, et plus globalement l'équipe en charge de cette catégorie, à faire un certain nombre d'inférences, en s'appuyant sur leur connaissance personnelle des travaux cités**.** Le codage qui précède est ainsi parfaitement clair pour un didacticien des mathématiques familier des travaux de géométrie dynamique, mais sans doute relativement abscons pour quelqu'un qui ne partagerait pas cette culture.

Il ressort cependant de l'analyse quelques caractéristiques principales autour desquelles nous allons organiser la synthèse.

A. L'éclatement des outils théoriques mobilisés mais aussi l'existence d'unités théoriques locales qui semblent se constituer autour de domaines, de champs disciplinaires et de références culturelles partagées

Ce qui frappe le chercheur en premier lieu quand il recense les cadres et outils théoriques mentionnés ou utilisés dans les travaux du corpus, c'est l'extrême diversité de ces outils, même lorsque l'on se limite à un domaine mathématique ou à un type de matériel particulier.

Nous illustrerons ce premier point en nous appuyant sur l'analyse d'un sous-corpus particulier, celui concernant la géométrie. Comme dans l'ensemble du corpus, les cadres théoriques n'y sont pas toujours aisément identifiables, en particulier dans les articles qui concernent des descriptions d'activités ou de logiciels, quelque peu apologétiques de ce logiciel ou de ces activités. On retrouve aussi la tendance générale à l'évocation de cadres théoriques ou plus simplement de concepts, s'apparentant plus à une invocation qu'à une réelle utilisation. C'est le cas par exemple des références fréquemment faites au constructivisme, ou à l'approche vygotskienne et au concept de zone de développement proximal. C'est aussi le cas, dans certaines publications, pour le concept de transposition informatique introduit par Balacheff (1994), mentionné sans que les processus de transposition correspondants soient véritablement analysés.

Néanmoins, on voit émerger un certain nombre de cadres et d'outils théoriques faisant l'objet d'une réelle élaboration et utilisation. Certains d'entre eux se sont constitués indépendamment des travaux relatifs aux TIC mais sont retravaillés dans ce nouveau contexte. C'est le cas en particulier des outils théoriques suivants.

- La notion de schème au sens piagétien du terme, éventuellement insérée dans la théorie des champs conceptuels développée par Vergnaud (1991).
- La distinction dessin / figure, fondée sur une analyse en termes de signifiant, signifié, référent, centrale dans un certain nombre de travaux de didactique de la géométrie (cf. par exemple Parzysz (1988)). Elle est raffinée dans certaines publications relatives à la géométrie dynamique, en prenant en compte les nouvelles représentations sémiotiques que ces environnements produisent et les caractéristiques spécifiques des objets géométriques sous-jacents du fait de la transmutation informatique. D'où par exemple les notions de « cabri-dessins » et « cabri-figures ».
- La notion de registre sémiotique et les outils d'analyse associés avec, pour ce qui est en particulier de la littérature française, des références très fréquentes aux travaux de Duval (1995).
- La théorie des situations didactiques développée par Brousseau (cf. (Brousseau, 1997) pour une vision synthétique) est une référence générale également très présente dans les travaux des didacticiens français pour ce domaine, notamment dans les publications référant à des travaux d'ingénierie didactique. Son exploitation vise en particulier à élucider les caractéristiques des « milieux » intervenant dans des situations a-didactiques en environnement informatique, en termes de possibilités d'actions et de rétroactions offertes à l'élève, et éventuellement à comparer ces caractéristiques avec celles des milieux intervenant dans l'enseignement de la géométrie dans des environnements plus traditionnels, pour étudier les potentialités spécifiques des environnements informatiques pour l'apprentissage.

D'autres cadres et outils théoriques se sont constitués en liaison avec les recherches sur les TIC. C'est en particulier le cas pour les outils suivants :

- La notion « d'outil cognitif » au sens de Pea (1985, 1995) et, par là-même, la réorganisation conceptuelle impliquée par l'usage de ces outils. On notera cependant que la notion d'instrumentation, a priori relativement proche, n'intervient pas dans les articles de ce sous-corpus de géométrie.
- Les notions de « situated abstraction » et de « webbing » que l'on trouve dans les articles de Hoyles et Noss (cf. (Noss et Hoyles, 1996) pour une présentation détaillée) et qui sont reprises par des chercheurs proches. Ces notions théoriques ont été développées suite aux multiples observations, faites par ces auteurs, d'élèves confrontés à des tâches diverses sur ordinateur (en particulier dans l'environnement du micro-monde Logo) pour rendre compte de certaines spécificités constatées des pratiques mathématiques, et par voie de conséquence des processus d'apprentissage, dans ces environnements logiciels. Il ne fait pas de doute cependant que l'on retrouve dans cette théorisation une influence certaine du courant influent dans le monde anglo-saxon de la cognition située (Kirshner, Whitson, 1997) et sa sensibilité à la contextualisation des connaissances. Cette sensibilité, dans la littérature didactique française par exemple, s'exprime plutôt à travers les notions issues de la théorie des situations didactiques et notamment les analyses en terme de « milieu a-didactique » ci-dessus mentionnées.
- La notion de micromonde, plus employée de façon affaiblie qu'à son sens original, la distinction tuteur/micromonde.

- Le cadre enfin de la « géométrie dynamique » en tant que domaine des mathématiques et domaine de pratiques, spécifique de ce sous-corpus. Il s'agit d'un cadre dont la théorisation est en chantier, comme l'attestent un certain nombre de publications, notamment celles portant sur le logiciel Cabri-géomètre, mais qui déborde largement les seuls travaux associées à Cabri-géomètre, vu la multiplication internationale ces dix dernières années des logiciels de ce type.

Mais, quand on cherche à relier cadres théoriques et travaux, on ne peut manquer de noter que ces cadres théoriques restent encore très liés à des personnes et aux communautés auxquelles elles se rattachent, souvent de manière très locale. De manière plus générale, on retrouve cette diversité d'approches théoriques dans les différents domaines mathématiques que nous avons considérés. Cette variable, pas plus que la variable « matériel », comme le montre l'exemple des publications portant sur les calculatrices analysé ci-après, ne semble pouvoir fonder à elle seule une unité théorique. La constitution d'une unité théorique nécessite, nous semble-t-il, dans l'état présent du domaine, la conjugaison de plusieurs convergences : le domaine mathématique, le type de matériel concerné, le champ disciplinaire de recherche ; les travaux français de recherche didactique en géométrie concernant les logiciels de géométrie dynamique en constituent un bon exemple. L'éclatement qui résulte de cet état de fait n'aide ni à la comparaison, ni à la capitalisation des résultats obtenus ; en ce sens, il fait sans doute obstacle à la définition d'une problématique de l'intégration.

B. La domination au sein des cadres théoriques invoqués ou utilisés d'approches essentiellement cognitives.

La seconde tendance générale que nous souhaitons mentionner est celle de la domination, au sein du corpus, d'approches essentiellement cognitives. Nous illustrerons cette tendance générale, une fois de plus, en nous appuyant sur un sous-corpus, constitué cette fois autour d'un type de matériel : les calculatrices, et en répertoriant les cadres théoriques qui y interviennent. Nous ne reviendrons pas sur le caractère souvent peu explicite et peu effectif de ces cadres théoriques : cette caractéristique est tout aussi présente dans ce sous-corpus que dans le reste du corpus. La façon même dont nous nous exprimons dans ce qui suit, en termes souvent d'approches, d'idées, faute de pouvoir parler véritablement de concepts et de cadres théoriques, le montre bien.

Comme dans les publications relatives à la géométrie, on trouve à la fois des cadres théoriques qui se sont développés indépendamment de la recherche sur les TIC et sont ré-exploités dans ces dernières, et des constructions plus spécifiques. Soulignons aussi que les possibilités graphiques des calculatrices induisent une attention toute particulière aux questions d'articulations entre différents types de représentation et de visualisation. On verra cependant, dans ce qui suit, que les mêmes questions sont souvent abordées avec des outils théoriques très divers, la lecture de l'ensemble des travaux laissant finalement ici aussi une impression d'éparpillement théorique.

Ainsi, sur un plan cognitif général, on retrouve très présente, comme c'était prévisible, l'approche constructiviste de la construction des connaissances, qui a dominé le champ de l'éducation mathématique ces trente dernières années, ainsi que des références aux théories vygotskiennes, en particulier en ce qui concerne les relations dialectiques entre le geste et la pensée, l'influence des instruments matériels et symboliques de l'activité mathématique sur l'apprentissage, des références elles aussi tout à fait prévisibles vu l'évolution globale du champ vers des approches plus socio-culturelles. Au sein des publications françaises, ceci se conjugue avec des références à la théorie des champs conceptuels de Vergnaud déjà citée, notamment avec l'utilisation de la notion de théorème-en-actes, alors que dans les travaux

d'obédience anglo-saxonne, ce n'est pas le cas. Ainsi, par exemple, Schwarz & Dreyfus réfèrent à Greeno (1991) pour soutenir l'hypothèse que l'acquisition de concepts est liée aux actions sur les objets et à l'identification d'invariants à travers ces actions (cf. le champ de la cognition située déjà cité). Ils se positionnent aussi explicitement hors du cadre de la théorie des situations didactiques déjà citée et très présente dans les travaux de recherche français de ce sous-corpus aussi. Dans d'autres travaux, c'est la référence à des notions comme celle de " procept " due à Tall (1996), et visant la prise en charge théorique des rapports dialectiques entre la dimension " processus " et la dimension " objet " de chaque notion mathématique qui apparaît comme centrale. Ceci n'est pas non plus surprenant si l'on considère l'importance des théories basées sur la distinction « processus/objet », souvent qualifiées de théories de la « réification » dans les travaux de nature cognitive concernant l'algèbre et les fonctions, particulièrement bien représentés dans ce sous-corpus, vu le matériel considéré.

En ce qui concerne le travail sur les représentations, on note, partagée internationalement, la référence à Janvier (1978), dont la thèse dans le domaine des représentations externes en mathématiques a eu un rôle pionnier. Les notions de « cadre », et « jeux de cadres », introduites par Douady (1987), interviennent aussi comme référence théorique dans ce domaine, en particulier dans les travaux sur les fonctions, et ceci au-delà de la seule communauté française de recherche (cf. par exemple le travail déjà cité de Schwarz et Dreyfus). Elles sont associées à l'hypothèse que l'environnement technologique permet de sortir de l'activité traditionnelle en classe, souvent mono-cadre, pour promouvoir des interactions entre cadres fructueuses en terme d'apprentissage.

La référence à la notion de registre sémiotique, et en particulier aux travaux de Duval déjà cités, associée à l'hypothèse que la conceptualisation mathématique passe par la capacité à différencier un concept de ses diverses représentations sémiotiques et qu'elle nécessite un travail spécifique sur l'articulation de ces registres peu réalisé en environnement traditionnel, est particulièrement présente dans les travaux français. On retrouve cependant des préoccupations théoriques analogues**,** bien qu'exprimées dans un langage différent et avec des théorisations souvent moins élaborées, dans divers des travaux de ce sous-corpus. Compte-tenu du matériel considéré, ce sont les interactions entre registres sémiotiques associés aux représentations graphiques, aux expressions algébriques et, dans une moindre mesure, aux tableaux numériques, qui sont privilégiées.

Qu'il s'agisse de cadres ou de registres, il est généralement fait l'hypothèse que les calculatrices peuvent favoriser un travail sur l'articulation, mais des divergences se manifestent sur la question de savoir si le travail multi-registres ou multi-cadres dans ces environnements demande ou non un apprentissage spécifique, ainsi que sur l'appréciation de la difficulté éventuelle de ces apprentissages.

Certaines approches théoriques sont également organisées autour de la dimension « expérimentale » des mathématiques, dont les auteurs font l'hypothèse qu'elle se trouve favorisée par le travail avec les calculatrices et est une manière d'accéder au « sens » en mathématiques, cette accession au sens étant considérée comme fondamentale (cf. par exemple les publications de Gasquet et Trouche analysées). Ces approches sont elles aussi associées à des outils théoriques divers et, en particulier, dans certains travaux français, via des références aux travaux épistémologiques de Lakatos (1976), à la dialectique des preuves et réfutations.

Enfin, soulignons, en ce qui concerne les approches théoriques les plus fréquentes, une prise en compte croissante au niveau international du caractère contextuel des connaissances construites par les élèves dans ces environnements, comme le montrent les publications sélectionnées de Noss, Bellemain & Capponi, Schoenfeld et Yerushalmy ; mais ceci aussi

s'exprime, suivant les auteurs, comme dans le domaine géométrique, dans des constructions théoriques diverses.

Nous avons présenté ci-dessus les cadres et approches théoriques les plus présentes dans ce sous-corpus consacré aux calculatrices. La centration sur le cognitif et la diversité des formes sous lesquelles s'exprime cette centration est déjà patente. Mais on trouve également d'autres cadres théoriques intervenant plus ponctuellement et, dans ces derniers aussi, la centration cognitive est forte. Nous en faisons la liste ci-après.

- Référence aux cadres théoriques construits en ergonomie cognitive pour l'analyse des processus d'instrumentation, en référence notamment aux travaux de Rabardel (1996) s'appuyant eux-mêmes sur les travaux déjà cités de Vergnaud et ceux de Vygotski. Cette référence est présente dans les publications de Guin & Trouche, qui essaient de mettre ce cadre en relation avec les approches développées par ailleurs sur les contraintes des dispositifs informatiques dans le cadre de l'étude de la transposition informatique.

- Référence, sur un plan épistémologique, à la théorie des « obstacles épistémologiques » due à Bachelard (1938) et importée par Brousseau dans le champ didactique. On trouve cette référence chez Trouche et des préoccupations voisines chez Monaghan qui s'appuie, quant à lui, sur la problématique des « obstacles inévitables » de Davis et Vinner.

- Référence à un cadre théorique philosophique chez Dörfler qui réfère à Wittgenstein (1984) et à la théorie de la pensée fictive développée par Vaihinger (1986).

- Référence à la notion de « réorganisation cognitive » chez Guin et Trouche, associée à l'hypothèse que les réorganisations cognitives ne sont pas spontanées, hypothèse que l'on retrouve aussi chez Dorfler, Ruthven et Chaplin, références aussi aux approches en termes de « métaconnaissances » développées dans le domaine de l'intelligence artificielle (Pitrat, 1990), dans celui de la didactique des mathématiques (Robert & Robinet, 1996) et en psychologie cognitive (Houdé, 1995).

En ce qui concerne plus précisément la problématisation des questions de visualisation, la même diversité est à l'œuvre même si l'on peut noter des évolutions convergentes. Dans l'ensemble, il semble en effet que l'on assiste à un discours de moins en moins idyllique sur l'effet cognitif des images produites par les ordinateurs : non seulement en France, mais également à l'étranger, il y a une prise de conscience certaine de la complexité des processus en jeu dans la visualisation.

- Ainsi l'hypothèse du caractère « productif » du graphique comme support du formalisme mathématique est encore très présente au niveau international mais Tall reconnaît explicitement avoir pris conscience ces dernières années que les images finies des ordinateurs ne permettent pas de motiver les étudiants à accéder aux mathématiques formelles.

- De même Trouche, dans l'analyse des rapports avec l'outil de calcul, insiste sur la distance nécessaire à établir avec l'observation première et avec l'image, mais en se référant pour sa part, respectivement pour ces deux points, aux travaux de Bachelard (1938) de Debray (1992).

- Dörfler, de son côté, pour étudier les relations entre visualisation et images mentales fait référence à la théorie des « schéma image » (Johnson, 1987), tout en soulignant que les visualisations permises par la technologie ne favorisent pas de manière naturelle la compréhension du discours mathématique, tandis que Yerushalmy réfère à Kaput

(1992) pour défendre la thèse que la technologie rend tangible les entités mentales en les traitant comme des objets virtuels.

C. L'émergence et la montée en puissance de nouvelles approches théoriques

L'évolution des cadres théoriques que nous mentionnons ici n'est sans doute pas propre aux travaux sur les TIC. Elle rejoint une évolution générale des travaux en didactique des mathématiques et en intelligence artificielle, elle est sans doute influencée par cette dernière. Ainsi il nous semble que les perspectives cognitives qui ont marqué jusqu'à ces dernières années les recherches sur les TIC s'intègrent de plus en plus dans des perspectives plus larges, prenant mieux en compte la dimension sociale et culturelle du rapport aux TIC, des apprentissages visés via leur utilisation et de leur intégration au système éducatif. Dans les travaux de didactique français par exemple, ceci se traduit par une référence croissante à la théorie anthropologique développée par Chevallard (1992) et aux notions définies dans son cadre (notions de rapports institutionnels et personnels, dialectique entre ostensifs et non ostensifs de l'activité mathématique…). La sensibilité à la dimension instrumentale et sémiotique de l'activité mathématique, très sensible dans ces approches, s'accroît fortement, tout en prenant encore une fois suivant les auteurs des formes variées. Un accent croissant est également mis sur la modélisation de la communication homme / machine, ceci étant particulièrement prégnant dans certains travaux issus de laboratoires d'informatique. Enfin, au-delà des relations élèves - savoir médiatisées par l'environnement informatique, on note une meilleure prise en compte de l'enseignant, à la fois en termes de représentation et de médiations.

L'ouvrage récemment publié par Noss et Hoyles (1996), sélectionné dans ce second corpus, nous semble particulièrement représentatif de ces nouvelles tendances et de la forme que peut prendre l'évolution, chez des chercheurs de culture anglo-saxone qui ont commencé leur travail dans ce domaine dans l'environnement du micro-monde LOGO. Deux concepts organisent le cadre théorique de Noss et Hoyles : le « webbing » (maillage) et « l'abstraction située» que nous avons déjà évoqués dans la partie précédente. Le « webbing » articule des objets mathématiques, des entités matérielles de référence et des situations constitutives de l'expérience personnelle. L'idée de « webbing » associe ainsi ce qui est en propre au sujet, et ce qui est attaché à son environnement et aux relations qu'il entretient avec cet environnement. Le « webbing » constitue une structure sur laquelle l'apprenant peut s'appuyer et dans le cadre de laquelle il peut reconstruire le sens d'une notion mathématique. Une abstraction située est la façon dont un élève construit une idée en s'appuyant sur le « webbing » permis par un contexte particulier ; contexte qui, en retour, façonne les idées qui sont exprimées. Les auteurs affirment que, de la même façon que les mathématiciens construisent un cadre linguistique pour créer de nouvelles significations sur lesquelles ils peuvent construire de nouvelles expressions, de nouvelles relations, les élèves devraient avoir la possibilité de faire cette expérience de l'abstraction au sein d'un domaine.

Ces concepts trouvent à s'employer dans l'analyse de situations où un travail sur des expressions du langage informatique LOGO est combiné à d'autres types de tâches, sur ordinateur et en papier/crayon. Par exemple, dans l'exemple d'une situation d'apprentissage de la proportionnalité (p. 75), Noss et Hoyles montrent comment le pouvoir d'expression du langage informatique intervient dans l'élargissement des conceptions des élèves liées aux structures multiplicatives : les élèves agissent sur des procédures LOGO pour maintenir une relation de proportionnalité, et la prise de conscience liée à cette action leur donne un moyen d'exprimer ces relations, moyen auquel ils peuvent se référer, y compris dans les activités sans ordinateur. L'environnement informatique offre ainsi plus qu'une contrainte sur l'action :

il est un moyen par lequel l'expérience mathématique peut être partagée ; il agit comme médiateur de l'interaction avec le monde et avec la société.

La notion de " webbing " est explicitement référée à celle d'étayage de Bruner (1983) à laquelle réfèrent divers autres articles et à la zone proximale de développement de Vygotsky. Elle est aussi à mettre en relation avec les approches qui voient, plus largement, la médiation dans les potentialités nouvelles qu'un instrument offre à l'action de l'être humain, potentialités qui influencent fortement l'activité de l'utilisateur et, par conséquent, ses conceptualisations.

III. UN PREMIER BILAN : LA MULTIDIMENSIONNALITE NECESSAIRE D'UNE PROBLEMATIQUE DE L'INTEGRATION

Un certain nombre de perspectives se dégagent, nous semble-t-il, des analyses qui précèdent quant à la définition d'une problématique de l'intégration. Les deux corpus sélectionnés, même s'ils ne peuvent prétendre ni à l'exhaustivité, ni à une parfaite représentativité de la littérature récente dans ce domaine, nous permettent d'appréhender la diversité des travaux dans le domaine, les interrogations plus ou moins explicites qui les traversent, les notions et cadres théoriques qui ont été développées ou adaptées pour approcher ces interrogations. Ils nous permettent aussi d'appréhender, même si nous nous sommes limités à une période relativement brève, des évolutions particulièrement utiles à recenser et analyser dans une telle recherche.

Une première évolution peut être située sur un axe opposant l'enthousiasme naïf à la reconnaissance de la complexité des questions liées aux TIC au sens large

Considérons un seul exemple pour l'illustrer : celui de la visualisation et des rapports au perceptif. Quels que soient le domaine mathématique ou le matériel utilisé (logiciels de géométrie, calculatrices graphiques, logiciels de calcul formel…), on note, même s'il existe des décalages, des évolutions convergentes, avec :

- un premier état où les potentialités de la technologie en termes de visualisation sont mises en exergue, illustrées par des exemples souvent judicieux et variés mais où ses potentialités réelles pour l'apprentissage dans le cadre d'une gestion scolaire ne sont pas questionnées, où les rapports entre perception et conceptualisation semblent transparents,
- un second état où les données d'observation conduisent à prendre conscience de décalages, de difficultés et donc à interroger cette transparence mais souvent en termes d'opposition entre le pôle perceptif et le pôle conceptuel,
- un troisième état, enfin, où les rapports entre ces deux pôles sont perçus de façon plus complexe, mettant en jeu une dialectique de la perception et de la conceptualisation dont le développement ne va pas de soi et doit être pris en charge par l'enseignement si l'on veut que les potentialités a priori de l'environnement technologique servent réellement l'apprentissage.

Une sensibilité accrue aux questions de contextualisation des connaissances

Cette sensibilité se manifeste elle aussi de façon transversale, même si elle est prise en compte suivant les auteurs et leurs cultures de façon différente, par exemple dans le cadre théorique de la cognition située ou dans celui de la théorie des situations didactiques. Cette sensibilité à

la contextualisation conduit à s'interroger, dans le domaine précis qui nous intéresse, sur les connaissances mathématiques susceptibles d'être construites dans l'action et dans les pratiques technologiquement instrumentées, sur les caractéristiques propres de ces connaissances, compte-tenu de la transmutation informatique des savoirs, compte-tenu des caractères spécifiques de l'activité instrumentée. Elle conduit donc aussi à s'intéresser aux rapports entre ces connaissances et celles traditionnellement visées par l'apprentissage, sur compatibilités et décalages, sur les moyens d'établir les connexions nécessaires, voire de les gérer institutionnellement.

Une sensibilité croissante aux questions d'ordre sémiotique, notamment aux problèmes d'interactions entre représentations sémiotiques

Cette sensibilité est particulièrement forte ici car les technologies envisagées permettent justement, par rapport aux technologies usuelles de l'enseignement, une diversification des modes d'expression sémiotique, et des connexions rapides et nouvelles entre ces différents modes. Elle s'exprime elle aussi de façon différente suivant les auteurs, mais avec des articulations sans doute plus faciles à effectuer entre cadres théoriques et questionnements que pour la question de la contextualisation.

Une sensibilité croissante aussi aux questions d'instrumentation

Cette dimension de l'évolution n'est bien sûr pas indépendante de ce qui précède mais elle est visible en premier lieu dans l'étude d'environnements technologiques comme ceux du calcul formel, non conçus a priori pour l'enseignement des mathématiques**,** mais que ce dernier s'est approprié. Il en résulte des problèmes spécifiques, en termes d'apprentissages instrumentaux jusqu'alors peu travaillés dans la littérature didactique**,** et que les outils développés jusqu'ici pour prendre en charge la dimension sémiotique de l'activité mathématique ne suffisent pas à prendre en charge.

Une prise de conscience croissante de la complexité du rôle de l'enseignant et de l'inadéquation des pratiques usuelles de formation

Cette évolution peut être liée à l'évolution générale des approches didactiques qui conduisent à des modélisations plus complexes de l'enseignant que celles initialement associées aux approches constructivistes, et au développement relativement récent de recherches plus centrées sur l'enseignant, ses croyances et ses pratiques, ainsi que sur la formation des enseignants et ses effets. Les travaux menés dans cette direction sont encore peu nombreux mais présentent une vision critique des pratiques de formation usuelles liées aux TIC et cherchent, via des innovations argumentées, à développer des stratégies répondant mieux aux besoins de formation identifiés.

Nous avons souligné dans ce chapitre la prééminence du cognitif dans les cadres théoriques répertoriés. Quelle que soit cette domination du cognitif, il nous semble aujourd'hui de plus en plus clair, au vu de cet ensemble de travaux, des résultats qu'ils ont produits mais aussi des limites que nous y percevons, qu'une problématique de l'intégration ne peut se constituer au seul sein du cognitif. La prise en compte des contraintes des systèmes didactiques, leur capacité à ménager un espace viable aux TIC**,** et la recherche des conditions de cette viabilité, du niveau institutionnel global au niveau local des situations de classe, nous semble indispensable. Même si, dans le corpus constitué, les préoccupations de cette nature et les résultats y afférant sont bien moins présents, les travaux recensés proposent des pistes

intéressantes. Ils les proposent cependant de façon multiforme et éclatée. Ceci nous impose la recherche d'une cohérence qui transcende les différentes approches et arrive à rendre compte, de façon opératoire, de ce qui nous semble essentiel à l'issue des analyses.

C'est ce qui nous conduit à envisager, pour la suite de la recherche, une approche multidimensionnelle de l'intégration organisée autour des entrées suivantes :

- Entrée épistémologique
- Entrée cognitive
- Entrée sémiotique
- Entrée instrumentale
- Entrée interaction Homme / Machine
- Entrée situationnelle
- Entrée institutionnelle et anthropologique
- Entrée enseignant

Ces entrées ne sont bien sûr pas à considérer comme indépendantes, mais comme des catégories susceptibles d'aider à approcher la question de l'intégration, sans aucun doute de façon partielle, mais de façon pertinente et avec un bon niveau de cohérence interne. Elles doivent bien sûr être articulées dans la perspective plus globale que nous envisageons et leurs rapports doivent y être conçus de façon dialectique.

CHAPITRE IV

TRAITEMENT QUANTITATIF DU SECOND CORPUS DE PUBLICATIONS

L'analyse qualitative des corpus de publication rapportée au chapitre précédant nous a fait percevoir ce que pourrait être une approche multidimensionnelle de l'intégration des TIC et son intérêt. Dans ce chapitre, nous présentons un traitement quantitatif du second corpus visant à repérer de façon systématique, dans les articles de ce corpus, les dimensions qui constitueraient une telle approche.

Nous faisons l'hypothèse d'une prise en compte différenciée de ces dimensions parmi les publications du corpus, et donc de la possibilité de constituer des classes de publications représentatives d'approches spécifiques de l'intégration des TIC. Il sera ensuite possible de dégager dans ces classes des convergences et des divergences d'approches et de résultats et d'élargir ainsi les perspectives qu'ouvre chaque publication.

Pour cela, nous avons élaboré un questionnaire comportant 96 questions réparties dans les 9 entrées suivantes :

1. Problématique générale : 19 questions
2. Entrée instrumentale : 18 questions
3. Entrée institutionnelle et anthropologique : 12 questions
4. Entrée situationnelle : 15 questions
5. Entrée sémiotique : 3 questions
6. Entrée épistémologique : 6 questions
7. Entrée cognitive : 3 questions
8. Entrée Interaction Homme-Machine : 7 questions
9. Entrée Enseignant : 12 questions

Le questionnaire est présenté dans l'annexe 3.

Le codage de 79 publications à l'aide du questionnaire a été réparti entre les différentes équipes sur les sous-corpus thématiques particuliers à ces équipes.

Montpellier	11 publications codées A10, A14, A15, A18, A26, A27, GF25, GF29, GF31, GF9, GL2
Rennes	21 publications codées F10, C32, F101, F107, F11, F110, F111, F113, F124, F131, F143, F151, F152, F17, F21, F41, F42, F85, F86, F89, Epi10,
Grenoble	24 publications codées G3, G15, G17, G30, G31, G57, G61, G67, G7, G71, G74, G76, G83, G90, G91, G101, G114, G118, G133, G134, GL19, GL34, GL40, GL6

Le Mans	3 publications codées HM1, HM2 et HM3.
Paris (Enseignant)	9 publications codées FE1, FE2, FE3, FE4, FE5, FE6, FE7, FE8, FE9.
Paris (Numérique)	11 publications codées Al 14, Al 28, Al 29, Al 32, Al 5, Al 7, Al 9, C 27, C 8, C10, C11.

Dans la suite de ce chapitre, nous présentons la méthodologie du traitement quantitatif des données recueilles, puis l'interprétation des résultats. Le chapitre se termine par un tableau de synthèse des différentes classes dégagées et de leurs caractéristiques principales.

I. La méthodologie d'analyse statistique

Buts et méthode générale

Il s'agit donc de définir des classes en prenant en compte différentes dimensions d'analyse de l'introduction des TIC dans l'enseignement des mathématiques définies par les catégories de la grille, et au sein de chacune des classes de déterminer des articles centraux. Pour chacune des classes, nous repérerons également les modalités du questionnaire qui ont conduit à sa constitution. Ensuite, pour les articles centraux des classes, il sera possible d'étudier les liens entre ces modalités constitutives et les résultats qui se dégagent de l'article. Caractérisant ainsi une classe comme un mode d'approche de l'introduction des TIC, nous pourrons aussi étudier son intérêt et ses limites. Nous rapporterons ensuite cette analyse aux autres articles de la classe, de façon à en apprécier la consistance.

Données

Les variables de l'analyse statistique sont déterminées à partir du questionnaire. En général chaque variable correspond à une question avec les mêmes modalités, sauf dans le cas de questions pour lesquelles des modalités non exclusives étaient autorisées (3.6, 7.1, 7.2, 7.3, 8.5, 8.6, 8.7, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7, 9.8, 9.10) qui ont été recodées en autant de variables que de modalités. Par exemple, la question 3.6 a pour modalités non exclusives (C, P, E, M). Pour l'analyse statistique, elle est recodée en 4 variables correspondant aux quatre modalités. On obtient ainsi 105 variables.

Les individus sont les 79 publications codées.

Codage

Un premier codage a été réalisé en janvier 2000. Les analyses ont montré que les variations du codage d'un sous-corpus à l'autre introduisaient des biais. Sur la projection selon les deux premiers axes d'une analyse factorielle des correspondances, certains sous-corpus apparaissaient nettement séparés. De même certaines classes obtenues par classification automatique étaient peu différentes des sous-corpus. Nous pouvions certes faire l'hypothèse d'une certaine homogénéité à l'intérieur de chaque sous-corpus, mais ici les « effets codeurs » nous ont paru trop déterminants.

Nous avons fait une analyse fine des modalités des variables déterminant les premiers axes de l'analyse factorielle et les classes de la classification automatique. Elle a montré que les biais pouvaient s'interpréter par les différences de codage suivantes :

1. les questions portant sur les hypothèses d'amélioration de la partie « problématique générale » de la grille. Elles étaient conçues pour distinguer des publications faisant a priori l'hypothèse que la technologie va avoir des effets bénéfiques sur les différentes composantes des situations éducatives (codage A), d'autres publications partant plutôt de l'idée d'effets de la technologie dont on ne peut préjuger le caractère bénéfique (codage

Q). Il est apparu que des publications recherchant des conditions pour que les améliorations généralement associées à l'introduction de la technologie soient effectives pouvaient, selon les codeurs, être codées A (puisque des hypothèses d'amélioration étaient mises à l'épreuve) ou Q (puisque la publication questionnait ces hypothèses).

2. les « réponses manquantes ». Pour une publication et une question données, il est parfois impossible de donner une réponse selon une des modalités prévues dans la grille. Il existe par exemple des questions qui ne supposent de réponse que si une modalité positive a été donnée à une question précédente. D'autres questions ne sont pertinentes que pour un certain type de publication. Par exemple, si la publication ne parle pas du tout de l'enseignant, il n'y a pas de réponse aux questions de la entrée 9. L'analyse que nous avons faite a montré de grandes différences d'un codeur à l'autre, notamment l'usage plus fréquent chez certains de la modalité négative N dans le cas de non pertinence, alors que d'autres laissaient plus facilement la réponse manquante. Nous avons constaté aussi que la réponse manquante pouvait être associée aussi bien à une non pertinence reconnue de la question pour la publication qu'à un doute sur la réponse.

Nous avons repris, dans une réunion d'équipes, la rédaction de ces questions. De façon à homogénéiser le codage et à repérer éventuellement d'autres questions pouvant entraîner des biais de même nature, nous avons repris ensemble le codage de publications choisies pour les difficultés de codage qu'ils avaient suscitées[7].

Concernant les réponses manquantes, nous avons décidé de ne plus les utiliser. Deux modalités ont été ajoutées à chacune des questions :

X : question non pertinente.

? : doute quant à la modalité à choisir.

Les articles ont ainsi été codés une deuxième fois par les différentes équipes en juin 2000, constituant les données définitives.

Modalités retenues pour l'analyse

Comme indiqué plus haut, les questions pour lesquelles des modalités non exclusives étaient autorisées (3.6, 7.1, 7.2, 7.3, 8.5, 8.6, 8.7, 9.5, 9.6, 9.7, 9.8) ont été recodées en autant de variables que de modalités. Les modalités pour les nouvelles variables correspondant aux questions 3.6, 8.5, 8.6, 8.7, 9.5, 9.6, 9.7, 9.8 sont donc O, N et X. Pour les variables 7.1, 7.2, 7.3, l'usage des N et X a été jugé trop hétérogène d'un codeur à l'autre, et donc les seules modalités retenues ont été O et N, les X étant recodés en N. Les autres modalités prévues dans le questionnaire ont été conservées telles quelles. Nous avons obtenu ainsi 105 variables dont voici les libellés et les modalités d'occurrence non nulle.

```
1_1_PRO : N, O.                  7_1_COG_C : N, O
1_2_PRO_SéQUENCE : N, O, X       7_1_COG_S : N, O
1_3_PRO_ARGUM : N, O, X          7_1_COG_SC : N, O
1_4_PRO_FORMéS : N, O, X         7_2_COG_SCHèMES : N, O
1_5_PRO_RAPPORT : ?, A, N, Q, X  7_2_COG_INVAR_OP : N, O
1_6_PRO_RéSULTAT : A, N, Q, X    7_2_COG_PROCEPTS : N, O
```

[7] Nous avons aussi supprimé quelques questions qui ne paraissaient pas essentielles et qui avaient conduit à des divergences de codage. Nous avons néanmoins conservé la numérotation du questionnaire précédent de façon à pouvoir vérifier la cohérence, ce qui explique que la numérotation du questionnaire présenté en annexe 3 n'est pas continue.

1_7_PRO_CONCEPTI : A, N, Q, X
1_8_PRO_REPR_TIC : ?, N, O, X
1_9_PRO_AMéL_ENS : ?, A, N, Q, X
1_10_PRO_ENSEIGN : N, O, X
1_11_PRO_INTéGRA : ?, N, O, X
1_12_PRO_VALID_A : N, O, X
1_13_PRO_VAL_EXP : N, O, X
1_14_PRO_VAL_EXT : ?, N, O, X
1_15_PRO_VAL__IN : N, O, X
1_16_PRO_CONCEPT : ?, N, O, X
1_17_PRO_DIAGNOS : N, O, X
1_18_PRO_ENV_APP : N, O, X
1_19_PRO_REMéDIA : ?, N, O, X
2_1_INS_TEMPS : ?, N, O, X
2_2_INS_TEMPS : +, -, =, P, X
2_3_INS_CONTRAIN : N, O, X
2_4_INS_POT_VISU : N, O, X
2_5_INS_POT_MODé : ?, N, O, X
2_6_INS_PROGRAMM : ?, N, O, X
2_7_INS_DISPOSIT : ?, N, O, X
2_11_INS_DIM_IND : ?, N, O, S, X
2_12_DISPO__OUTI : ?, N, O, X
2_14_INSTRUMENTA : ?, N, O, X
3_1_ANT_NOUV_TâC : N, O, X
3_2_ANT_N_TECHN_ : N, O, X
3_3_ANT_NOUV_CON : ?, N, O, X
3_4_ANT_N_TECH_I : +, ?, O, P, X
3_41_ANT_ARTICU : ?, N, O, X
3_6_ANT_VIAB_C : ?, N, O, X
3_6_ANT_VIAB_P : ?, N, O, X
3_6_ANT_VIAB_E : ?, N, O, X
3_6_ANT_VIAB_M : ?, N, O, X
4_1_SIT_SITU_UTI : N, O, X
4_2_SIT_SITU_TYP : ?, N, O, X
4_4_SIT_MILIEU : ?, N, O, X
4_6_SIT_CONTRAT : ?, N, O, X
4_8_SIT_DéVOLUTI : ?, A, D, N, X
4_10_SIT_CONTENU : ?, N, O, X
4_13_SIT_STRATéG : ?, N, O, X
4_14_SIT_éCONOMI : ?, N, O, X
7_2_COG_APOS : N, O
7_2_COG_OUTILS_C : N, O
7_2_COG__ÉTAYAGE : N, O
7_2_COG__META : N, O
7_2_COG__WEBBING : N, O
7_2_COGN_SITUéE : N, O
7_2_COG_IMAG_MEN : N, O
7_3_COG_VISUALIS : N, O
7_3_COG_EXPRESSI : N, O
7_3_COG_CONNEXIO : N, O
7_3_COG_ACTION : N, O
8_1_ENV_CONCEPTI : ?, N, O, X
8_2_ENV_TYPE_LOG : ?, N, O, X
8_3_ENV_éTUDE_DI : ?, N, O, X
8_4_ENV_OBJECTIF : N, O, X
8_5_ENV_GUIDAGE : N, O, X
8_5_ENV_ACTIVITé : N, O, X
8_5_ENV_RéTROACT : N, O, X
8_5_ENV_AIDE : N, O, X
8_5_ENV_RéCU_ER : N, O, X
8_5_ENV__SUIVI : N, O, X
8_5_ENV_INTéGR_P : N, O, X
8_6_ENV_INTERACT : N, O, X
8_7_CONTEXTE_IND : ?, N, O, X
8_7_CONTEXTE_ACC : ?, N, O, X
8_7_CONTEXTE_CLA : ?, N, O, X
8_7_CONTEXTE_COL : ?, N, O, X
9_1_EFE__CHANG_R : N, O, X
9_2_EFE__DECALAG : N, O, X
9_3_EFE__TRANSFE : A, N, Q, X
9_4_EFE__AN_M : ?, N, O, X
9_4_EFE__AN_EM : ?, N, O, X
9_5_EFE__CHT__M : ?, N, O, X
9_5_EFE__CHT__EM : ?, N, O, X
9_6_EFE__AN__T : ?, N, O, X
9_6_EFE__AN__ET : ?, N, O, X
9_7_EFE__CHT__T : ?, N, O, X
9_7_EFE__CHT__ET : ?, N, O, X
9_8_EFE_FC : N, O, X
9_8_EFE_FI : N, O, X

```
4_15_SIT_CHANG_G : ?, N, O, X
5_1_SéM_REGISTRE : N, O, X
5_2_SéM_PC_TIC : N, O, X
6_1_éPI_ANALYSE_ : N, O
6_2_éPI_TRANSPO_ : N, O, X
6_3_éPI_OBSTACLE : ?, N, O, X
6_5_éPI_PRATIQUE : ?, N, O, X
6_6_éPI_VALIDATI : ?, N, O, X
9_9_EFE__DESCR_A : A, D, X
9_10_EFE_UT_PERS : N, O, X
9_10_EFE_UT_CLA : N, O, X
9_11_EFE__POT_CO : N, O, X
9_12_EFE__TRANSF : N, O, X
```

Traitements

Il s'agit de rechercher, d'abord pour la totalité des variables puis pour chacune des entrées, des partitions dans l'ensemble des articles basées sur la similarité.

Chaque traitement comporte quatre étapes et conduit à une partition.

1. Une analyse factorielle des correspondances multiples est effectuée sur les variables retenues pour l'analyse.
2. Une classification hiérarchique est effectuée sur les coordonnées factorielles issues de cette analyse factorielle. La classification utilise le critère d'agrégation de Ward (consistant à choisir à chaque étape les deux classes à agréger pour augmenter le moins possible l'inertie intraclasses, c'est à dire la somme pondérée des inerties de chaque classe[8]).
3. Une partition est effectuée par coupure de l'arbre de classification hiérarchique puis le logiciel effectue une « consolidation ». Cette opération consiste à faire quelques itérations à centres mobiles, ces centres étant initialement les centres des classes obtenues par coupure de l'arbre. On minimise ainsi encore l'inertie intraclasses.
4. Pour chaque classe de la partition, les modalités les plus représentées dans la classe sont déterminées à l'aide d'un critère statistique. Le pourcentage d'articles de la classe possédant la modalité, rapporté au nombre total d'articles possédant la modalité est calculé (CLA/MOD). Le pourcentage d'articles de la classe possédant la modalité rapporté au nombre d'articles de la classe est calculé (MOD/CLA) de même. Une valeur test (V.TEST) est calculée, faisant intervenir aussi le pourcentage d'articles possédant la modalité dans toute la population et l'effectif de la classe. Sous hypothèse nulle, cette valeur suit la loi normale centrée réduite. Une probabilité d'erreur est ainsi obtenue (PRO). Les modalités considérées comme représentatives sont celles qui ont une probabilité d'erreur inférieure à 0,01.

Nous avons dû faire un choix pour éliminer les biais résultant de pratiques de codage non homogènes d'une équipe à l'autre et pouvant subsister malgré le nouveau codage effectué en juin : ne pas considérer l'entrée 8. Cette entrée « interaction homme-machine » est souvent absente des articles, ce qui entraîne le choix de modalités X, N, ou ?. Le choix de ces modalités nous a paru être très différent d'un codeur à l'autre. Dans le temps dont nous disposions, il n'était pas possible de « réhomogénéiser » les pratiques. Nous avons donc pris la décision de ne pas considérer les variables de cette entrée. Un traitement de cette entrée sur

[8] Les éléments de statistiques sur lesquels sont basés ce traitement sont décrits dans le « Cours de classification » de Gildas Brossier, Université de Rennes, que nous remercions pour son aide au moment du choix du traitement. Il n'existe pas de méthode donnant automatiquement la « meilleure partition » et les conseils d'un statisticien nous ont été utiles pour choisir une méthode et un logiciel adaptés à notre problème.

les articles du sous-corpus « homme machine » aurait certes pu donner des résultats pertinents si ce sous-corpus avait eu un effectif suffisant.

D'autres choix ont porté sur le traitement lui-même.

Le calcul de coordonnées factorielles échoue dans le cas de l'entrée « sémiotique » (qui comporte seulement 3 variables), et donc, il n'est pas possible d'obtenir une classification dans ce cas, c'est pourquoi nous l'avons regroupée avec l'entrée « épistémologie » qui comporte elle aussi peu de variables. La proximité de ces deux entrées en tant que catégories d'analyse du savoir rend pertinent ce regroupement.

Plutôt que de laisser le logiciel déterminer lui-même le nombre de classes de chaque partition en fonction de l'inertie, nous avons choisi d'imposer ce nombre, à partir de l'arbre de classification, de façon à avoir des modalités significatives interprétables dans un maximum de classes.

L'entrée 8 (homme-machine) étant neutralisée et les entrées 5 et 6 (sémiologie et épistémologie) étant regroupées, il y a 8 traitements différents (un sur la totalité des variables et un pour chacune des entrées retenues).

Résultats

L'annexe 3 contient les résultats. On y trouve :

1. La nomenclature des articles (référence, auteur et date, nationalité), la répartition par thème et nationalité.
2. Le graphe factoriel montrant la répartition du corpus sur les deux premiers axes, ainsi que la description des six premiers axes par les modalités les plus représentatives.

Ayant fait le choix d'une analyse classificatoire, nous ne donnons pas d'interprétation de cette étape du traitement. Nous allons néanmoins utiliser les deux premiers axes (ou facteurs) issus de cette analyse afin de rechercher les biais indésirables qu'auraient introduit les différences de pratique de codage dans les différentes équipes. En effet ces deux premiers axes sont déterminés principalement par les réponses X, et ce sont ces réponses sur lesquelles nous avions constaté le plus d' « effets codeurs », déterminant des classes recouvrant les sous-corpus propres à chaque équipe. Les autres axes sont réservés pour une analyse ultérieure.

D'un côté du premier axe, on trouve des modalités X aux 7 premières entrées et des modalités positives à l'entrée 9. De l'autre côté, on trouve des modalités X à cette entrée et des modalités variées aux autres entrées. Cet axe est donc déterminé par la spécificité d'articles portant sur l'enseignant, pour lesquels les autres entrées sont peu pertinentes, qui s'opposent ainsi aux autres articles.

Le second axe oppose des modalités principalement positives à des modalités X ou N dans les six premières entrées. Il oppose donc des articles pour lesquels des modalités positives ont été assez largement choisies, à d'autres pour lesquelles l'usage de X a été privilégié dans les entrées autres que l'enseignant.

Regardons sur le graphe factoriel comment se répartissent les différents articles sur le plan déterminé par ces axes. Les articles les plus excentrés sont d'une part un article codé par Montpellier GL2 et un article codé par Grenoble GL 8 (axe 1 négatif, axe 2 positif) et 6 articles codés par Paris (enseignants) : FE2, FE5, FE6, FE7,FE 8, FE9 (axe 1 négatif, axe 2 négatif).

Un agrandissement sur la zone centrale montre la majorité des articles, sans que des groupements homogènes de sous-corpus apparaissent. Nous considérons par conséquent que la seule anomalie est constituée par le regroupement de 6 articles sur 9 du sous-corpus codé

par Paris (enseignants). Néanmoins, cette anomalie s'explique très bien par la spécificité de ce corpus centré sur l'enseignant, pour lequel les modalités de l'entrée 9 sont le plus souvent pertinentes, à la différence de nombreux articles des autres sous-corpus. Pour ce sous-corpus également, de nombreuses questions d'autres entrées peuvent ne pas être pertinentes.

3. Le tris à plat. Classiquement, on trouve pour chaque variable le pourcentage de chacune des modalités.
4. Les arbres de similarité (dendrogrammes), les partitions avec pour chaque classe, son contenu, ses parangons et ses modalités caractéristiques).

Pour chacun des traitements les arbres de classification hiérarchique obtenus à la seconde étape du traitement sont donnés. Ils permettent de voir comment la partition de la troisième étape est effectuée, notamment la proximité des classes dans l'arbre. Chaque classe est donnée par les articles la constituant, puis les 5 articles les plus représentatifs (parangons) sont listés dans l'ordre (RG) de leur distance (DIST) au centre de gravité de la classe. Les modalités caractéristiques de la classe sont données avec les indications de significativité (CLA/MOD, MOD/CLA, V.TEST et PRO).

II. Interprétation des résultats statistiques

Introduction

Le traitement statistique présenté au chapitre précédent conduit à 8 partitions prenant en compte différentes entrées du questionnaire. Chaque partition est constituée de 4 à 7 classes, pour un total de 45 classes. Au sein de chaque classe le traitement détermine des articles centraux (parangons), les plus proches du centre de gravité de la classe, pour la distance définie par la classification hiérarchique. Pour chacune des classes, le traitement détermine aussi les modalités caractéristiques qui ont conduit à sa constitution. Le but de ce chapitre est d'interpréter les résultats ainsi obtenus (annexe 3).

Tout d'abord, nous n'analysons pas la totalité des 45 classes. Nous écartons de l'interprétation les classes dont les modalités caractéristiques sont surtout négatives (N) ou non pertinentes (X). En effet, l'objectif de notre interprétation est d'analyser les catégories retenues dans une classe d'articles, de façon à les mettre en rapport avec les résultats que ces articles obtiennent. Des classes regroupant des articles sur la base des catégories qu'ils ne retiennent pas, ne sont pas informatives pour cet objectif. Dans le récapitulatif qui suit, ces classes sont signalées par la mention « non informative ».

Certaines classes, d'effectif faible et avec peu de modalités positives nous apparaissent pouvoir être regroupées avec d'autres classes proches ayant davantage d'articles et de modalités positives. Nous nous appuyons sur les arbres de similarité pour opérer ces regroupements. Dans le récapitulatif qui suit, ces classes sont signalées par la mention « regroupée avec la classe... ».

Par ailleurs certaines classes peuvent être sensiblement identiques dans deux partitions différentes. Il est donc inutile de faire deux interprétations. La classe éliminée est signalée par la mention « analysée ailleurs ».

Pour chaque classe retenue, nous choisissons un ou deux article(s) central(aux) selon l'effectif de la classe. Ces articles sont choisis pour leur proximité du centre de gravité de la classe, mais nous ne retenons pas systématiquement le(s) article(s) le(s) plus proche(s). Nous sélectionnons, parmi les articles proches du centre de gravité de la classe (parangons, voir annexe 3) des articles suffisamment représentatifs de la classe et présentant clairement des

résultats. Nous nous efforçons aussi de maintenir, dans le corpus constitué par ces articles, un équilibre entre domaines et nationalités. Quand une classe comporte peu d'articles à une distance comparable du centre de la classe, nous les analyserons tous sans choisir un article central.

Récapitulatif des classes

Partition	Classe		Central 1	Central 2
« Toutes entrées »	Classe 1	Retenue	A10	A27
	Classe 2	Reliée à la 1	HM1 HM2 HM3 G134 (tous)	
	Classe 3	Retenue	C11	G31
	Classe 4	Non informative		
	Classe 5	Non informative		
	Classe 6	Analysée Classes 3 et 4 de l'entrée « enseignant »		
« Problématique générale »	Classe 1	Retenue	G30	
	Classe 2	Retenue	F124	Al29
	Classe 3	Non informative		
	Classe 4	Non informative		
	Classe 5	Non informative		
	Classe 6	Non informative		
« Instruments »	Classe 1	Retenue	A27	G114
	Classe 2	Reliée à la 1		
	Classe 3	Non informative		
	Classe 4	Retenue	G57	
	Classe 5	Retenue	G 83	F101
	Classe 6	Non informative		
« Approche anthropologique »	Classe 1	Retenue	A23	
	Classe 2	Reliée à la 1		
	Classe 3	Retenue	GF31	
	Classe 4	Non informative		
	Classe 5	Non informative		
	Classe 6	Non informative		
	Classe 7	Non informative		

« Situations »	Classe 1	Retenue	HM1	
	Classe 2	Reliée à la 1		
	Classe 3	Retenue	F85	
	Classe 4	Non informative		
	Classe 5	Non informative		
	Classe 6	Non informative		
« Sémiologie- **« Epistémologie »**	Classe 1	Retenue	Al32	
	Classe 2	Reliée à la 1		
	Classe 3	Reliée à la 1 (via la 2)		
	Classe 4	Non informative		
	Classe 5	Non informative		
« Cognitif »	Classe 1	Retenue	Al28	
	Classe 2	Retenue	GL2	
	Classe 3	Retenue	G118	
	Classe 4	Retenue	G67	
	Classe 5	Non informative		
« Enseignant »	Classe 1	Non informative		
	Classe 2	Retenue	F89 A27	
	Classe 3	Retenue	FE7	
	Classe 4	Retenue		

Format de l'interprétation

Comme le lecteur peut le constater dans le tableau ci-dessus, les classes que nous retenons pour les interpréter dans la suite de ce chapitre sont au nombre de 19. Le format général pour chacune de ces 19 classes est le suivant :

1. code des articles de la classe, répartition par domaine et par nationalité,
2. choix de un ou deux article(s) central(aux) selon l'effectif de la classe,
3. analyse des modalités caractéristiques de la classe et identification d'« angles d'attaque » concernant l'introduction des TIC,
4. analyse de(s) l'article(s) central(aux), mise en évidence des méthodes employées pour les « angles d'attaque » mentionnés ci-dessus, mise en relation des choix et des résultats ?
5. confrontation aux autres articles de la classe pour apprécier la généralité des liens repérés ?

Ce format peut être adapté aux spécificités de certaines classes.

Partition « Toutes entrées »

Classe 1

A23 F10 GF29 A27 G30 A10 F89

Structure de la classe

Graphiques et analyse : 4/7 ; Géométrie :1 /7 ; Calcul formel :2/7

Cette classe comporte trois articles de l'équipe ERES (Montpellier, France), deux articles de l'équipe Didirem (Paris, France), un article de l'équipe Leibnitz (Grenoble, France) et un article des Etats-Unis. Une majorité d'articles est donc française, trois équipes différentes travaillant dans des domaines et avec des approches distinctes, étant cependant présentes.

Articles centraux

A10 : Guin D., Trouche L., 1999, Environnements « calculatrice symbolique » : nécessité d'une socialisation des processus d'instrumentation, évolution des comportements d'élèves au cours de ce processus, IREM de Montpellier.

A27 : Chacon P. R., Soto-Johnson H., 1998, The effect of CAI in College Algebra Incorporating both Drill and Exploration, IJCME.

Modalités caractéristiques de la classe

L'angle d'attaque est clairement un questionnement sur l'intégration de l'outil informatique pour l'enseignement. Tous les articles traitent cette question à partir d'une approche multidimensionnelle : instrumentale, institutionnelle, situationnelle et épistémologique.

Dans l'entrée instrumentale, le temps (2.1), les contraintes de l'outil pour l'action (2.3), la définition de dispositifs d'enseignement spécifique (2.12), la disponibilité de l'outil sont considérés comme des variables importantes.

En ce qui concerne l'entrée institutionnelle, les articles mettent en perspective l'acquisition des nouvelles techniques instrumentées par rapport aux connaissances à construire et en particulier l'articulation entre les techniques instrumentées et les techniques habituelles dans l'environnement papier/crayon. Des préoccupations de type écologique par rapport aux élèves (conditions de viabilité, de légitimité, de compatibilité avec un système donné) sont évoquées.

En ce qui concerne l'entrée « situations », ces articles posent des questions sur les situations d'utilisation (4.1), les contenus à institutionnaliser (4.10), sur l'influence des TIC relativement à l'économie du travail mathématique (4.14). Certains articles prennent aussi en compte l'influence des TIC sur le contrat (4.6).

D'un point de vue épistémologique, ces articles proposent une analyse du savoir mathématique intégrant les TIC et peuvent évoquer la notion d'obstacle épistémologique (6.3).

Articles centraux

<u>Guin/Trouche (A10)</u> : la prise en charge institutionnelle de l'apprentissage de l'instrument et de son utilisation dans le travail mathématique a permis de développer des structures de contrôle collectif des gestes de travail, de coordonner différents registres de représentation. Il s'avère que la typologie établie permet de réduire la dispersion des comportements en instituant des dispositifs de travail différenciés. Un outil complexe nécessite un dispositif d'enseignement complexe.

Chacon (A27) : les élèves qui ont eu une disponibilité continue de l'outil acquièrent une meilleure aptitude à l'analyse graphique et symbolique. La disponibilité partielle de l'outil peut entraîner un sentiment de frustration et une attitude plus critique vis-à-vis de la technologie.

Il aurait été utile de disposer d'une analyse plus fine des résultats des différents groupes (en particulier les deux groupes témoins, avec et sans calculatrices intégrées). En l'état, cet article, en rupture avec les appréciations naïves existant dans la littérature anglo-saxonne, présente plusieurs intérêts :

- il va dans le sens des expérimentations « TI-92 » en France (Artigue & al, F10) : importance de la mise à disposition permanente des outils pour les élèves, de l'intégration dans le cours lui-même - et pas à l'extérieur,
- en affirmant que « la méthode est plus importante que le résultat », il appelle à considérer les techniques dans leur rapport aux connaissances construites.

Confrontation aux autres articles de la classe

Ces articles ont clairement un questionnement sur l'intégration des TIC avec une approche multidimensionnelle : instrumentale, institutionnelle, situationnelle et épistémologique. Ils ont aussi clairement une problématique d'intégration des TIC avec une approche intéressante par leur questionnement et leur méthodologie qui permet un approfondissement du thème. Les entrées « cognitive » et « enseignants » sont peu présentes.

Les articles proviennent essentiellement d'équipes françaises d'horizons différents. La présence de l'article A27 dans une classe comportant six articles français est un étonnement. Le fait qu'il existe un seul article non français dans cette classe pourrait s'expliquer par les fluctuations du codage. Les modalités déterminant la classe sont évidemment plus « lisibles » dans les articles français que dans les autres, donc nécessairement, il existe une part d'appréciation du codeur pour ces autres articles. La présence de A27 comme centre de la classe confirme néanmoins que les préoccupations liées à l'intégration peuvent être très présentes dans un article par ailleurs très représentatif du style de recherche « états-unien » sur les TIC : comparaison externe, statistiques inférentielles…

Classe 2

HM3 HM1 HM2 G134

Structure de la classe

Homme/Machine	3/4
Géométrie	1 /4

Cette classe comporte un article français, un article allemand et deux articles anglo-saxons. Cette classe étant peu nombreuse, nous présentons tous les articles, sans particulariser à des articles centraux.

Les articles

HM1 : Kenneth R. Koedinger, John R. Anderson, 1997, Intelligent Tutoring Goes To School in the Big City**,** IJAIED

HM2 : Jean S., Delozanne E., Jacoboni P. et Grugeon B., 1999, A Diagnosis Based on a Qualitative Model of Competence in Elementary Algebra. Proceedings of Artificial Intelligence in Education

HM3 : Hoyles C., Healy L., 1997, Un micro-monde pour la symétrie axiale : une base de construction de concepts mathématiques, STE

G134 : Strässer R., 1996, Student's constructions and proofs in a computer environment - problem and potentials of a modelling experience, Intelligent Learning Environments : the case of geometry

Modalités caractéristiques de la classe

Cette classe regroupe trois articles du domaine « Homme/machine » et un article sur Cabri. Elle est reliée à la classe 1. En effet, ces articles sont réunis par des doutes quant aux modalités à choisir dans différentes entrées : l'amélioration du type d'enseignement (1.9), la place de l'entrée instrumentation (2.14), l'existence de préoccupations de type écologique par rapport aux élèves (conditions de viabilité, de légitimité, de compatibilité avec un système donné) (3.6), l'influence des TIC sur le contrat (4.6), sur les contenus à institutionnaliser (4.10), sur l'économie du travail mathématique (4.14). L'angle d'attaque reste donc un questionnement sur l'intégration de l'outil informatique, mais de façon moins lisible que dans la classe 1.

Dans ces quatre articles, l'environnement est d'abord perçu comme un outil de remédiation. L'influence de l'environnement sur la conceptualisation est analysée en termes de moyens d'expression.

Classe 3

C11 C10 G31 Al32 C 27 GF9 GF25 A14 C32 Al 5 Al 7 Al14 G17 G57 G61 G67 G76 G74 G71 G91 G114 G118 G133

Structure de la classe

Numérique	4/23
Algébrique	4/23
Graphiques et analyse	3/23
Géométrie	12 /23

Cette classe comporte 4 articles français et 19 articles étrangers.

Articles centraux

C11 : Hershkovitz S. et Nesher P., 1996, The role of schemes in designing computerized environments, ESM 30.

G31 : Clements D., Battista M, Sarama J, Swaminathan S., 1996, Development of turn and turn measurement concepts in a computer-based instructional unit, ESM 30

Modalités caractéristiques de la classe

L'angle d'attaque est la conception d'environnements informatiques d'apprentissage prenant en compte une analyse didactique fine des contenus intégrant les TIC. Un environnement est

construit ou utilisé. Il est perçu comme un outil d'apprentissage (1.18) et dans 50 % des cas comme un outil de diagnostic (1.17).

Les articles s'appuient essentiellement sur des approches cognitive, épistémologique et sémiotique. Pour la majorité des articles, l'influence de l'environnement sur la conceptualisation (7.3) est analysée en termes de possibilités de visualisation, de possibilités d'action et dans une moindre mesure en termes de moyens d'expression. Les articles présentent une analyse du savoir mathématique intégrant les TIC (6.1), mais étant majoritairement anglo-saxons, ils ne font pas référence explicitement aux notions de transposition informatique et d'obstacle épistémologique. Les articles font aussi référence explicitement à l'influence des TIC sur les stratégies de résolution (4.13).

Dans cette classe, les nouvelles techniques instrumentées sont analysées comme modifiant les rapports des élèves aux objets de savoir dans 83 % des articles (3.3) et leur acquisition est représentée comme étant positive par rapport aux connaissances visées dans 60 % des articles (3.4).

Les hypothèses formulées pour concevoir ou utiliser l'environnement informatique sont validées à partir de données empiriques. Dans 78 % des articles, la validation est externe.

En revanche, dans plus de 95 % des articles, la variable « dispositif d'enseignement » n'intervient pas dans l'analyse. La conception des environnements informatiques n'est donc pas centrée sur les questions d'intégration.

Articles centraux

Hershkovitz et Nesher (C11) étudient les caractéristiques des « bons » environnements informatiques d'apprentissage pour la résolution de problèmes arithmétiques à deux pas de résolution. Ici, l'objectif visé par l'expérimentation est de comparer deux environnements logiciels d'apprentissage, SPA et AP, et l'environnement habituel « papier / crayon » pour résoudre ces problèmes. Ces deux logiciels présentent deux différences de conception, la construction des pas de résolution et le mécanisme de feedback, d'une part, la nature de la représentation graphique, d'autre part. Une des hypothèses formulées pour la conception de SPA porte sur les procédures de résolution : la représentation graphique qui s'appuie sur la notion de schème (pour des situations additives et multiplicatives) doit permettre aux élèves des stratégies différentes des stratégies habituelles dans la représentation du problème et la saisie des données. L'approche est essentiellement cognitive, épistémologique et sémiotique.

Les résultats obtenus montrent que l'environnement d'apprentissage SPA favorise la résolution de problèmes arithmétiques à deux pas en engageant les élèves dans une représentation de ces types de problèmes, ce qui n'est pas le cas pour AP, conçu encore comme moyen pour « réaliser des entrées / sorties » et non comme moyen pour représenter un problème.

Clements, Battista, Sarama, Swaminathan (G31) étudient le développement des notions de « turn » et de « turn measurement » chez les élèves dans le cadre d'un module d'instruction intitulé « turtle paths », spécifique à l'environnement Logo. L'une des hypothèses porte sur l'adéquation de Logo au développement de schèmes relatifs aux angles et à leur mesure dans des activités relatives à la trace de chemins.

Logo est spécifique de la notion de rotation et de sa mesure. GeoLogo permet aux élèves de construire une image mentale de la rotation (mouvement lent de la tortue et « boussole ») après avoir surmonté des difficultés liées à la notion d'orientation (stratégie kinesthésique). Le caractère non évaluatif des feed-back rendus par le logiciel joue un rôle positif dans

l'engagement des élèves. C'est un terrain d'exploration de différentes rotations, il encourage l'essai/erreur et augmente ainsi le champ d'expériences de l'élève par rapport à cette notion.

Ces articles étudient ou comparent des environnements construits ou utilisés comme un outil d'apprentissage. Les approches cognitive, épistémologique et sémiotique sont présentes.

Les deux articles font référence explicitement à l'influence des TIC sur les stratégies de résolution s'appuyant sur des schèmes adaptés à la construction des notions visées.

Confrontation aux autres articles de la classe

La lecture des articles de la classe confirme le choix des dimensions d'analyse cognitive, épistémologique et sémiotique. Ce choix restreint est cohérent pour aborder la complexité des rapports élèves-savoirs-TIC. Mais il a aussi des limites si l'on veut aborder les questions d'intégration en particulier du fait de la non prise en compte d'approches instrumentale et anthropologique.

Autres classes

Les Classes 4 et 5 (37 articles) ne sont pas informatives.

La Classe 6 (8 articles) est analysée dans les classes 3 et 4 de l'entrée « enseignant ».

Partition « Problématique générale »

Classe 1

G30 Al32 G114 GF29 G91 A10 GF9 GF25 A23 A14 GF31 A26 A27 F10 F41 F89 F101 F111 F113 F143 F151 Epi1 C32 C10 C11 C 27 G7 G17 G31 G74 G133 HM1 HM2 HM3 FE9

Structure de la classe

Graphiques et analyse	9/35
Géométrie	8/35
Calcul formel	9/35
Calcul et Algèbre	5/35
Interaction Homme-Machine	3/35
Formation des enseignants	1/35

Cette classe comporte 13 articles français, 13 articles anglo-saxons et 8 d'autres pays. Elle contient tout le bloc, très solidaire, des articles de la classe 1 toutes entrées. Des articles de nationalités diverses, touchant différents domaines mathématique s'y ajoutent, ainsi que tous les articles du thème « Homme-Machine ».

Article central

G30 : Clarou P., Jahn A.P., 1998, *La notion de transformation géométrique en classe de seconde avec Cabri-géomètre et la TI-92* Acte du colloque francophone européen. La grande motte.

Modalités caractéristiques de la classe

100 % des articles proposent une problématique. Celle-ci conduit à analyser une séquence en se référant aux formés, la séquence étant argumentée dans 71 % des cas.

Les améliorations quant aux résultats des formés (69 % des articles) ou quant aux conceptions des formés (77 % des articles), ou encore quant aux rapports des formés aux mathématiques (65 % des articles) sont questionnées.

Les hypothèses formulées sont validées à partir de données empiriques. Dans 67 % des articles, la validation est interne.

L'angle d'attaque est un questionnement du type : « les nouvelles technologies permettent-elles d'améliorer les performances, les conceptions ou les rapports de formés aux mathématiques ? ». Une ou des séquences sont construites, expérimentées et suivies d'une évaluation le plus souvent interne.

Analyse de l'article central

Clarou et Jahn (G 30) présentent la conception et la réalisation d'un processus d'enseignement utilisant Cabri-géomètre visant à faire évoluer la conception des élèves de la notion de transformation entre figures géométriques vers la notion d'application géométrique ponctuelle. C'est une expérimentation longue (deux ans) qui a fait l'objet d'une thèse. Les conclusions sont conformes à l'analyse a priori, c'est-à-dire que le dispositif semble efficace en utilisant le point de vue cinématique permis par le logiciel pour améliorer l'accès à la notion d'application ponctuelle. L'article se termine en soulevant la question de la mise en œuvre d'une telle ingénierie et propose quelques conditions écologiques pour une telle organisation didactique. Il semble cependant que l'intégration soit abordée seulement « à la marge ».

Confrontation aux autres articles de la classe

L'article de C. Kieran et al (Al 32) est très proche également du centre de cette classe et constitue aussi la mise à l'épreuve d'hypothèses d'amélioration par une expérimentation méthodique.

Un environnement informatique est expérimenté dans le but de favoriser l'entrée de l'élève dans la pensée algébrique. La notion de variable est présentée dans un cadre fonctionnel et non dans le cadre usuel des inconnues et équations. Cela permet d'aborder la pensée algébrique dans un contexte plus large. L'expérimentation montre que ces objectifs peuvent être atteints, mais aussi que des difficultés sont rencontrées par les élèves dans l'utilisation des différents modes de représentation proposés dans l'environnement. Ces difficultés renvoient ici aussi à la nécessité de prendre en compte l'intégration de l'environnement dans ses dimensions instrumentales et institutionnelles.

On retrouve dans d'autres articles de la classe le même type de mise à l'épreuve d'hypothèses d'améliorations apportées par un logiciel ou des calculatrices.

G 114 : il s'agit d'étudier si les logiciels de programmation peuvent donner du sens à un enseignement de la géométrie en Grande Bretagne.

GF 29 : il s'agit d'évaluer des connaissances construites dans une activité faisant appel à l'utilisation des calculatrices.

GF 9 : il s'agit d'identifier les connaissances et les compétences construites dans un logiciel centré sur l'association de représentations algébriques et graphiques de fonctions.

Classe 2

F124 Al29 Al14 Al 7 Al 5 C 8 F131

Structure de la classe

Calcul formel	2/7
Calcul et Algèbre	5/7

Cette classe comporte cinq articles anglo-saxons, un mexicain et un finlandais. Les nationalités sont variées mais la culture anglo-saxonne domine.

Articles centraux

F 124 : Repo.S, 1994, *Understanding and Reflective Abstraction: Learning the Concept of Derivative in the Computer Environment,* IJD, n°1.1

Al 29 : Tall.D., 1993*, Interrelationships, between mind and computer : processes, images symbols,* Advanced Educational technologies for Mathematics and science. Springer verlag. NATO

Modalités caractéristiques de la classe

Tous les articles de cette classe sont basés sur des hypothèses d'améliorations quant aux résultats des formés ou quant aux conceptions des formés.

Les hypothèses formulées sont validées à partir de données empiriques. Aucun des articles ne propose une validation interne.

Cette classe a peu de modalités caractéristiques mais ce qui semble différencier ces modalités de celles de la classe 1 est le postulat a priori que l'utilisation des TIC présentée dans l'article va améliorer les performances ou les conceptions des formés et qu'il n'y a pas de validation interne, ce qui peut laisser supposer qu'il y en a une soit externe, soit argumentative.

Articles centraux

Un élément très représentatif de cette classe est l'article de Repo (F124). Dans le cadre de la théorie constructiviste de l'apprentissage, l'auteur dégage la nécessité de mettre l'accent sur le processus de compréhension et d'acquisition des concepts, au lieu de pratiquer les habiletés calculatoires routinières. Ce point de vue oppose l'enseignement mathématique traditionnel à un processus de construction de structures logico-mathématiques (abstraction réfléchissante) en 5 étapes (internalisation, co-ordination, encapsulation, généralisation, réversibilité) inspiré par Piaget et développé pas Dubinski dans le cadre de ce qui est maintenant connu comme APOS (Action, Process, Object, Schema) theory.

Selon l'hypothèse de l'auteur, les Systèmes de Calcul Formel seraient particulièrement adaptés à l'implémentation de ce processus. Elle vérifie cette hypothèse sur un enseignement expérimental de la dérivation, construit en s'appuyant sur la théorie.

A partir de données recueillies lors de l'expérimentation, on évalue pour chaque élève « la compréhension conceptuelle », les « habiletés calculatoires » (à court et long terme) et chacun des modes d'abstraction réfléchissante : co-ordination, encapsulation, généralisation, réversibilité, niveau de mobilité cognitive. Le groupe expérimental est partout meilleur particulièrement à long terme.

Les modes de validation sont des traitements statistiques (tests d'égalité de moyenne, analyse classificatoire).

Repo conclue que « le niveau moyen de compréhension conceptuelle peut être amélioré en soumettant les élèves à des activités critiques et en améliorant la qualité des interactions » et qu'ainsi, « (s)es résultats sont très prometteurs ».

Plusieurs traits sont remarquables :

- l'utilisation directe de catégories cognitives à la fois comme éléments à intégrer dans l'enseignement et comme compétences vérifiables chez les élèves. Par exemple, la capacité à généraliser est vérifiée par une question portant sur la dérivée seconde. Comment cette capacité peut-elle être isolée des situations qui donneraient sens à la dérivée seconde ?
- l'application de traitement statistiques sur des catégories et à partir d'items dont la pertinence reste problématique : la compréhension conceptuelle et les habiletés calculatoires.
- l'absence de discussion sur le rôle de la technologie. Il est très vite posé que le calcul formel est particulièrement adapté au type d'enseignement proposé, mais l'utilisation par les élèves du calcul formel n'est pas discutée, son rôle dans les améliorations constatées n'est pas mis en évidence.

L'article est souvent cité à l'appui de présentations optimistes du calcul formel. Si on le regarde en détail, il ne supporte pas cet optimisme car les preuves statistiques montrent des différences entre le groupe expérimental et le groupe de contrôle, mais il est bien difficile de savoir ce que traduisent réellement ces différences, ni si elles dépendent réellement de l'usage du calcul formel.

L'article de D. Tall (Al 29**)** est très proche du centre de cette classe. Il en est de même des articles de A. Gratam et M. Thomas (Al 14), de Cedillo (Al 7) et de R. Brown (Al 5). Dans ces articles, il s'agit d'étudier l'influence d'environnements informatiques d'apprentissage, systèmes de calcul symbolique ou de calculatrices (TI-80 ou TI-92), pour introduire à la pensée algébrique en développant une meilleure signification du symbolisme algébrique et le concept de variable. Des situations spécifiques, qui ne mettent pas l'accent sur le calcul et l'apprentissage des techniques de manipulation formelle, sont proposées dans ces environnements.

Les analyses sont réalisées à partir de travaux statistiques ou d'analyse de commentaires ou de travaux d'élèves. Il n'y a pas de validation interne. Les auteurs constatent une amélioration des résultats et des conceptions des élèves quant aux concepts algébriques abordés. Mais ces améliorations ne sont pas questionnées et les questions d'intégration de l'environnement informatique ne sont pas abordées, ce qui limite beaucoup la portée des résultats : les dimensions instrumentale et institutionnelle ne sont pas prises en compte.

En revanche, les auteurs posent des questions sur la nature des apprentissages algébriques réalisés : ces environnements ne permettent pas le travail relatif aux manipulations algébriques formelles.

Confrontation aux autres articles de la classe

Dans les autres articles de cette classe, l'approche est relativement semblable. La question de la mise en œuvre est posée à partir d'hypothèses d'amélioration. Ces hypothèses dérivent souvent d'une analyse théorique, comme dans les articles centraux analysés ci-dessus. Il s'agit de montrer que la mise en œuvre proposée permet bien d'atteindre les améliorations attendues. La démonstration est apportée par validation externe et ne permet donc pas de voir le fonctionnement interne des nouvelles situations. Dans la classe 1, les articles s'interrogeaient plutôt sur les raisons d'introduire les TIC, l'expérimentation questionnant les connaissances, rapports et conceptions réellement développées dans l'usage des TIC étudié. La différence est cependant ténue, un article de la classe 2 comme Tall (Al 29) posant

notamment des questions sur la nature des apprentissages réalisés. De plus, les classes 1 et 2 se rejoignent en n'abordant pas les questions d'intégration.

Autres classes

Les classes 3, 4, 5 et 6 ont été considérées comme peu informatives. C'est pourquoi nous en donnons seulement une analyse succincte.

La classe 3 contient 10 articles principalement de calcul formel mais aussi d'algèbre et de géométrie.

Cette classe est caractérisée par le fait qu'il n'y a pas de problématique (ce qui est rare dans le corpus puisque 83,5% des articles en ont une). Comme dans la classe précédente les articles partent d'hypothèses d'améliorations mais elles concernent le type d'enseignement et le rapport des formés aux mathématiques et il n'y a pas d'évaluation.

Un article représentatif de cette classe est Tall (A 15) où l'auteur part de l'intérêt que la visualisation présente pour accéder à la conceptualisation. Il souligne cependant le fossé existant entre les mathématiques formelles et les images finies des ordinateurs. Il propose alors un environnement informatique pour dépasser cette contradiction.

La classe 4 regroupe 18 articles dont tous les articles FE (sauf 1) et quelques articles d'algèbre de géométrie et de calcul formel.

Cette classe a très peu de modalités caractéristiques, ce qui la caractérise est que la majorité des articles posent des questions sur l'enseignant et ne présentent pas de validation.

Un article représentatif de cette classe est Rousselet (Al 28). Comme la fiche le précise, il n'y a ni expérimentation, ni validation et « les apports reposent la plupart du temps sur des observations personnelles et sont justifiées par des exemples. ». L'article semble bien davantage apporter des résultats qualitatifs que quantitatifs. Le problème de l'intégration est pourtant abordé. Il l'est sous forme de questions : « quels procédés de calculs doit-on déléguer à DERIVE ? ». Il l'est aussi sous forme de prédictions sur l'effet de DERIVE. Ainsi DERIVE devrait changer le style et le mode de travail et les exercices proposés seraient d'une plus grand envergure. Il ne changerait pas les contenus des premiers apprentissages et ce qui concerne les manipulations.

La classe 5 n'a pas de modalité caractéristique et contient 10 articles.

La classe 6 contient 5 articles. Ce sont tous des articles généraux qui n'ont pas les caractéristiques des classes précédentes. Leur seule modalité caractéristique effective est qu'ils ne présentent pas de séquence d'enseignement.

Un article représentatif est celui de Balacheff (GL 19) où l'auteur expose la notion de transposition informatique et se place du côté de la conception.

Un autre article représentatif est Sorribas (GL 34) c'est un article qui présente ce qui est effectivement fait dans les classes de lycée français c'est-à-dire des exemples et des situations variés mais très ponctuels. Cet article se place du point de vue de l'utilisation effective, c'est-à-dire à l'opposé du précédent.

Ce n'est donc pas le contenu qui a rapproché ces deux articles mais -si l'on voit, grossièrement, l'intégration des TIC, comme une chaîne : conception/ expérimentation/ utilisation- le fait qu'ils se situent chacun à un bout de la chaîne tandis que les autres articles se situent au milieu.

Conclusion

Les classes de cette entrée sont caractérisées par la démarche de l'auteur plus que par le contenu. Elles se différencient de la façon suivante :

- une classe d'effectif important (classe 1) dont les articles suivent une démarche classique : problématisation - hypothèses - expérimentation - conclusion et perspectives,
- un groupe d'articles où l'auteur postule a priori qu'il faut utiliser les TIC dans une perspective d'amélioration. Dans la classe 2, l'amélioration porte sur les performances et les conceptions des formés. Dans la classe 3 l'amélioration porte sur le type d'enseignement et les rapport des formés aux mathématiques. Dans la classe 2, l'article peut déboucher sur une problématisation, contrairement à la classe 3.
- un groupe d'articles (classe 4) s'intéressant à l'enseignant,
- et enfin, des articles se plaçant du côté de la conception de l'environnement informatique ou au contraire du côté de l'utilisation effective.

Deux données permettent de préciser l'analyse des spécificités de la classe 2 : la nationalité et le contenu. Les articles de cette classe 2 sont en majorité anglo-saxons. Un certain pragmatisme les conduit sans doute plus directement à la question : « les TIC arrivent, comment les utiliser ? ». Ils portent sur le calcul formel ou l'analyse, domaines où l'utilisation des TIC va peut-être plus de soi que dans d'autres.

Dans les deux classes principales, il semble que les réflexions sur l'intégration apparaissent dans les conclusions ou les perspectives, comme si ce thème n'était pas le centre des recherches présentées, mais cependant un point de convergence des perspectives évoquées. Le problème de l'intégration est en fait émergent, il arrive après la conception et les expérimentations.

Partition « Instruments »

Classe 1

G114 A27 C 27 HM1 F10 GF29 A10 GF9 A23 GF31 F41 Al14 G67 G134

Structure de la classe

Graphiques et analyse	6/14
Géométrie	3/14
Calcul formel	2/14
Calcul et Algèbre	2/14
Interaction Homme-Machine	1/14

Cette classe comporte 5 articles français et 9 articles étrangers, dont 6 anglo-saxons (en tout, 8 pays représentés).

Articles centraux

A27 : Chacon P. R., Soto-Johnson H., 1998, The effect of CAI in College Algebra Incorporating both Drill and Exploration, IJCME.

G114 : Pratt D., Ainley J., 1997, The Constructing of Meanings for Geometric Construction : Two Contrasting Cases, IJCML.

Modalités caractéristiques de la classe

a) Par rapport à l'entrée « instrumentale »

L'angle d'attaque est clairement l'intégration de l'outil pour l'enseignement. La classe est caractérisée en effet par une prise en compte du dispositif d'enseignement, des contraintes de l'outil pour l'action, de la disponibilité de l'instrument, de l'entrée sociale ou individuelle, mais pas nécessairement du temps. Les potentialités de visualisation sont évoquées, contrairement à celles de programmation. Il peut paraître étonnant que la variable « temps » ne soit pas nécessairement prise en compte, alors qu'une grande attention est accordée aux dispositifs d'enseignement. Une hypothèse est que, quand l'outil est continûment disponible, les contraintes de temps sont peut-être moins importantes.

b) Par rapport aux autres entrées

En ce qui concerne la problématique, ces articles sont manifestement dans le groupe d'articles qui posent des questions sur les contraintes de l'outil pour l'action (2.3), sur le rapport des formés aux maths (1.5), sur l'évolution des conceptions et des résultats des formés (1.6 & 1.7), sur l'enseignant (1.10), sur l'intégration (1.11). Les articles présentent une validation appuyée sur des données empiriques. L'environnement est conçu comme un outil d'apprentissage (1.18), le plus souvent également comme un support de conception de situations d'enseignement (1.16) et non comme outil de diagnostic et de remédiation (1.17 et 1.19).

En ce qui concerne l'entrée institutionnelle, les nouvelles techniques instrumentées sont analysées comme modifiant les rapports aux objets de savoir (3.3). Des préoccupations de type écologique par rapport aux élèves (conditions de viabilité, de légitimité, de compatibilité avec un système donné) sont évoquées.

En ce qui concerne l'entrée situationnelle, ces articles posent des questions sur les situations d'utilisation. Il y a le plus souvent une référence explicite à l'influence des TIC sur le contrat (4.6) et les stratégies de résolution (4.13).

L'entrée sémiotique est très présente dans ces articles, que ce soit par les changements et articulations de registres, ou par l'articulation avec l'environnement papier/crayon (5.1 & 5.2).

D'un point de vue épistémologique, ces articles intègrent le plus souvent une analyse du savoir mathématique sans évoquer la transposition informatique (6.1 & 6.2). Ils mettent en évidence une analyse de l'influence des TIC sur la pratique mathématique (6.5).

L'entrée cognitive est par contre peu développée. Cependant l'influence de l'environnement sur la conceptualisation est analysée en termes de possibilités de visualisation (7.3).

Du point de vue environnement technologique, le logiciel est précisé (8.2), l'activité des élèves est décrite (8.5) et le contexte d'utilisation est majoritairement celui de la classe (8.7). L'entrée « enseignants » est peu abordée.

Articles centraux

A27 (Chacon) : cet article a été présenté ci-dessus comme article central de la classe 1 de la partition « toutes dimensions ». Rappelons que cet article souligne l'importance de la mise à disposition permanente des outils pour les élèves, de l'intégration dans le cours lui-même - et pas à l'extérieur et, en affirmant que « la méthode est plus importante que le résultat », appelle à considérer les techniques dans leur rapport aux connaissances construites.

G114 (Pratt & Ainley) : les logiciels de géométrie dynamique permettent-ils de concevoir des activités de construction géométrique prenant sens pour des élèves d'école primaire ? Les réflexions et théorisations sur l'utilisation de LOGO peuvent-ils être exploités pour cela en l'absence d'un enseignement direct de la géométrie et dans un pays sans culture scolaire de géométrie ? La recherche se situe au sein d'un programme de deux ans où des ordinateurs portables sont partagés par deux enfants. Spontanément, les enfants se servent du logiciel davantage comme d'un outil de dessin que pour faire réellement des constructions. L'ajout d'une contrainte d'invariance par déplacement des points initiaux devrait favoriser la transition du dessin à la construction, mais celle-ci n'est acquise qu'à la suite d'interventions explicites de l'enseignant dans un tâche spécifique. L'article met ainsi en évidence la nécessité d'un dispositif spécifique pour un apprentissage décontextualisé.

Confrontation aux autres articles de la classe

Ces articles ont clairement une problématique d'intégration des TIC avec une approche intéressante par leur questionnement et leur méthodologie qui permet un approfondissement du thème. On y retrouve des articles des équipes qui travaillent en France sur les problèmes d'intégration (A 10, A 23 et GF 29 pour l'équipe ERES, F10 pour l'équipe DIDIREM). Il s'agit pour ces articles et les autres de cette classe :

- d'observations fines de situations de classes : analyse fine des compétences acquises dans un environnement informatique et étude des conditions de décontextualisation des connaissances sur les graphes de fonctions (GF 9, Dagher), observation fine d'élèves de 14/15 ans travaillant par paire à la résolution de problèmes classiques de géométrie dans Cabri (G 67, Hölz).
- d'études se plaçant du point de vue de l'activité des élèves : transformation d'une activité de jeu en une activité mathématique indépendante (C 27, Steffe), recherche des compétences nécessaires pour l'utilisation de ces outils du point de vue de l'élève et de celui de l'enseignant qui montre un statut spécifique de la calculatrice : c'est le seul outil qui accompagne en permanence l'étudiant (GL 34, Sorribas).
- d'observations sur une durée longue des processus d'intégration : la lente entrée des environnements informatiques en classe de mathématiques (avec des calculatrices TI-80) (Al 14, Gratam & Thomas).
- d'études prenant en compte les caractéristiques des environnements : la recherche des différences et des similarités entre les environnements calculatrice graphique et Calcul Formel peut contribuer à la compréhension de la relation entre technologie et mathématiques (F 41, Drijvers). La technologie, pourtant support pour la perception visuelle, ne peut permettre d'approcher l'infini : ce point fait de l'étude des asymptotes un domaine intéressant pour observer les comportements des élèves manipulant un logiciel (GF 31, Yerushalmy).

Les questions posées dans ces articles sont différentes et le lien probable doit être recherché dans les résultats qui ne sont pas vus comme seulement positifs. Ainsi, des résultats décevants sont obtenus par l'analyse de données recueillies au cours d'une expérimentation peu préparée sur le plan théorique. En cela, ces articles tranchent avec des articles plus généraux dont les résultats peuvent être d'autant plus positifs qu'ils ne sont pas contredits par une expérimentation. Ils tranchent aussi avec d'autres où les résultats sont mieux affirmés grâce à une expérimentation plus construite, comme par exemple Clarou, Jahn (G30) analysé ci-dessus (partition problématique générale, classe 1).

Classe 4

G101 G90 G30 G7 G57 C 8

Structure de la classe

Géométrie 5/6

Calcul 1/6

Cette classe comporte 4 articles français, un article américain et un article australien.

Article central

G57 : Goldenberg P., 1995, *Ruminations about dynamic imagery (a strong plea for research).* Exploiting mental imagery with computers in mathematics education

Modalités de la classe

a) Par rapport à l'entrée « instrumentale »

L'angle d'attaque est ici clairement le temps nécessaire à l'intégration des instruments. La classe comporte essentiellement des articles français de géométrie (5 sur 6). Ce qui différencie cette classe de la classe 1 est la prise en compte dans l'analyse du temps (2.1), la non prise en compte des dispositifs d'enseignements (2.7), de l'entrée sociale/ individuelle (2.11). La question de l'instrumentation n'intervient pas dans l'analyse ou est non pertinente (2.14).

b) Par rapport aux autres entrées

Ces articles ont une problématique et ils font le plus souvent explicitement allusion aux formés (1.4). L'environnement est perçu comme un support de conception de situations et comme un outil d'apprentissage (1.16 & 1.18), et non de remédiation (1.19). En ce qui concerne l'entrée institutionnelle, l'entrée « réalisation de nouvelles tâches » intervient dans l'analyse (3.1) et les techniques instrumentées sont analysées comme modifiant des rapports aux objets de savoir (3.3), par contre les problèmes de viabilité (3.6) sont nettement moins présents que dans la classe 1.

En ce qui concerne l'entrée situationnelle, ces articles ne posent pas en général des questions sur les situations d'utilisation (4.1), ils font le plus souvent référence au milieu, mais pas au contrat (4.4 & 4.6) avec une référence explicite à l'influence sur les contenus à institutionnaliser et sur les stratégies de résolution (4.10 & 4.13). L'entrée sémiotique est beaucoup moins présente que dans la classe 1, en particulier les problèmes d'articulation avec l'environnement P/C dans les quatre articles centraux étudiés est absente (5.2).

En ce qui concerne l'entrée épistémologique, il y a une analyse du savoir mathématique intégrant les TIC (6.1), mais la notion d'obstacle n'est pas évoquée (6.3), L'analyse de l'influence des TIC sur la pratique (6.5) est présente, contrairement à ce qui concerne les modes de validation (6.6). En conclusion, l'entrée épistémologique est prise en compte de manière similaire pour les classes 1 et 4.

L'entrée cognitive est « non pertinente », ce qui diffère de la classe 1. Du point de vue environnement technologique, le logiciel est précisé (8.2), l'activité des élèves est décrite (8.5), et certains aspects du logiciel sont décrits (rétroaction et non récupération des erreurs ou suivi). Cette analyse de l'environnement diffère sensiblement de celui de la classe 1 (qui prend davantage en compte les contraintes). Contrairement à la classe 1, la question de

l'interaction est abordée (8.6) et le contexte d'utilisation n'est pas majoritairement celui de la classe (8.7). Enfin, l'entrée « enseignants » est absente.

Article central

Goldenberg (G57) remarque que nous considérons le plus souvent les environnements dynamiques essentiellement à la lumière d'une culture statique et de problèmes issus de cette culture. Il explore donc de façon ouverte le potentiel de tels environnements en géométrie et dans des domaines numériques et ce qu'il pourrait advenir avec des élèves qui auraient très tôt été immergés dans le champ d'expérience dynamiques qu'ils offrent.

Ainsi l'auteur étudie un problème de lieu géométrique dans environnement de géométrie dynamique, puis, dans le même esprit, l'usage d'un grapheur à manipulation directe. Une incursion dans le monde des logiciels de dessin, et l'observation de jeunes enfants fournit quelques arguments à la question principale de cette article : notre capacité, en tant que chercheurs issus d'une culture qui ignorait ces technologies, à formuler les « bonnes » questions.

Cet article est une réflexion personnelle de portée générale. Il fournit moins des résultats que des conclusions en forme de questions. Une construction dynamique est considérée comme la définition d'une fonction. Il s'agit pour l'utilisateur d'en déterminer les variables et les propriétés. Cette exploration peut être guidée par un jeu sur les contraintes, jeu que les élèves ne sont pas toujours capables d'organiser. La géométrie dynamique en particulier, par le type de pratique qu'elle permet, semble en rupture avec les pratiques classiques de la géométrie euclidienne, en particulier en raison de la possibilité de transformation continue des figures. L'auteur note que les environnements dynamiques peuvent ainsi avoir des comportements spécifiques. La question se pose alors de leur influence sur la conceptualisation par l'élèves. L'article ne pose pas le problème du contrôle de l'usage du logiciel par le professeur.

Confrontation aux autres articles de la classe

Ces articles relativement peu nombreux (6) ont clairement une problématique d'intégration des TIC avec une approche intéressante par leur questionnement et leur méthodologie. Par comparaison avec la classe 1, les problèmes d'articulation avec l'environnement P/C, ainsi que les problèmes écologiques sont nettement moins présents. Par contre, les aspects du produit sont décrits plus finement, en termes de possibilités pour l'action plus que de contraintes pour l'utilisateur. Les approches sont ainsi assez complémentaires.

Classe 5

F85 F86 F101 F111 G83 FE2 FE5 FE7

Structure de la classe

Calcul formel	4/8
Formation enseignants	3/8
Géométrie	1/8

Cette classe comporte 4 articles français, 2 articles autrichiens, un article anglais et un article américain.

Articles centraux

G83 : Kuntz G., 1998, *Une transformation oubliée qui sort de l'ordinaire : l'inversion*, Repères-Irem

F101 : Mayes R., 1995, *Implications of Research on CAS in College Algebra*, IDJ.

Modalités caractéristiques de la classe

a) Par rapport à l'entrée « instrumentale »

L'angle d'attaque est ici la question du temps, appréhendée de façon contradictoire : 50% des articles estiment que la technologie permet de gagner du temps, 50% des articles estiment que le contraire est parfois vrai. Les contraintes de l'outil pour l'action ne sont pas évoquées (2.3), contrairement aux possibilités de visualisation et de modélisation (2.5 & 2.6). La variable « dispositif d'enseignement » intervient rarement dans l'analyse (2.7), ainsi que la variable dimension sociale/individuelle et la disponibilité de l'outil et instrumentation (2.11 & 2.12 & 2.14).

b) Par rapport aux autres approches

Ces articles se caractérisent pas le fait que, contrairement aux classes précédentes, ils ne présentent généralement pas de problématique (1.1). Cependant ils présentent une situation d'enseignement avec argumentation (1.2 & 1.3) et ils font le plus souvent explicitement allusion aux formés (1.4). Ils ne posent pas généralement de questions concernant l'enseignant (1.10), mais des problèmes d'intégration (1.11), sans présenter une validation appuyée sur une argumentation (1.12) ou sur des données empiriques (1.13).). L'environnement est perçu comme un support de conception de situations et comme un outil d'apprentissage (1.16 & 1.18).

En ce qui concerne l'entrée institutionnelle, l'entrée « réalisation avec les TIC de tâches habituelles» intervient dans l'analyse (3.2), mais les techniques instrumentées ne sont pas analysées comme modifiant des rapports aux objets de savoir (3.3). De plus, le problème de l'articulation des techniques instrumentées et P/C n'intervient pas dans l'analyse (3.41) et aucune préoccupation de type écologique n'apparaît (3.6). Les entrées institutionnelle et sémiotique sont absentes (plus que dans les autres classes), l'analyse du savoir mathématique est très présente (6.1), mais l'entrée épistémologique se réduit la plupart du temps à celle-ci. L'entrée cognitive est pratiquement absente ainsi que l'entrée environnement technologique.

Articles centraux

Kuntz (G83) rapporte une expérience d'utilisation de l'informatique pour un enseignement des transformations géométriques dans une classe de lycée français. Dans un contexte de géométrie analytique, l'outil informatique fournit des tracés de courbes, que les élèves doivent interpréter. L'analyse est réalisée sous un angle mathématique, avec un jeu de mot sur l'inversion : les nombreuses difficultés dues au dispositif informatique se transforment (s'inversent) en avantages pédagogiques.

Les activités informatiques des élèves ne sont pas détaillées. L'article représente donc une vision apologétique de l'intégration. Nous avons en effet inclus dans le second corpus quelques articles de ce type de façon à disposer d'un échantillon représentatif des différents types d'analyse des TIC.

Mayes (F101) présente un curriculum en algèbre utilisant DERIVE avec des objectifs de développement d'aptitudes en modélisation et en résolution de problème et de compréhension

conceptuelle. La participation active des étudiants dans l'utilisation de la technologie est aussi recherchée. La question posée est celle de l'efficacité d'un tel curriculum. Pour cela, un groupe d'étudiants utilisant DERIVE est comparé à un groupe témoin. Le groupe expérimental utilise DERIVE en cours et en travaux dirigés de façon à réduire le temps passé à faire des « manipulations fastidieuses ».

La comparaison utilise l'analyse de la variance. Elle ne fait pas apparaître de différence en ce qui concerne les habiletés calculatoires. Le groupe expérimental progresse « marginalement » en résolution de problèmes. La seule différence réellement significative est que les étudiants expérimentaux ont une confiance plus faible après l'enseignement dans l'utilisation de l'ordinateur comme outil d'enseignement. L'auteur interprète ceci comme un effet d'une augmentation de la charge cognitive imposée aux étudiants expérimentaux et conclut à la nécessité de repenser la résolution de problèmes avec la technologie.

Confrontation aux autres articles de la classe

Les résultats des articles centraux sont fort différents, puisque le deuxième article dépasse par sa méthodologie la littérature sur les apports de la technologie dans laquelle s'insère le premier article. On retrouve ces deux « profils » parmi les articles de cette classe, correspondant aux deux réponses données relativement au temps : le premier profil optimiste et apologétique autour des deux articles de Kutzler (F85 et F86), le deuxième profil plus critique, autour des articles de Aldon et Mounier (F 111) ou de Abboud-Blanchard et Lachambre (FE2).

Autres classes

Les classes 2, 3 et 6 sont peu informatives.

La classe 2 (3 articles) a un faible effectif et se caractérise de plus par des réponses non pertinentes à deux questions d'instrumentation.

La classe 3 (45 articles) ne se caractérise que par des réponses négatives sur la prise en compte du dispositif, du temps, de la disponibilité de l'outil.

La classe 6 (3 articles) a un faible effectif et regroupe des articles pour lesquels l'entrée instrumentale est très éloignée.

Partition « Approche anthropologique »

Nous analysons les classes 1 et 3 qui sont les seules considérées comme informatives dans cette entrée.

Classe 1

A10 A23 A14 A27 HM1 HM2 HM3 FE2 FE6 GF29 F10 G7.

Structure de la classe

Analyse	4 /12
Homme-Machine	3 /12
Enseignant	2 /12
Graphe-Fonction	1 /12

Calcul Formel	1 /12
Géométrie	1 /12

Ces articles sont en majorité français 8/12. Les autres sont anglo-saxons (US et UK).

Article central

A23 : **TROUCHE Luc et les élèves**, **1998**, *Expérimenter et prouver. Faire des mathématiques au lycée avec des calculatrices symboliques. 38 variations sur un thème imposé*, IREM de Montpellier

Modalités caractéristiques de la classe

Cette classe est caractérisée par la prise en compte dans l'analyse d'une part de l'articulation de techniques instrumentées et papier/crayon (100%) et d'autre part de la dimension « réalisation avec les TIC de tâches habituelles » (92%).

Des préoccupations de type « écologique » par rapport aux élèves (75%) et aux conditions matérielles (58%) sont présentes.

Dans cette classe, l'acquisition de nouvelles techniques instrumentées est perçue comme problématique par rapport aux connaissances à acquérir (67%).

Analyse de l'article central

Trouche (A23) étudie l'effet de dispositifs particuliers d'organisation de la classe en ce qui concerne l'investissement de la classe dans un processus de travail mathématique, le rapport à l'instrument de calcul, les rapports à la connaissance mathématique et notamment la distinction à opérer entre un objet et ses différentes représentations.

Les dispositifs concernent le travail en classe entière avec calculatrice rétro-projetée et en binômes pour les travaux pratiques. Ils articulent travaux pratiques, problèmes posés par le professeur, thèmes de recherche libre et devoirs surveillés Tous les élèves disposent d'une calculatrice TI-92 qui leur est prêtée pour l'année. Dans les séances, les élèves sont amenés à confronter des résultats de la calculatrice et du calcul papier-crayon, articulant ainsi techniques instrumentées et ordinaires.

Les résultats montrent un certain changement quant à la place de l'élève dans les activités de résolution de problème. L'auteur souligne que, si l'on veut que ce renouvellement profite à tous les élèves, il faut être particulièrement attentif à ce que les dispositifs de travail permettent la socialisation des processus d'instrumentation.

Classe 3

G31 G74 G71 G114 G118 Al 5 Al 7 Al32 Al28 Al29 GF25 GF31 C10 C11 A26 F11 FE1

Structure de la classe

Géométrie	5 / 17
Algèbre	5 / 17
Graphe-Fonction	2 / 17
Calcul	2 / 17
Analyse	1 / 17

Calcul Formel	1 / 17
Enseignant	1 / 17

Les articles de cette classe sont en majorité anglo-saxons (15/17) et deux sont français.

Article central

(GF31) YERUSHALMY M.,1997, *Reaching the unreachable : technology and the semantics of asymptotes*, IJCML

Modalités caractéristiques de la classe

Cette classe est caractérisée par les nouvelles tâches pour l'utilisation des TIC proposées par les auteurs (82%). Les nouvelles techniques instrumentées sont analysées comme modifiant des rapports aux objets de savoir (94%) et leur acquisition est considérée comme positive (76%).

Analyse de l'article central

Yerushalmy M. (GF31) étudie comment un logiciel de manipulation de graphes permet aux élèves de comprendre la sémantique des asymptotes. Le logiciel, créé spécifiquement, est utilisé pour un travail en petits groupes et pour des discussions en classe entière. Trente élèves (precalculus) ont chaque semaine une séance de 80 minutes pendant 8 semaines.

Les résultats montrent que l'action de l'apprenant sur un objet présenté sous une représentation (graphe du logiciel) conduit à une interrogation sur l'objet et à une exploration symbolique. Donc, le logiciel aide à percevoir les objets mathématiques en soutenant un travail de réflexion explicite sur les propriétés épistémologiques. Cette compréhension étendue s'explique par la possibilité donnée à l'utilisateur d'agir sur une représentation et d'en voir les conséquences sur d'autres représentations.

Conclusion

La dimension anthropologique semble opposer, à travers les deux classes que nous venons d'analyser, les travaux français et anglo-saxons. Ainsi, les travaux français de la classe 1 proposent des séquences d'enseignement utilisant les TIC à partir des tâches habituelles, alors que les travaux anglo-saxons de la classe 2 étudient de nouvelles tâches pour l'utilisation des TIC. Ceci peut s'expliquer par le fait que les travaux français concernent l'utilisation des TIC dans le cadre d'un curriculum existant alors que les travaux anglo-saxons sont souvent à la marge du curriculum.

L'acquisition de nouvelles techniques instrumentées est d'autre part davantage interrogée dans les travaux français que dans les travaux anglo-saxons. Ces nouvelles techniques sont étudiées pour leurs apports à la compréhension dans les travaux anglo-saxons. Les travaux français se préoccupent quant à eux des conditions dans lesquelles des techniques instrumentées productives peuvent se développer.

Nous pensons que cette opposition vient du fait que les travaux français se préoccupent davantage de la dimension d'intégration de l'outil informatique à long terme. Ceci est confirmé par les réponses à la question 3.6 qui montrent que des préoccupations écologiques par rapport aux élèves et aux conditions matérielles sont présentes dans les travaux français davantage que dans les travaux anglo-saxons.

Partition « Situations »

Cette partition comporte 6 classes. La classe 1 et la classe 3 sont les seules à avoir suffisamment de modalités positives pour être retenues dans cette analyse.

Classe 1

HM1 HM2 A23 A27 FE4 GF29 A10 A14 F10 Al14 C 27 G57 G61 G134 FE2

Structure de la classe

La classe regroupe 15 articles dont l'ensemble couvre tous les domaines disciplinaires. Le seul domaine non représenté dans la classe est le domaine « Réflexion Générale ». Les articles relèvent de 7 pays différents avec un poids fort pour la France et les USA.

France, 7 articles

USA, 5 articles

UK, RFA, Italie, 1 article

Article central

(HM1) **Kenneth R. Koedinger, John R. Anderson, 1997,** *Intelligent Tutoring Goes To School in the Big City,* IJAIED

Modalités caractéristiques de la classe

La classe comporte un nombre appréciable de modalités positives pour l'entrée « situations ». Les modalités positives qui caractérisent la classe sont l'existence de questions sur les situations d'utilisation, la référence à des types de situation, à l'influence des TIC sur le milieu, les contenus à institutionnaliser, le contrat, la dévolution, l'économie du travail mathématique.

En un mot, la classe est caractérisée par une réponse positive à toutes les questions sauf celle relative aux stratégies (réponse « je ne sais pas » pour 20% des articles de la classe). La seule variable absente (4.15) a trait aux changements sur les modes de gestion de l'enseignant. Cela signifierait que les articles de cette classe n'abordent pas ou peu cette question. Ils se centreraient plutôt sur l'analyse des situations d'utilisation des TIC (rapport modalité classe égal à 100%). Ils étudient ces situations de façon indépendante de l'enseignant, en termes d'interactions entre tâches, contenus mathématiques, milieu et élèves sans que nécessairement les stratégies (probablement différentes de celles en environnement papier crayon, compte tenu des possibilités et rétroactions des TIC) soient analysées. Il s'agirait d'un point de vue prenant en compte les changements et modifications les plus évidentes (celles liées aux tâches et contenus mathématiques, plus descriptif qu'analytique (difficulté à repérer si les stratégies des élèves sont analysées). Il est à noter que le changement de contrat est évoqué dans ces articles bien que le mode de gestion par l'enseignant soit absent.

Analyse de l'article central

Kenneth, Koedinger, John et Anderson (1997) (HM1) est représentatif de la classe par la place accordée aux situations d'utilisation ; en effet, il s'agit de la double présentation d'un **tuteur intelligent** (PAT) fondé sur la **théorie cognitive ACT** d'Anderson et d'un curriculum pour **l'enseignement de l'algèbre** (PUMP) au niveau high school. Le tuteur aide les élèves à comprendre et utiliser diverses représentations de l'information (tables, graphes, symboles) en utilisant des outils informatiques (tableur, éditeur de graphes, logiciel de calcul formel). Il

fournit des rétroactions immédiates et de l'aide à la demande. Le suivi des acquisitions est mené. De ce point de vue, l'article rend bien compte de la modalité « milieu ». Il aborde en particulier le transfert des compétences acquises dans l'environnement aux techniques papier crayon et se pose donc la question des contenus à institutionnaliser. La population d'élèves étudiée est grande (20 classes) et l'expérimentation a une durée significative.

La comparaison externe entre classes expérimentales et classes témoin porte :

- sur les compétences de base, les classes expérimentales ont des taux de réussite de 15 % supérieurs aux classes témoin,
- sur les compétences en résolution de problème et changement de représentation, les classes expérimentales obtiennent des scores 100 % meilleurs que les classes témoin.

Les résultats de l'article sont compatibles avec sa problématique, il s'agissait d'écrire un curriculum d'algèbre adapté à un tuteur. Les auteurs se sont fixés des objectifs d'apprentissage de compétences pour développer le curriculum et vérifient ensuite si ces compétences apparaissent plus chez les formés à l'issue de l'enseignement que chez les élèves d'un groupe contrôle ayant un enseignement traditionnel.

Confrontation aux autres articles de la classe

Les objets d'étude de certains articles de la classe sont cohérents avec ceux qui font l'objet de l'article central:

1. Jean et al. (HM2) ont testé le logiciel Pépite d'enseignement de l'algèbre sur 85 élèves
2. Trouche (A23), Guin et Trouche (A 10), Chacon et al. (A 27) étudient l'intégration sur le long terme.

La comparaison externe groupes ou classes témoin, groupes ou classes expérimentaux, qui est une composante importante de la méthodologie de l'article central, est aussi utilisée dans d'autres articles de la classe (Gratam et Thomas Al 14, Monaghan A14).

A contrario, d'autres articles de la classe (Steffe et Wiegel C27, Strässer G 134) se centrent plutôt sur l'analyse façon fine des stratégies des élèves dans des micromondes.

Conclusion

Il s'agit d'une classe qui aborde la question des situations d'utilisation de TIC de nature très différente, de calculatrices à des tuteurs intelligents en passant par des micromondes de taille variable, à des échelles de population différentes (de très grande à des échantillons petits, en passant par des populations moyennes). Les points abordés peuvent porter sur les curriculum, les contenus mathématiques mais aussi les conceptions des élèves, leurs types de démarche, leurs rapports aux TIC, l'organisation du travail en classe. Les conclusions sont de nature différente, certaines portent sur les conceptions des élèves, d'autres sur les apprentissages réalisés en comparaison avec ceux résultant d'un enseignement papier crayon.

Classe 3

GF31 F85 F131 FE1 GL34 A26 F11 F17 F41 C32 Al 5 Al 7 Al 9 Al32 Al28 G7 G30 G31 G67 G76 G71 G90 G101 G118 G133 GL19 HM3

Structure de la classe

La classe 3 est encore plus nombreuse ! Elle comporte 27 articles, soit presque un tiers des articles du corpus. Elle couvre 11 pays dont surtout la France et le Royaume Uni. Parmi les 5

articles du Royaume Uni, le même auteur apparaît trois fois, et un autre auteur très proche apparaît deux fois.

Répartition par pays

France	10 articles
UK	5 articles
USA	3 articles
Autriche, Israël	2 articles

Pays-Bas, Mexique, Canada, Allemagne, Australie, 1 article

Tous les domaines sont couverts, et surtout la géométrie (10 articles) et l'algèbre (5 articles). Les TIC concernées vont des calculatrices graphiques aux CAS et logiciels d'algèbre comme CARAPACE ou de géométrie (Logo, Geologo, Cabri-géomètre, Geoplan,…, versions logicielles et sur calculatrices) et aux tuteurs intelligents (Mentoniezh).

Article central choisi

Les articles centraux sont à une distance très faible du centre de gravité. On a retenu pour analyse F 85 :

Kutzler, 1994, ***The future of teaching mathematics***. IDJ

En effet, il nous semble bien représenter la classe dont la seule modalité positive est relative aux changements opérés par les TIC sur les stratégies des élèves. Il s'agit d'une classe d'articles dont certains peuvent aborder ce problème de façon générale plus ou moins théorique, d'autres de façon plus précise et plus fine sur des données issues d'expérimentations. Comme ce dernier type d'articles se trouve analysé dans d'autres classes, nous avons choisi de retenir un article général.

Modalités caractéristiques de la classe

La classe se caractérise par un angle d'attaque de l'intégration large mais assez vague, puisque la seule modalité positive concerne l'influence des TIC sur les stratégies des élèves. La classe est aussi caractérisée par trois modalités négatives, l'absence de référence explicite aux situations d'utilisation ainsi qu'à l'influence des TIC sur le contrat et la dévolution.

Analyse de l'article central

L'article central retenu (Kutzler 1994, F85) est écrit par une personnalité bien connue, active et entreprenante de la communauté d'usage et de recherche sur le logiciel DERIVE. L'article part de la théorie des échafaudages, empruntée à Buchberger (1989) mais probablement en lien avec l'idée de « scaffolding » (étayage) de Bruner, sans que cela soit explicite dans l'article. Les nouvelles technologies, dont en particulier DERIVE, fournissent selon l'auteur des échafaudages au sens où ils permettent aux élèves d'avoir une activité mathématique, sans en maîtriser toutes les composantes mathématiques. L'exemple donné est celui des calculs algébriques élémentaires dans la résolution d'équations. Les élèves, grâce à DERIVE, peuvent ainsi mieux se concentrer sur le processus de résolution même, sans être gênés par la technique calculatoire. L'article montre alors comment grâce à des stratégies de type essai erreur, les élèves peuvent apprendre des contenus traditionnels. Il se livre ensuite à une réflexion sur les nouveaux objectifs que pourrait s'assigner un enseignement qui n'aurait plus à prendre en charge les aspects algorithmiques l'acquisition des automatismes du fait des nouvelles technologies.

Le résultat réside dans la construction d'une argumentation théorique appuyée sur des données empiriques non explicitées et sur des références à des travaux non détaillées, ainsi que dans les propositions avancées sur des nouveaux objectifs d'enseignement en termes de savoirs mathématiques. On doit tenir compte de l'ancienneté de l'article qui finalement pourrait servir de base de lancement pour des recherches expérimentales visant à mettre à l'épreuve les propositions théoriques avancées.

Confrontation aux autres articles de la classe

Comme nous l'avons dit plus haut, l'angle d'attaque large qui caractérise cette classe conduit à regrouper des articles considérant les situations d'utilisation sur la base d'une réflexion générale et d'autres les abordant de façon plus précise et plus fine sur des données issues d'expérimentations. Le type de réflexion produit dans l'article central est évidemment très général et confine à l'apologie. De ce point de vue, le pouvoir séparateur de l'analyse statistique semble assez faible pour cette classe et l'article central représente seulement une partie de la classe.

Parmi les articles qui appuient leur réflexion sur une expérimentation, les types de données empiriques recueillies, leur taille sont aussi très variables. La validation peut être interne ou externe. La classe est donc un agrégat d'articles différents. Une évolution semblerait se faire jour, les articles très généraux semblent plus anciens (de 94 à 97) que les articles fondés sur des expérimentations et données empiriques avec analyse de ces dernières.

Il est possible d'expliquer la présence de modalités négatives sur les situations dans certains articles de la classe

- l'absence de référence explicite aux situations d'utilisation, s'accorde avec une approche générale des TIC, (Beilby & Bishop 1994, F17 ; Clarou 1997, Al 9 ; Aspetsberger 1996, F11 ; Balacheff, 1994 GL 19 ; Sorribas 1995, GL 34), sans cadre théorique explicite pour certains articles.
- Les deux autres modalités, l'absence de référence à l'influence des TIC sur le contrat et la dévolution, peuvent être dues à un cadre théorique différent de ceux utilisés pour constituer l'entrée « situations » de la grille. On trouve donc dans cette classe des travaux étrangers qui reposent sur des données expérimentales précises et détaillées, analysant les stratégies des élèves. Des travaux comme ceux de Hoyles et Healy 1997 (HM3), Stevenson & Noss 1998 (G 133), Hölzl 1996 (G 67) développent des cadres théoriques spécifiques inspirés de la cognition située, présentant des concepts originaux comme ceux de « situated abstraction » et de « webbing ».

Partition « Sémiologie-épistémologie »

Classe 1

GF29 A10 Al32 HM3 FE6 A 23 F10 C32 G30 GL19 HM1 HM2

Structure de la classe

Graphiques et analyse	3/12
Homme/machine	3/12
Numérique	1/12
Algèbre	1/12

Calcul formel	1/12
Formation des enseignants	1/12
Réflexion générale	1/12
Géométrie	1 /12

Cette classe comporte 9 articles français et 3 articles anglo-saxons

Article central

Al 32 : Kieran C., Boileau A., Garançon M., 1996, *Introducting algebra by means of technology-supported, functional approach,* Approaches to algebra, Perspectives for research and teaching.

Modalités caractéristiques de la classe

L'angle d'attaque de ces articles correspond à une analyse épistémologique et sémiotique du savoir mathématique assez complète intégrant les TIC. Les modalités suivantes caractérisent cette classe :

- La variable changement et articulation de registres intervient dans l'analyse (84%).
- Les problèmes d'articulation entre l'environnement papier / crayon et l'environnement technologique sont pris en compte (84%).
- Une analyse du savoir mathématique intégrant les TIC est toujours présente (100%). Cette analyse peut intervenir en intégrant plusieurs notions, celle de transposition informatique (75%) ou celle d'obstacle épistémologique (58 %).
- L'influence des TIC sur la pratique mathématique est analysée (82%) ainsi que sur les modes de validation (75 %).

Analyse de l'article central

Kieran, Boileau, Garançon (Al 32) étudient l'influence du logiciel CARAPACE sur l'introduction de l'algèbre auprès de différents groupes d'élèves de 12 à 15 ans. La conception du logiciel CARAPACE s'appuie sur une analyse didactique de l'algèbre et prend donc en compte des approches sémiotique et épistémologique.

Le logiciel est un environnement de résolution de problèmes fonctionnels qui inclut trois modes de représentation : « algorithmique », tableau de nombres et représentation graphique. La représentation « algorithmique » de CARAPACE n'est pas un symbolisme traditionnel mais se rapproche plutôt du langage naturel.

Les situations construites s'appuient sur une analyse de la pensée algébrique et privilégient l'entrée dans la pensée algébrique à partir de la notion de variable.

Les résultats montrent que l'utilisation de cet environnement informatique favorise l'entrée dans la pensée algébrique à partir de la notion de variable et permet d'approcher cette notion dans un contexte plus large. Cette approche ne semble pas confronter les élèves aux obstacles liés à la transition de l'arithmétique à l'algèbre et rencontrés dans l'approche usuelle.

Mais le travail dans cet environnement montre que les élèves ne peuvent pas construire spontanément des connaissances concernant la manipulation algébrique. Les élèves privilégient toujours les approches numériques et graphiques.

Confrontation aux autres articles de la classe

Les articles de la classe diffèrent sur l'ampleur de l'analyse épistémologique et sémiotique réalisée pour concevoir ou utiliser des environnements informatique d'apprentissage d'une notion donnée. Ils diffèrent aussi sur l'analyse des améliorations attendues. Les auteurs de l'article central perçoivent les limites de leur logiciel à travers les entrées retenues, essentiellement d'ordre cognitif, épistémologique, situationnel et sémiotique : les améliorations sont questionnées quant aux rapports des formés aux mathématiques et plus particulièrement à l'aspect langagier de l'algèbre. Les auteurs évoquent la nécessité de continuer l'étude sur l'introduction de la manipulation symbolique à des étudiants qui ont découvert l'algèbre avec CARAPACE. Ils insistent en particulier sur la nécessité d'utiliser les nouveaux environnements (calculateurs, tableurs, résolveurs, etc.) en précisant que ces environnements utilisent différents modes de représentation qui ne sont pas facilement accessibles aux élèves.

Cette utilisation non spontanée des modes de représentation spécifiques aux nouveaux environnements renvoie à la nécessité de ne pas se limiter à une analyse « conceptuelle ». L'analyse sémiotique et épistémologique, qui constitue le « fond commun » de cette classe, ne permet pas à elle seule d'évaluer la pertinence didactique de ces environnements. Il faudrait poser la question des techniques d'utilisation et pour cela prendre en compte d'autres dimensions, instrumentale et institutionnelle.

Autres classes

Les 3 autres classes sont peu informatives. Nous les évoquons brièvement.

Classe 2

Structure de la classe

Numérique	1/8
Algèbre	2/8
Géométrie	4/8
revue EPI	1/8
Réflexion générale	1/12

Cette classe comporte 5 articles français et 3 articles anglo-saxons

Modalités caractéristiques de la classe

Cette classe est reliée à la classe 1. L'analyse épistémologique du savoir mathématique intégrant les TIC s'appuie sur la notion de transposition informatique et non sur celle d'obstacle épistémologique.

Classe 3

Structure de la classe

Numérique	1/29

Algèbre	3/29
Géométrie	12/29
calcul formel	6/29
Formation des enseignants	2/29
Graphe Fonction /analyse	3/29

Modalités caractéristiques de la classe

Cette classe est reliée à la classe 1 via la classe 2. Ici, l'analyse épistémologique du savoir mathématique intégrant les TIC ne s'appuie sur aucun outil théorique.

Classe 4

Cette classe contient 28 articles qui ne proposent aucune analyse épistémologique : elle n'est pas informative.

Partition « Cognitif »

Classe 1

GF29 A10 GF25 A15 A23 A14 GF31 A26 A27 F101 F107 F110 F124 F131 C32 Al 5 Al 7 Al14 C11 Al32 Al28 C 27 Al29 G31 G91 HM2 HM3

Structure de la classe

Analyse	6/27	Canada	1/27
Algèbre	6/27	Australie	2/27
Calcul	3/27	France	7/27
Calcul formel	5/27	Finlande	1/27
Géométrie	2/27	Israël	3/27
Graphique, Fonctions	3/27	Mexique	1/27
Home/machine	2/27	Grande Bretagne	7/27
		Etats Unis	6/27

Les thèmes sur-représentés (par rapport à leur nombre dans le corpus total) sont l'analyse, les « graphiques/fonctions » et « interaction homme/machine ». La géométrie est sous-représentée. Les pays dont l'effectif est le plus fort (F et UK) sont équitablement représentés. Les Etats Unis paraissent sur-représentés et l'Allemagne, l'Autriche et l'Australie sous-représentés.

Article central

Al 28 : Rousselet M. (1996), *Can DERIVE ease the learning of elementary algebra*?, IDJ

Parmi les articles centraux, il a été fait le choix d'un article d'un auteur français étudiant l'enseignement des débuts de l'algèbre à l'aide du calcul formel.

Modalités caractéristiques de la classe

Dans cette classe, les articles appuient leurs analyses sur le fonctionnement cognitif de l'apprenant et prennent en compte l'influence des TIC sur la conceptualisation.

L'approche cognitive est principalement constructiviste (plutôt que Socio-Culturelle ou « sciences cognitives ») et s'exprime en termes d'images mentales.

L'influence de l'environnement sur la conceptualisation est analysée en termes de possibilités de visualisation et d'action, ce qui est cohérent avec l'option constructiviste et les images mentales.

On reconnaît une approche du fonctionnement cognitif de l'apprenant souvent mise en avant lors des expériences d'introduction des TIC dans l'enseignement des maths et ailleurs d'inspiration constructiviste et faisant une place importante aux images mentales. Au chapitre 3 de ce rapport, analysant de façon qualitative les différents cadres théoriques mobilisés pour l'analyse de l'introduction de TIC dans l'enseignement des mathématiques, nous avons noté la domination d'approches essentiellement cognitives où le constructivisme tient une place importante, plus souvent sous le mode de l'invocation que sur celui d'une réelle utilisation. Cette classe reflète bien ces approches.

L'analyse, l'algèbre, le calcul et les approches graphiques de la notion de fonction, c'est-à-dire le numérique en général sont des thèmes de choix. L'effectif assez élevé (plus du tiers de l'effectif total) de cette classe, sa répartition dans les différents thèmes et nationalités montrent clairement que ce type d'approche cognitive reste très largement présent dans les analyses de l'introduction des TIC particulièrement dans certains pays et sur certains thèmes liés à la visualisation.

On peut faire l'hypothèse que ce phénomène ne concerne pas seulement les mathématiques.

Analyse de l'article central

Rousselet (Al 28) propose des hypothèses sur les apports d'un logiciel, ici DERIVE, aux premiers apprentissages en algèbre et en géométrie analytique. L'article se termine par des conclusions générales assez peu appuyées. Il s'agit essentiellement de prédictions sur l'effet de DERIVE. Ainsi DERIVE devrait changer le style et le mode de travail et les exercices proposés seraient d'une plus grand envergure. Il ne changerait pas les contenus des premiers apprentissages et ce qui concerne les manipulations.

On peut repérer quelques grands cadres d'analyse, cohérents avec la présence de l'article à proximité du centre de la classe : une approche constructiviste de l'acquisition des connaissances (résolution de problèmes), une approche « expérimentale » des mathématiques (conjectures, preuves, vérification), mais celles-ci ne sont pas réellement explicitées. L'auteur a testé le logiciel DERIVE dans ses classes sur une durée de 3 ans et les apports du logiciel qu'ils souligne reposent la plupart du temps sur des observations personnelles et sont illustrés par un exemple. Les apports suivants sont mentionnés :

- une meilleure compréhension de règles syntaxiques et des transformations algébriques,
- un élargissement de la notion de nombre,
- la possibilité de focaliser l'enseignement sur l'apprentissage de méthodes de résolution.

Selon l'auteur, les changements apportés par DERIVE concernent davantage les exercices et problèmes que l'apprentissage des manipulations.

Cet article montre que le cadre cognitif assez général qui caractérise cette classe peut s'accompagner d'une certaine naïveté sur le rôle des TIC. Ce cadre cognitif semble ne pas

permettre la prise en compte des contraintes spécifiques du logiciel choisi, ce qui réduit la portée de l'étude. La non présence de données d'expérimentation réduit aussi la portée de l'étude.

Confrontation aux autres articles de la classe

L'article retenu a son intérêt comme témoignage d'un praticien, appuyé sur des hypothèses cognitives et une observation « naturaliste ». D'autres articles de la classe ont une méthodologie plus solide. Il semble cependant qu'ils soient, comme l'article retenu, assez nombreux à ne pas prendre en compte des contraintes spécifiques du logiciel dont ils étudient l'introduction. Ainsi, deux autres articles du même thème calcul formel, F124 et F131, qui veulent par une méthodologie « externe » prouver rigoureusement les apports de l'introduction de cette technologie, ne mentionnent en aucune manière les difficultés que peuvent créer cette introduction. Toujours dans le même thème, F101 découvre ces difficultés à l'issue de son étude également « externe » et peine à les interpréter faute d'un cadre théorique adéquat.

Il existe également dans la classe des articles qui traitent effectivement ces difficultés, mais il faut noter que leur approche théorique ne se limite pas au cadre cognitif qui caractérise cette classe. L'approche « instrument », que nous avons située comme une entrée spécifique vient, chez ces auteurs, aider à dépasser la naïveté que nous avons notée chez d'autres auteurs de la classe. Le lien n'est cependant pas fait avec des concepts comme la cognition située ou le « webbing », qui pourraient aussi pourtant contribuer à ce dépassement.

Classe 2

GL2 F10 F143 G17

Structure de la classe

Géométrie	1
Calcul formel	2
Réflexions générales	1

Cette classe comporte 2 articles français et 2 articles étrangers, dont 1 anglo-saxon (en tout, 3 pays représentés).

Article central

GL2 : **Dörfler, W.**, **1995,** *Mathematical objects, representation and imagery,* NATO ASI Series

Modalités caractéristiques de la classe

Cette classe se caractérise par une seule modalité : l'évocation d'invariants opératoires.

Analyse de l'article central

W. Dörfler (GL2) montre à travers les différents exemples de concepts mathématiques considérés, que les différents systèmes de représentation des objets mathématiques qui sont accessibles et peuvent être manipulés ne permettent pas de construire des images mentales qui soient « conformes » aux objets mathématiques eux-mêmes. Cependant, l'auteur souligne l'importance de la visualisation pour comprendre le discours mathématique : les « schémas

images » permettent de donner un sens aux objets mathématiques, sans pouvoir directement les imaginer. Les « schémas images » construits à partir de manipulations concrètes permettent de parler des objets, d'où l'importance de varier les représentations.

Après avoir souligné le rôle fondamental des représentations et de l'image dans les premières phases du développement de ce qu'il nomme « attitude mathématique », l'auteur rappelle les potentialités de l'ordinateur dans ce domaine qui permet de concevoir des nouvelles formes de représentation et, par conséquent, de nouveaux types d'objets mathématiques. On retrouve l'idée de « webbing », développée dans (Noss & Hoyles 96), de cognition, images, attitudes et convictions, indispensable pour être à l'aise avec le discours mathématique.

La notion d'image mentale, constitutive de la classe précédente est donc présente, mais la notion d'invariant opératoire vient la spécifier.

Confrontation avec les autres articles de la classe

L'article central ne mentionne les TIC que pour dire qu'elles permettent d'inventer de nouvelles formes de représentation. L'article F143 porte sur la comparaison des attitudes des élèves selon le logiciel utilisé (tableur/ calcul formel). Les deux autres articles sont centrés sur un seul logiciel. L'un porte sur l'analyse des processus d'instrumentation de la TI-92. L'autre a pour objectif d'utiliser l'environnement Cabri pour la conception de situations d'apprentissage permettant de prendre en compte certains obstacles habituels en ce qui concerne les vecteurs. La classe se compose donc d'articles variés dans leur thèmes et dans leur analyse.

Les articles non centraux confirment la caractérisation de cette classe 2 comme « variante » de la classe 1 analysée ci-dessus. L'arbre de similarité (annexe 3) montre en effet le lien entre les deux classes. Les auteurs partent d'une approche globalement constructiviste et la spécifient par le concept d'invariant opératoire qu'ils sont les seuls à utiliser. Par comparaison avec une majorité d'articles de la classe précédente, l'arrière plan cognitif dans ces quatre articles est plus riche, l'analyse développée est plus fine et les résultats plus nuancés.

Par exemple, F10 est un rapport de recherche d'un projet national portant sur l'intégration de la TI92 dans l'enseignement des mathématiques au lycée. Dans cette problématique globale de l'intégration, une attention particulière est portée notamment à l'analyse du fonctionnement mathématique avec de tels objets.

L'accent est mis sur les effets de la disponibilité permanente de l'outil, avec les changements positifs que cela induit mais aussi l'illusion de transparence et les pratiques d'assimilation que la quotidienneté peut renforcer. L'analyse des schèmes mis en œuvre dans l'utilisation conduit à poser comme centrale la question de l'instrumentation dans ses composantes officielles et personnelles.

Classe 3

G61 G118 G134 HM1 FE1 FE2 FE7 FE8 FE9

Structure de la classe

Sur neuf articles, un est allemand, quatre français, un israélien un anglais et un vint des états-unis.

Cinq articles ont pour thème l'enseignant, trois la géométrie et un l'interaction homme-machine .

La répartition par nationalité n'est pas très informative, vu l'effectif de la classe, si ce n'est que les français semblent nombreux. Les articles du thème « Enseignants » sont très représentés. Il en est de même des articles « Homme-machine » si l'on considère que G61 et G118 portent sur des environnements d'apprentissage. Notons dès à présent que les environnements considérés dans cette classe sont des « tutoriels ». Les articles « Enseignants » portent sur la formation initiale et s'intéressent au transfert de la formation vers l'enseignement.

Article central

G118 : Py D., 1996, *Aide à la démonstration en géométrie : le projet Mentoniezh*, Sciences et Techniques Educatives

Modalités caractéristiques de la classe

Par différence avec la classe 1 de cette partition « cognitif », l'approche retenue est principalement « sciences cognitives », plutôt que constructiviste, et elle s'exprime en termes d'outils cognitifs plutôt que d'images mentales.

Ces deux modalités sont cohérentes entre elles.

Analyse de l'article central

Py (G118) présente un logiciel du point de vue de sa conception en relation avec des principes ou postulats bien formulés. L'article est caractéristique de la contribution des chercheurs en Intelligence Artificielle au domaine des EIAH (Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain) et le cadre théorique est ainsi plus proche des cadres théoriques informatiques que de ceux de l'éducation ou de la didactique.

Les principes ou postulats sur ce que doit être un tuteur artificiel, par contraste avec un micromonde, constituent le cadre dans lequel le logiciel a été conçu : analyse et interprétation des actions des élèves, résolution pédagogique de problèmes de géométrie, calcul de décision sur les feed-back à l'élève. Un principe directeur est que l'enseignant doit pouvoir paramétrer l'environnement en fonction de ses propres critères de pertinence sur les usages.

Si ce qui concerne la modélisation des connaissances et de l'élève est explicite, en revanche la connaissance dite pédagogique est « diffuse » dans la conception et la réalisation de ce logiciel. Le traitement des implicites, lié au contrat didactique, a été imposé par les mises en œuvre sur le terrain des versions successives. Le suivi tutoriel s'appuie sur la distinction entre pas de démonstration utiles et inutiles, possibles et impossibles, et la possibilité de régler le niveau et type d'implicite. La prise en compte de l'élève ne cherche ainsi pas à être plausible d'un point de vue psychologique, mais plutôt à permettre une efficacité fonctionnelle de l'interaction.

Les modalités caractéristiques de la classe se retrouvent bien dans cet article. L'analyse de l'article donne l'impression d'une grande fonctionnalité de ce cadre, par différence avec la classe 1, où, dans de nombreux articles, le cadre constructiviste sert de référence générale sans réellement être investi dans l'expérimentation et l'interprétation des résultats.

Confrontation aux autres articles de la classe

Comme noté plus haut, nous trouvons donc dans cette classe des articles s'intéressant aux « tuteurs intelligents » humains (enseignant) ou machine (environnements). L'analyse de ces articles confirme l'impression de fonctionnalité du cadre cognitif qui caractérise la classe, ainsi que de rigueur dans la prise en compte des nécessités du terrain.

Classe 4

GF9 G114 G133 G67 G71 G74 G76 F86

Structure de la classe

Sur huit articles, un est autrichien, un est allemand, un est français et cinq viennent de Grande-Bretagne.

Six articles ont pour thème la «Géométrie » et les deux autres l'analyse (graphe fonction et calcul formel).

La production britannique sur le thèmes de la géométrie domine donc cette classe, avec d'ailleurs quatre articles sur huit dont un au moins des auteurs est R. Noss ou C. Hoyles, les auteurs de l'ouvrage déjà cité « Windows on Mathematical Meanings ». On note également un article faisant l'apologie des potentialités d'une nouvelle calculatrice « à calcul formel » (F86) déjà analysé dans la partition « situations » (B. Kützler) et un article assez original dans la production française par l'analyse de phénomènes liés à la visualisation (GF9), qui est d'ailleurs l'article central de la classe selon le traitement statistique.

Modalités caractéristiques de la classe

Cette classe se caractérise non par une approche cognitive spécifique, mais par la variété et l'originalité des concepts qui permettent de l'exprimer. La cognition située semble un concept fédérateur puisque la classe se confond pratiquement avec l'ensemble des publications du corpus qui y font référence. Le « Webbing » concept central chez Noss et. Hoyles pour sortir de l'impasse que crée le caractère nécessairement contextualisé de l'abstraction, est également très présent. La présence moins affirmée du concept d'étayage est cependant cohérente avec ce qui précède.

Tous les auteurs s'intéressent à la visualisation, ce qui n'est pas spécifique de cette classe, mais montre comment cet intérêt peut conduire à l'utilisation de nouveaux concepts. Ils sont aussi nombreux à souligner l'intérêt des TIC pour les possibilités de connexion qu'elles apportent entre différents champs de la connaissance.

Nous n'avons pas pu, dans le temps imparti à cette étude, approfondir davantage l'analyse de cette classe. Nous soulignons seulement qu'elle manifeste bien l'évolution des problématiques que nous avons mise en évidence de façon qualitative au chapitre 3. La cinquième et dernière classe n'est pas informative.

Partition « Enseignant »

Cette partition se caractérise par la présence d'une classe comportant 69 articles sur 79. Cette classe rassemble les articles, manifestement les plus nombreux, qui ne considèrent pas l'enseignant dans leur problématique. Parmi les 10 articles restant, l'analyse statistique distingue trois classes. Ces classes sont, comme il fallait s'y attendre, peu fournies. Elles se caractérisent néanmoins par des modalités qui permettent de les considérer comme informatives.

Classe 1

Effectif : 69

Non informative

Classe 2

A27 F89

Structure de la classe

Domaines : Un article de calcul formel et un article d'algèbre

Effectif par pays : un français et un étasunien.

Article central

F89 : Lagrange J.B., 1996, *Analyzing actual use of a computer algebra system in the teaching and learning of mathematics: an attitudinal survey of the use of DERIVE in French classrooms,* IDJ.

Modalités caractéristiques de la classe

Cette classe est caractérisée essentiellement par un souci d'étudier les représentations des utilisateurs (enseignants/étudiants) concernant l'utilisation des TIC. On n'y note pas un changement de ces représentations après une utilisation en classe. Il n'y a pas d'étude des représentations concernant les mathématiques ou leur enseignement.

Analyse de l'article central

Lagrange (F89) n'étudie pas spécifiquement l'enseignant. Au cours d'une recherche sur l'utilisation de DERIVE dans les classes de l'enseignement secondaire français, les enseignants engagés dans une expérimentation de ce logiciel ont été interrogés sur leur attentes par rapport à une utilisation des TIC dans leur classe. Des données sur les élèves ont été aussi recueillies par questionnaire et observation. L'analyse de ces données montre que les difficultés rencontrées lors des séances d'utilisation du logiciel peuvent s'analyser comme résultant d'hypothèses optimistes que font les enseignants sur l'impact des TIC sur l'apprentissage.

Confrontation aux autres articles de la classe

Le deuxième article de cette classe (Chacon et al) analyse plutôt l'attitude des étudiants vis à vis d'un module d'enseignement assisté par ordinateur. Il prend en compte la disponibilité et les contraintes de l'outil dans le dispositif d'enseignement.

Etant donné les approches différentes et le faible effectif de la classe, nous ne pouvons pas procéder à une généralisation des liens repérés dans cette classe.

Classe 3

Al 9 FE1 FE5 FE6 FE7

Structure de la classe

Effectif par pays : 3 articles français, un article de Grande-Bretagne et un des Etats-Unis.

Domaines : un article de calcul formel, deux de géométrie et deux de réflexion générale, quatre articles portant spécifiquement sur le thème « enseignant ».

Article central

Il est difficile de définir un article central dans cette classe étant donné d'une part la variété des approches et d'autre part le fait que deux des cinq articles sont des articles de réflexion générale basés sur des résultats de recherche. En se fiant au traitement statistique nous pouvons désigner l'article FE7 comme central de la classe.

Clarou Ph., 1998, *The integration of IT and teacher training : supporting teachers in their use of hardware and software tools in the school mathematics classroom,* ICT in school

Modalités caractéristiques de la classe

Les articles s'intéressent aussi bien à la formation initiale que continue et en font essentiellement des descriptions. Cette formation est plutôt celle de l'enseignant comme utilisateur lui même en premier lieu des TIC. On y évoque les difficultés concernant le transfert de la formation vers l'utilisation en classe. Il n'y a pas d'analyse des représentations des enseignants.

Analyse de l'article central

Clarou (FE7) montre, à travers un modèle de formation initiale, la possibilité de prise en compte dans la formation des résultats de différentes recherches sur les environnements de géométrie dynamique. Il commence par dresser un état des lieux de l'utilisation des TIC dans l'enseignement des mathématiques, axé autour du rôle de l'enseignant et souligne une inertie de la majorité des enseignants face aux TIC et ceci pour diverses raisons, comme par exemple :

- la non maîtrise des différents aspects des situations qu'ils pourraient proposer aux élèves,

- le coût élevé de l'investissement dans cette direction (TIC), et le manque de temps pour le faire.

Il souligne ensuite à l'intérêt d'habituer les futurs enseignants à l'utilisation des TIC pendant la formation initiale en IUFM. En partant de l'hypothèse que Cabri est un logiciel facile d'accès et présentant des potentialités importantes pour l'enseignement de la géométrie, il présente deux types de formation d'enseignants :

- la première s'adresse aux élèves-professeurs des écoles primaires. Elle leur permet de raviver leurs connaissances de la géométrie euclidienne, non dans un sens scolastique mais en leur ouvrant de nouvelles perspectives.
- la deuxième s'adresse aux professeurs stagiaires du secondaire. La formation est organisée en trois phases : première approche de Cabri, approfondissement des connaissances sur les outils Cabri, présentation d'une variété d'utilisations possibles de Cabri en classe. Cette dernière est suivie d'une réflexion et un débat sur l'enseignement de la géométrie dans le secondaire et sur l'utilité de l'usage d'un logiciel de géométrie dynamique.

L'article a ainsi pour ambition de situer la formation des enseignants comme un élément clé pour améliorer l'intégration des TIC dans l'enseignement.

Confrontation aux autres articles de la classe

Mis à part un article qui fournit plutôt un compte rendu commenté d'une formation continue d'enseignants, l'ensemble des articles de la classe évoquent le temps comme variable importante, un temps plus long que celui des environnements habituels.

Nous pouvons considérer d'une façon générale que l'angle d'attaque adopté par les articles de la classe est la prise en compte des résultats des recherches, en particulier celles de didactique des mathématiques, dans la formation aussi bien initiale que continue des enseignants.

Classe 4

FE2 FE8 FE9

Structure de la classe

Effectif par pays : un article français, un article de Grande-Bretagne et un de Grèce.

Domaines : Ce sont trois articles sur le thème de l'enseignant. L'un porte sur le calcul formel et les deux autres sur la géométrie.

Il n'y a pas réellement d'article central dans cette classe. les trois articles sont à une distance comparable et élevée du centre de la classe.

Modalités caractéristiques et des articles de la classe

Il s'agit d'articles s'intéressant à la formation continue de l'enseignant, essentiellement en tant qu'utilisateur des TIC dans sa classe. On y évoque les difficultés concernant le transfert de la formation vers l'utilisation en classe. On analyse les représentations de l'enseignant concernant les mathématiques et leur enseignement, mais on ne note pas un changement de ces représentations à l'issue d'une utilisation des TIC en classe.

Deux de ces trois articles fournissent une analyse des représentations de l'enseignant concernant les TIC et évoquent un décalage entre ce que dit l'enseignant et ce qu'il fait réellement dans sa classe lors d'une utilisation des TIC. Le traitement statistique donne un de ces deux articles comme central de la classe.

Le troisième article fournit une analyse de la formation proposée (contrairement aux deux autres où il s'agit uniquement d'une description) basée sur une prise en compte des potentialités et des contraintes des TIC.

La présence de ces deux approches dans une classe qui comprend seulement trois articles, nous incite, par prudence, à ne pas procéder à une généralisation des liens repérés. Nous pouvons néanmoins dire d'une part que les deux angles d'attaque des classes précédentes se retrouvent dans cette classe et d'autre part qu'un nouvel angle apparaît, le transfert de la formation vers l'utilisation en classe. Ce dernier est présent dans les articles des autres classes mais n'est pas apparu comme caractéristique de ces classes.

III. Tableau de Synthèse

Toutes entrées

Classes, caractérisation, structure	Analyse
Classes 1 et 2 Intégration, multi-dimensionnalité. 11 articles surtout français portant peu sur la géométrie. Classe 3 Analyse des TIC privilégiant les dimensions cognitives, sémiologiques et épistémologiques. 23 articles, avec une répartition géographique équilibrée et portant peu sur le calcul formel.	L'analyse statistique sépare nettement une approche multidimensionnelle de l'intégration des TIC et une approche plus centrée sur une analyse didactique fine des contenus en rapport avec les TIC. L'analyse épistémologique est au centre des préoccupations de la seconde approche alors que dans la première approche elle n'est qu'une dimension parmi notamment les dimensions instrumentale, institutionnelle, situationnelle. La variable « dispositif d'enseignement » est très présente dans la première approche et absente de la seconde.

Problématique générale

Classe 1 Mise à l'épreuve d'hypothèses d'améliorations apportées par un logiciel ou des calculatrices. 35 articles, répartition équilibré des nationalités et domaines. Classe 2 Postulat a priori que les TIC vont améliorer les performances ou les conceptions des formés. 7 articles. La culture anglo-saxonne, et les domaines calcul, algèbre, calcul formel dominent.	Dans cette partition, les deux classes les plus informatives séparent les articles qui présentent une problématique marquée. Dans la classe 1, les articles s'interrogent plutôt sur les raisons d'introduire les TIC et l'expérimentation questionne les connaissances, rapports et conceptions réellement développées dans l'usage des TIC étudié (comme dans la classe 3 ci-dessus). Dans l'autre classe, les articles partent d'améliorations qui sont postulées à la suite d'une réflexion théorique plus ou moins développée. L'article propose alors une mise en œuvre et s'attache à montrer qu'elle permet bien d'atteindre les améliorations attendues. La démonstration est apportée par validation externe. Nous avons noté que certains articles se trouvent en quelque sorte à la frontière des deux classes. De plus, les classes 1 et 2 se rejoignent en abordant peu les questions d'intégration.

Instruments

Classe 1 Prise en compte du dispositif, des contraintes, de la dimension sociale, mais pas du temps. 14 articles, avec une répartition équilibrée des nationalités privilégiant les domaines graphique et analyse. Classe 4 Centration sur le temps nécessaire à l'intégration des instruments. 6 articles essentiellement français et sur la géométrie. Classe 5 Le temps que les environnements permettraient ou non de gagner. 8 articles avec une dominante calcul formel et répartition géographique assez équilibrée.	L'analyse sépare la classe 1 qui prend en compte les variables clés de l'intégration à l'exception du temps, de deux autres classes qui sont formées à partir de cette question du temps, mais sous deux angles différents. On trouve dans la classe 1 des articles concernant des expérimentations de longue durée et des situations où l'instrument est disponible en permanence. Dans ce contexte, l'influence de nombreuses variables est à considérer, et l'évolution du rapport à l'instrument dans le temps a été moins l'objet d'attention que d'autres variables. Dans la classe 4, cette évolution est en revanche une préoccupation centrale qui paraît notamment s'imposer dans les recherches sur la géométrie dynamique. Dans la classe 5 le temps est vu à partir de l'idée que les TIC pourraient permettre d'aller plus vite dans les apprentissages. Il s'agit d'une vision a priori des avantages de la technologie, que certains articles s'attachent à démontrer, tandis que d'autres montrent que la question n'est pas si simple.

Approche institutionnelle et anthropologique

Classe 1 Les techniques instrumentées s'insèrent dans des tâches existantes et interagissent avec les techniques papier/crayon. 12 articles en majorité français avec une dominante analyse et interaction homme machine. Classe 3 Les TIC vus à travers les nouvelles tâches. Les nouvelles techniques instrumentées sont analysées par les modifications qu'elles entraînent sur le rapport aux objets de savoir 17 articles en majorité anglo-saxons, avec une dominante géométrie-algèbre.	L'analyse sépare des travaux sur des séquences d'enseignement utilisant les TIC à partir des tâches habituelles, et l'étude de nouvelles tâches pour l'utilisation des TIC. Elle oppose donc des travaux sur l'utilisation des TIC dans le cadre d'un curriculum existant et des recherches à la marge du curriculum. La façon dont les nouvelles techniques instrumentées sont appréhendées sépare bien les deux classes. La classe 1 se préoccupe des conditions dans lesquelles des techniques instrumentées productives peuvent se développer, alors que ces nouvelles techniques sont étudiées pour leurs apports à la compréhension dans la classe 3. Cette opposition se situe principalement entre des travaux généralement français sur l'intégration de l'outil informatique à long terme et des travaux de culture plus anglo-saxone dont l'objet principal est le rapport au savoir à travers les modifications qu'il subit quand les conditions de l'activité mathématique change. Ainsi, les préoccupations écologiques par rapport aux élèves et aux conditions matérielles sont présentes dans les travaux français davantage que dans les travaux anglo-saxons.

Situations

Classe 1 L'articulation entre tâches, contenus mathématiques, milieu et élèves, indépendamment de 15 articles avec une répartition équilibrée entre domaines et concernant surtout la France et les Etats Unis. Classe 3 L'influence des TIC sur les stratégies des élèves 15 articles avec une répartition équilibrée entre domaines et nationalités.	L'analyse sépare des articles qui s'intéressent à des aspects variés des situations d'utilisation des TIC (curriculum, contenus mathématiques les conceptions des élèves, leurs types de démarche, leurs rapports aux TIC, l'organisation du travail en classe…) et d'autres pour lesquels les stratégies des élèves constituent le point d'intérêt central. L'analyse met ainsi en évidence avec la classe 3 un style d'article sur les TIC où une réflexion de portée générale s'appuie essentiellement sur les modifications des stratégies des élèves. Cette réflexion peut être de nature très diverse de l'introduction de concepts didactiques nouveaux et intéressants pour analyser ces modifications à des approches plus sommaires, voire apologétiques. L'enseignant semble absent de l'analyse de la situation.

Sémiologie-Epistémologie

Classe 1 Analyse épistémologique et sémiotique, notion de transposition informatique et d'obstacle épistémologique 12 articles, en majorité français. Classe 2 Analyse épistémologique et sémiotique, notion de transposition informatique 8 articles en majorité sur la géométrie.. Classes 3 Analyse épistémologique et sémiotique. 29 articles en majorité sur la géométrie.	L'analyse isole trois classes qui comportent toutes une analyse épistémologique et sémiotique du savoir mathématique intégrant les TIC, avec une richesse décroissante dans les outils théoriques utilisés. Ces trois classes rassemblent une large majorité d'articles du corpus, témoignant ainsi de l'importance accordée aux dimensions épistémologique et sémiotique, même si dans beaucoup d'articles, les concepts pertinents pourraient être davantage utilisés. Les difficultés repérées dans ces articles renvoient souvent à la nécessité de dépasser les seules entrées épistémologique et sémiotique pour prendre en compte l'intégration de l'environnement dans ses dimensions instrumentales et institutionnelles.

Cognitif

Classes 1 et 2 La conceptualisation via les images mentales créées à l'aide des TIC dans une approche constructiviste complétée, dans quatre articles, par la notion d'invariant opératoire 31 articles de toutes nationalités portant sur l'analyse, et l'algèbre plus que sur la géométrie. Classe 3 Une approche « sciences cognitives » exprimée en termes d'outils cognitifs Neuf articles en majorité français, portant surtout sur l'enseignant et l'interaction homme-machine. Classe 4 Cognition située, étayage, webbing Huit articles européens en majorité de Grande-Bretagne et sur la géométrie.	L'analyse sépare un groupe nombreux formé d'articles présentant un cadre cognitif général d'inspiration constructiviste et des classes où des concepts plus spécifiques sont utilisés. Dans le premier groupe, il existe de nombreux articles où l'approche cognitive n'est pas réellement mobilisée. Dans les autres groupes, les nouveaux concepts apparaissent plus opératoires. Notamment dans la classe 3 les articles qui s'intéressent à la création et à l'expérimentation d'environnements mobilisent un cadre cognitif original pour intégrer les nécessités du terrain. Ceci rejoint l'évolution dans les théorisations cognitives que nous avons repérée dans l'approche qualitative, et qui, nous l'avons dit, conduit à des cadres plus utilisables dans une perspective d'intégration.

Enseignant

Classe 2 Les représentations des enseignants et étudiants utilisant des TIC Deux articles Classe 3 L'enseignant comme utilisateur lui même des TIC. Cinq articles Classe 4 La formation continue Trois articles	L'analyse sépare tout d'abord la classe la plus nombreuse formée des 69 articles où l'enseignant n'est pas étudié. Ensuite, parmi les 10 articles restant, elle regroupe trois classes par centre d'intérêt. Ces classes sont évidemment peu fournies. Une analyse au cas par cas montre l'importance d'un facteur comme les représentations des enseignants, l'intérêt de la prise en compte des résultats des recherches dans la formation ainsi que la nécessité d'interroger les transferts de cette formation vers l'utilisation en classe.

CHAPITRE V

VERS UN CAHIER DES CHARGES DE L'INTEGRATION

La présentation synthétique des résultats de l'analyse statistique du chapitre précédant converge globalement avec l'analyse qualitative des fiches de lecture du chapitre 3. Cette convergence était certes attendue, l'ensemble des traitements et interprétations étant effectués par les chercheurs travaillant ensemble sur ce projet. Elle est cependant l'indice d'une cohérence certaine des résultats, la recherche rassemblant des équipes éloignées géographiquement et ayant des approches spécifiques des TIC.

Cette cohérence des résultats nous permet d'aborder la définition d'un cahier des charges de l'intégration des nouvelles technologies, objectif que nous nous étions fixés dans notre réponse à l'appel d'offres. Ce cahier des charges s'adressera en premier lieu à la recherche sur l'intégration des TIC dans l'enseignement, en particulier des mathématiques. Nous en attendons aussi des apports concrets aux innovations et dans la pratique usuelle de l'enseignement.

Que retenir en priorité de nos résultats pour la définition de ce cahier des charges ? Nous allons considérer l'intégration des TIC dans l'enseignement par les effets de leur usage sur le réseau complexe des interactions entre les trois pôles du système didactique (élève ou formé, savoirs, enseignant). Après avoir fait le bilan des recherches concernant les deux premiers pôles, constitutifs de l'apprentissage, nous montrerons que les publications étudiées peinent à considérer réellement les trois pôles dans leur interaction et donc à aborder la problématique de l'enseignement.

I. La place dominante du pôle apprenant (élève ou formé) dans l'analyse de l'introduction des TIC

L'analyse statistique du corpus reflète de façon éclatante que le pôle élève (ou formé) domine dans le corpus. Les publications étudiées considèrent les TIC comme participant à l'apprentissage plus qu'à l'enseignement. Il est révélateur que dans 50% des cas où les technologies sont considérées comme outil d'apprentissage, elles servent d'outil de diagnostic (partition « toutes entrées »). La dimension enseignant est la moins présente dans le corpus, comme le montrent les réponses le plus souvent négatives aux questions relatives aux enseignants. Les interactions entre les pôles élève et enseignant sont rarement étudiées, comme de façon générale les dispositifs d'enseignement, excepté pour certains articles français centrés sur ce dernier aspect.

L'analyse statistique multidimensionnelle permet de bien cerner cette réalité. Analysons un résultat issu de l'analyse de la partition « approche institutionnelle et anthropologique » : les travaux français proposent des séquences d'enseignement utilisant les TIC à partir des tâches habituelles (classe 1 de la partition anthropologique), alors que les travaux anglo-saxons proposent de nouvelles tâches pour l'utilisation des TIC (classe 2 de la partition).

Une explication possible résiderait dans ce que les travaux français de recherche portent sur l'usage des TIC dans les curricula existants alors que des travaux, comme ceux qui on été menés en Angleterre, bien représentés dans le corpus, sont souvent à la marge du curriculum, voire indépendants des curricula. De plus, dans un ensemble non négligeable de recherches, les TIC servent de « window »[9] sur les stratégies des apprenants, leurs démarches de pensée, leurs conceptions. Il s'agit d'une méthodologie classique de recherche : observer les individus dans une situation inhabituelle permet d'avoir plus facilement accès à leurs connaissances, leurs représentations, leur rapport aux savoirs.

Ainsi, dans beaucoup de publications, la question de l'entrée des TIC dans la pratique même de l'enseignement sous sa forme actuelle n'est pas vraiment posée.

De cette remarque, il n'y a plus qu'un pas à se demander quelle peut être la contribution de ces travaux à la définition d'une problématique de l'intégration des TIC, qui constitue le sujet de ce rapport. En fait, ces travaux constituent une étape importante et obligée de l'analyse de l'intégration pour au moins deux raisons :

- les données expérimentales recueillies,
- l'intérêt de nombreux résultats concernant l'incidence des TIC sur les rapports apprenant/savoirs.

Ces travaux apportent en effet une masse de données empiriques, portant sur des curricula à long terme (une ou plusieurs années) ou analysant finement les stratégies des élèves dans la résolution de tâches dans un environnement informatique. Ainsi, même quand ils s'appuient sur une méthodologie de validation externe (comparaison groupe témoin, groupes expérimentaux) considérée par les approches théoriques françaises comme souvent moins pertinente qu'une validation interne, ces travaux apportent des résultats quant aux rapports des formés aux savoirs mathématiques et à la technologie.

Grâce à ces données, les résultats peuvent notamment porter sur les modifications de ces rapports. Ils peuvent même quelquefois être contraires à ce que l'expérimentateur attendait a priori. Ainsi Monaghan et al. (article A14) identifient à l'issue de leurs recherches une nouvelle conception de la notion de limite (conception « commande de logiciel »), qui a été construite dans l'interaction avec un système de calcul formel en contradiction avec les hypothèse optimistes sur l'usage de ce type de logiciel. De même Chacon (article A27) et Mayes (article A26) signalent dans leurs conclusions que l'opinion a priori positive de certains étudiants sur la technologie s'est dégradée au cours de l'expérimentation.

Cet ensemble de données, certes assez hétéroclite tant du point de vue de l'outil utilisé que des conditions d'expérimentation et des validations utilisées pour les comparaisons (tests rapides ou problèmes ouverts), permet néanmoins de mettre à l'épreuve les approches théoriques qui restent à développer. L'apport des travaux utilisant ces données est déjà nettement visible dans l'évolution du cadre cognitif d'un constructivisme assez général à la mise en œuvre de concepts plus spécifiques et mieux opérationalisés.

II. La prise en compte du pôle savoir dans l'intégration

Nombre de ces articles comportent une analyse des savoirs mathématiques intégrant les TIC (question 6.1 de la grille d'analyse statistique). Cette analyse est une caractéristique de plusieurs classes relatives à des dimensions différentes (problématique générale, épistémologie, instruments, anthropologie). Et deux articles centraux de deux classes

[9] Volontairement nous n'avons pas traduit car cette approche et sa dénomination ont été proposées par Noss et Hoyles (1996).

différentes, celui de Hershkovitz et Nesher relatif à deux environnements d'arithmétique, SPA et AP (classe 3, « toutes entrées »), et celui de Kieran et al. sur un environnement d'algèbre CARAPACE (classe 1 de l'entrée problématique générale), se livrent à une analyse fine des savoirs en jeu dans l'usage de ces environnements.

Cette présence de l'analyse des contenus montre que l'introduction des TIC en mathématiques n'en est pas restée à une approche générale du type « communication ». Elle traduit bien l'implication dans la recherche sur les TIC de nombreux didacticiens attentifs à l'interaction entre savoirs et moyens d'enseignement. L'interprétation de classes montre néanmoins que si l'on en reste à cette analyse, le risque existe de passer à côté de dimensions essentielles de l'intégration, notamment les dimensions institutionnelles et instrumentales.

III. L'amélioration apportée par les TIC : question ou postulat ?

L'analyse statistique a confirmé un sentiment ressenti tout au long de notre travail : une divergence fondamentale sur le statut de l'apport des TIC. Deux classes de la dimension problématique générale (classe 1 et classe 2) se distinguent ainsi : dans la classe 1, où la validation est plutôt interne, l'incidence des TIC sur les apprentissages est questionnée alors que la classe 2, essentiellement constituée de travaux anglo-saxons, postule a priori que les TIC améliorent les performances et compétences des apprenants. S'agit-il d'une différence idéologique ou culturelle ? L'idéologie dominante en France accorderait peu de place aux outils dans l'activité mathématique alors que le pragmatisme anglo-saxon considérerait comme un donné l'existence des TIC et estimerait que leur introduction dans l'enseignement doit nécessairement se traduire par des améliorations.

Au delà de cette différence culturelle, l'analyse statistique montre que les deux classes se distinguent aussi par le domaine mathématique. La classe 2 comporte seulement des publications sur le calcul formel et l'analyse, à la différence de la classe 1. Cette incidence du domaine mathématique tiendrait donc peut-être aussi au type d'outil correspondant : l'analyse et le calcul formel renvoient, dans la plupart des cas, aux calculatrices graphiques et aux calculatrices symboliques alors que la géométrie, même si elle est aussi présente sur des calculatrices, renvoie essentiellement à des logiciels, cela d'autant plus que les environnements de preuve ou les tuteurs intelligents ont surtout été développés en géométrie. Les calculatrices, en particulier graphiques, sont maintenant un donné de l'enseignement des mathématiques : même si le professeur ne fait rien pour leur intégration, les élèves en possèdent et s'en servent. Les ordinateurs sont moins accessibles et leur usage est vu plus facilement comme problématique.

Une troisième explication serait à chercher dans la nature même des environnements de géométrie, que l'on peut caractériser schématiquement par l'absence de réponse directe fournie à la question mathématique posée. Les élèves ont à construire la solution du problème dans l'environnement et engagent des connaissances dans cette construction. Les environnements graphiques ou de calcul formel fournissent directement certains résultats mathématiques et peuvent ainsi donner l'impression de potentialités mathématiques fortes, de suppression des aspects routiniers et calculatoires qui empêchaient jusqu'alors les élèves de se concentrer sur les aspects conceptuels. Des approches ont pu ainsi se positionner d'emblée dans une opposition procédural/conceptuel en ignorant les liens entre ces deux dimensions de l'activité mathématique.

Une quatrième explication tient aux mathématiques sous-jacentes aux environnements. Il ne s'agit pas ici du processus de transposition informatique, dont nous avons mentionné, au début du rapport, combien il était plus invoqué que réellement analysé dans les travaux

recensés. Il s'agit tout simplement de ce que les domaines du calcul formel et de l'analyse médiés par ces environnements font référence aux mathématiques existantes, malgré les changements, souvent sous-estimés, qu'entraîne la médiation par ce type de logiciel. Les environnements de géométrie dynamique, même s'ils permettent d'aborder une géométrie classique, réifient une autre géométrie, une géométrie avec une dimension supplémentaire, celle du mouvement, une géométrie dont la légitimité n'est pas établie car elle n'est pas celle des curricula en vigueur. Ces environnements peuvent donc susciter plus d'interrogations a priori lorsqu'il s'agit de leur intégration dans l'enseignement.

IV. Des aspects de l'intégration à approfondir dans l'avenir

Nous en mentionnerons quatre, qui ne sont pas sans interrelations :

- la dimension instrumentale, l'articulation des techniques dans un environnement et celles en papier crayon,
- le temps,
- les dispositifs d'enseignement et la gestion par l'enseignant,
- la technologie elle-même et l'interaction homme machine.

La dimension instrumentale et l'interaction des techniques

La centration sur le pôle apprenant du corpus conduit à ce que les stratégies des élèves dans ces nouveaux environnements, voire les contraintes de l'outil pour l'action, soient objet d'analyse dans plusieurs classes (par exemple, classe 1 dimension instruments, classe 2 situations). Mais une approche instrumentale ne figure explicitement que dans les articles français. L'articulation entre les techniques de résolution d'une tâche dans un environnement et les techniques papier crayon n'est en général pas abordée dans le corpus. Les techniques papier crayon restent pourtant hautement légitimées dans les curricula actuels, et cette question de l'interaction des techniques est donc une question vive de l'intégration. Tout enseignant désireux d'utiliser les TIC sur le long terme et de s'assurer que les apprentissages de ses élèves leur permettent de réussir aux évaluations classiques, contrainte importante du système didactique dans un pays comme le nôtre, y est confronté.

A plus long terme se posera la question de l'articulation entre techniques attachées à différents environnements. Les statistiques dont l'introduction dans les programmes français a fait couler beaucoup d'encre peuvent ainsi faire appel à des simulations ayant recours aux tableurs, ou la touche « random » d'une calculatrice, ou encore à un logiciel de géométrie dynamique. Chaque environnement met en jeu différentes techniques, et l'apprentissage de leur articulation correspond à ce que Noss et Hoyles appellent l'établissement de « connections » entre contextes. Ils voient d'ailleurs cet apprentissage comme un garant d'un processus d'abstraction. La construction de ces connections n'est pas simple et ne se fait pas de façon spontanée. Elle doit être organisée. Nous pensons que c'est une question inévitable dans l'analyse de l'intégration.

Le temps

La variable temps est peu analysée dans les travaux du corpus, comme nous l'avons vu dans l'interprétation de la dimension instruments : 85% des articles n'évoquent pas le temps comme une variable importante. La classe 4 de cette dimension est justement caractérisée par la prise en compte du temps exigée par l'usage de l'outil sans toutefois être liée de façon explicite aux processus d'instrumentation. Rappelons qu'elle ne comporte que six articles ! L'explication de cette faible prise en compte tient probablement à différentes raisons :

- les travaux se centrent sur les changements des rapports des formés aux mathématiques dus à l'usage des nouvelles technologies sans tenir compte des contraintes du système didactique,
- l'outil informatique est continûment disponible dans certains travaux.

La variable temps est pour nous essentielle dans une problématique de l'intégration des TIC. Nous suggérons que plusieurs types de question relatives au temps soient abordés dans les recherches à venir, qu'elles soient centrées sur des questions de nature théorique ou sur la viabilité d'enseignements intégrant les TIC :

- la gestion du temps pendant lequel l'outil est disponible : les logiciels ne sont le plus souvent accessibles aux élèves qu'en salle informatique,
- la tension entre le temps didactique et le temps de l'instrumentation, c'est-à-dire de la construction de connaissances relatives à l'usage de l'outil dans des tâches mathématiques, et son interaction avec l'acquisition de connaissances directement mathématiques,
- la gestion du temps par l'enseignant en classe. Elle pose deux problèmes :
    - le conflit entre l'inflation du temps d'activité de l'élève avec l'outil (ce dernier augmente de façon significative l'éventail des stratégies possibles) et les contraintes de temps du système didactique,
    - l'inflation du temps consacré à un contenu mathématique donné dans le cadre d'une innovation ou d'une ingénierie didactique, qu'elles utilisent ou non les TIC. Ce phénomène apparaît dans les travaux que nous étudions, sans être spécifique de la présence de la technologie.

De telles questions remettent en cause la simple perspective d'un gain de temps permis par l'évacuation des aspects routiniers et répétitifs d'une partie du travail mathématique grâce aux TIC. Il est à noter que l'analyse statistique a mis en évidence une divergence entre cette dernière approche et celle d'une analyse plus complexe du rôle du temps que nous avons esquissée quelques lignes plus haut. Dans la classe 5 de la partition « instruments », 50 % des articles estiment que la technologie permet de gagner du temps, 50% affirment que le temps est parfois plus long lorsque sont utilisées les TIC. Nous retrouvons ici aussi une tension entre le domaine de la géométrie où l'on reconnaît souvent que la gestion du temps va être difficile, et celui du calcul formel qui annonce généralement des perspectives optimistes. Une telle divergence, mise en évidence par l'analyse statistique, montre bien la gestion et le rôle du temps comme une question vive de l'intégration des TIC.

Les dispositifs d'enseignement et l'enseignant

La faiblesse de l'attention portée à la construction de techniques instrumentées, qui nécessite du temps, va de pair avec une faible prise en compte de la variable temps et de celle d'organisation et de gestion par l'enseignant de la classe. Là encore cette dernière prise en compte est limitée à quelques articles.

Les travaux sur les calculatrices semblent les mieux à même de s'impliquer directement dans l'étude de dispositifs d'enseignement spécifiques, peut-être du fait du caractère « personnel » de cette technologie. Ces travaux partent de l'appropriation par l'élève de sa calculatrice, appropriation qui n'est généralement pas mathématique, et s'intéressent à des dispositifs d'enseignement susceptibles de la (re)intégrer comme instrument du travail mathématique. En revanche, l'utilisation de logiciels est souvent considérée d'emblée comme une pratique mathématique, sans prise en compte des conditions pour qu'elle le soit. Dans ce cas, la

dimension « dispositif d'enseignement » est évoquée essentiellement dans la conclusion, de façon plus ou moins fugitive à titre de piste pour des recherches futures.

Au delà des dispositifs, l'enseignant lui-même est peu présent dans le corpus. La classe 1 de la partition enseignant, de taille très importante (69 publications sur 79) est justement caractérisée par l'absence de pertinence des questions relatives aux enseignants ! Seuls 10 articles prennent véritablement en compte l'enseignant.

Plus généralement, l'analyse actuelle de l'intégration ne prend pas en compte le rôle et les pratiques de l'enseignant dans cette intégration. En effet, les angles d'attaque dans la dimension enseignant sont pour l'essentiel :

- Les représentations des enseignants concernant les TIC dans l'enseignement
- L'utilisation des résultats des recherche dans la formation des enseignants
- Le transfert des utilisations faites lors de la formation vers les pratiques quotidiennes de l'enseignant

Parmi les travaux rassemblés dans le corpus, seul certains articles français considèrent les deux derniers angles d'attaque. Ce résultat doit bien entendu être relativisé puisque ces articles sont peu nombreux et que notre corpus n'est pas exhaustif. Il est cependant cohérent avec le fait que la prise en compte des dispositifs d'enseignement se fait jour surtout dans les articles français.

Dans cette même littérature française, on note une prise de conscience croissante de la place et du rôle de l'enseignant dans les dispositifs d'enseignement intégrant les TIC. On note également un questionnement sur le transfert dans les pratiques quotidiennes d'une utilisation réalisée lors d'un dispositif expérimental ou bien à l'occasion d'une formation.

Néanmoins, la plupart des études rapportés dans ces publications ne contiennent pas de réelle dimension expérimentale. De même la formation des enseignants est abordée le plus souvent sous la forme de comptes rendus d'actions de formation rarement enrichis d'analyse (a priori ou a posteriori).

Le nombre modeste d'articles se rapportant à l'enseignant et à la formation aussi bien dans le premier corpus que dans le deuxième sont des indices forts de la place dominante de l'élève dans les recherches sur les TIC. Comme l'a écrit plus haut l'un des membres de notre groupe, on regarde l'enseignant « par dessus l'épaule de l'élève ». Les recherches sur l'intégration des TIC vivent une histoire semblable à celle des recherches en didactique des mathématiques, qui dans leurs débuts se sont massivement tournées vers l'étude des connaissances des élèves.

Une problématique d'intégration des TIC implique l'analyse du rôle de l'enseignant. Cette nécessité apparaît non seulement sur le plan de la recherche mais aussi sous la pression externe de la formation initiale et continue des enseignants très sollicitée sur la question de l'usage des TIC (un tiers des stages nationaux de formation continue porte sur l'usage des TIC dans l'enseignement des mathématiques prévu par les nouveaux programmes de collège et ceux de lycée).

L'analyse des environnements technologiques et l'interaction homme machine.

Cette dimension, prévue comme une entrée spécifique du questionnaire de la phase 2, n'a pas pu être menée à bien pour des raisons de temps.

Les publications intégrant cette dimension ont cependant été analysées par le biais des autres entrées. Nous avons pu notamment constater l'intérêt de l'approche « sciences

cognitives » qui les rassemble (classe 3 de la partition « cognitif »), son originalité et sa fonctionnalité.

Nous considérons donc cette dimension comme essentielle et espérons la développer au delà de ce projet qui arrive à échéance. Le nombre de logiciels, documents multi-média interactifs, modules flash sur les calculatrices, croît à une vitesse rapide. Réussir leur intégration suppose des outils d'analyse de leur interface et du type d'interaction homme machine qu'elles sollicitent. De tels outils profiteraient grandement à l'analyse de la dimension instrumentation de l'intégration et contribueraient ainsi à l'approche multidimensionnelle dont nous avons souligné la nécessité.

V. Une approche transférable ?

Alors que l'interrogation de départ de l'appel d'offres partait du problème très concret de l'intégration des TIC dans la classe, il peut paraître paradoxal que le travail ait été conduit dans notre projet loin de la réalité de la classe, puisqu'il a porté sur les écrits de réflexion et de recherche à propos de cette intégration. Etait-il pertinent de brasser tant d'articles divers et de produire tant de fiches d'analyse et de tableaux ?

Il nous a semblé que l'usage des TIC dans l'enseignement des mathématiques avait donné lieu à un ensemble suffisamment important et varié de travaux en France et à l'étranger, pour que l'analyse de cette production soit une priorité.

La taille des corpus qui apparaissent dans notre étude témoigne en effet de la vitalité du sujet et de la pertinence du type d'étude entrepris. En effet, outre la taille, la variété des points de vue et de l'origine des publications confirment ce foisonnement qui rend la période actuelle appropriée pour faire le point sur l'intégration des TIC, à travers cette analyse des écrits.

Au fil des étapes successives d'analyse et de plusieurs processus de sélection, la variété de la nature de ces écrits s'est précisée et la complexité des processus d'intégration des TIC dans l'enseignement a été mieux appréhendée. Les premières analyses ont conduit à formuler l'hypothèse de la nécessité d'une approche multidimensionnelle. Cette hypothèse a conduit à l'élaboration d'un questionnaire d'analyse du corpus et à son exploitation par un traitement statistique.

L'outil méthodologique qu'a constitué ce questionnaire pour notre analyse, s'avère en même temps fournir un ensemble articulé qui permet d'interroger d'autres corpus sur ce même thème de l'intégration des TIC.

Dans ce qui suit, nous voudrions, d'une part commenter brièvement les apports et conditions de la mise en œuvre de la grille et du traitement statistique dans notre travail, d'autre part appeler à des applications possibles au delà du seul champ disciplinaire que nous avons retenu.

Le traitement statistique repose sur le codage des articles à l'aide du questionnaire. Quelles que soient les questions et quels que soient les codeurs, on ne peut éviter une variabilité du codage. La mise en œuvre d'un tel outil nécessite donc plusieurs phases de codage suivies de traitement, ainsi que des explicitations entre codeurs avant que soit trouvé un état d'équilibre dans lequel l'ensemble des réponses fournies à la grille soit homogène.

Le nombre de publications que nous avons retenues pour le codage et le traitement statistique est important (79) ainsi que le nombre de questions du questionnaire (96). Cela a rendu assez long le processus conduisant à l'état d'équilibre. A l'issue de ce travail, nous ne sommes pas certains qu'il fallait autant de questions ou d'articles. Si nous pensons que le processus de sélection des publications et la constitution du questionnaire sont pertinents, la question reste

ouverte de savoir quelle taille de corpus est souhaitable à l'issue du processus de sélection et quel est le nombre de questions raisonnable pour obtenir des associations significatives.

Le traitement s'est révélé adapté puisqu'il a mis en évidence des associations non triviales entre recherches provenant d'horizons très différents, permettant notamment d'élargir les perspectives qu'apporterait une recherche restreinte à un domaine donné ou se situant dans une perspective théorique donnée. Par exemple, un article centré sur les problèmes liés à l'utilisation dans les classes du calcul formel et s'adressant à des chercheurs et praticiens du domaine, se trouve au centre d'une classe de la partition « Enseignant ». Dans cette classe, la préoccupation centrale est celle des représentations des TIC chez les enseignants. Cette association permet de mettre le doigt sur un apport de la recherche rapportée dans l'article : le rôle de ces représentations dans les difficultés apparaissant dans les classes. Il apparaît bien que ce résultat, a priori peu visible, intéresse l'intégration des TIC au delà du public auquel s'adresse l'article.

Nous avons fait le choix de nous limiter à un champ disciplinaire, les mathématiques. Cependant les entrées et questions de la grille reposent sur des concepts et approches qui tendent à ne plus être l'apanage de la seule didactique de notre discipline. Ainsi, la méthode et le questionnaire seraient susceptibles d'être adaptés à d'autres champs de l'éducation partageant ces concepts et approches. La complexité et la multidimensionnalité des phénomènes d'intégration des TIC traversent l'enseignement. La variable temps, l'importance du rôle de l'enseignant, la dimension instrumentale sont autant de caractéristiques que sont amenées à partager les problématiques des recherches sur l'intégration des TIC dans les divers champs de l'enseignement. Dans cette perspective, des contextes favorables se dessinent, qui nous permettraient de prolonger ce travail en collaboration avec des chercheurs d'autres champs : les travaux croisés et travaux personnels encadrés, dans l'enseignement secondaire, le suivi de l'intégration des TIC dans les nouveaux programmes, l'utilisation des TIC dans les projets de classe dans l'enseignement primaire…

REFERENCES

Abboud M. et al., 1995 : *Une recherche sur le logiciel DERIVE*, Cahier de DIDIREM spécial n°3, IREM Paris 7.

Artigue M. et al., 1997 : *L'intégration de calculatrices complexes à l'enseignement des mathématiques au lycée*, Cahier de DIDIREM spécial n°4., IREM Paris 7.

Bachelard G., 1938 : *La formation de l'esprit scientifique*, Paris : Librairie Philosophique J. Vrin.

Balacheff N., 1994 : La transposition informatique : note sur un nouveau problème pour la didactique, in M. Artigue & al. (eds), *Vingt ans de didactique des mathématiques en France*, 364-370, Grenoble : La Pensée Sauvage.

Balacheff N. & M. Vivet (eds), 1994 : Didactique des mathématiques et intelligence artificielle, Recherches en Didactique des Mathématiques, vol. 14/1.2 (numéro spécial).

Balacheff N., Kaput J., 1996 : Computer-Based Learning Environments in Mathematics, in A.J. Bishop & al. (eds). *International Handbook of Mathematics Education*, 469-501, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

Brousseau G., 1986 : *Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques*. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Bordeaux I.

Brousseau G., 1997 : *The theory of didactic situations*, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

Bruner J., 1983 : *Le développement de l'enfant. Savoir faire, savoir dire,* Paris : PUF.

Chevallard, Y., 1991 : Dimension instrumentale, dimension sémiotique de l'activité mathématique, *Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique*, LSD-IMAG, Grenoble.

Chevallard Y., 1992 : Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 12/1, 73-111.

Debray R., 1992 : *Vie et mort de l'image, une histoire du regard en Occident*, Paris : Gallimard.

Douady R., 1987 : Jeux de cadres et dalectique outil / objet, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 7.2, 5-31.

Duval R., 1995 : *Semiosis et Pensée Humaine*, Paris : Peter Lang.

Greeno J. G., 1991 : Number sense as situated knowing in a conceptual domain, *Journal for Researc in Mathematics Education*, 22(3), 170-219.

Guin D., Delgoulet J., 1997 : *Etude des modes d'appropriation de calculatrices graphiques et symboliques dans une classe de seconde*, Rapport de recherche, IREM de Montpellier.

Guin D. (ed), 1999 : *Calculatrices symboliques et géométriques dans l'enseignement des mathématiques,* IREM de Montpellier.

Houdé O., 1995 : *Rationalité, développement et inhibition, un nouveau cadre d'analyse*, Paris : PUF.

Janvier C., 1978 : *The interpretation of complex cartesian graphs representing situations-studies and teaching experiments, (Doctoral dissertation),* University of Nottingham, England.

Jean S., Delozanne E., Grugeon B., Jacobini P., 1998 : Cognitive profile in elementary algebra : the Pepite Test Interface, IFIP TC3, *Official Journal Educational and Information Technology,* Special Issue.

Johnson M., 1987 : *The body in the Mind*, Chicago : The University of Chicago Press.

Kaput J., 1992 : Technology and Mathematics Education, in D.Grows (ed.), *Handbook on research in mathematics teaching and learning,* 515-556, New York : Macmillan.

Kaput J., Thompson P., 1994 : Technology in Mathematics Education : the first 25 years in the JRME, *Journal for Research in Mathematics Education*, 25(6), 676-684.

Kirshner D. & Whitson J.A. (eds), 1997 : *Situated cognition : social, semiotic and psychological perspectives*, Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates.

Lakatos I., 1976 : *Proofs and refutations*, Cambridge : Cambridge University Press.

Noss R., Hoyles C., 1996 : *Windows on Mathematical Meanings - Learning Cultures and Computers*, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

Parzysz B., 1988 : Knowing versus Seeing. Problems of the plane representationof space geometry figues, *Educational Studies in Mathematics*, 19(1), 79-92.

Pea R., 1985 : Beyond amplification : using the computer to reorganize mental functioning, *Educational Psychologist*, 20(4), 167-182.

Pea R., 1995 : Practices of distributed intelligence and designs for education, in G. Salomon (ed), *Distributed cognitions : psychological and educational considerations*, 47-87, Cambridge : Cambridge University Press.

Pitrat J., 1990 : *Métaconnaissance, futur de l'intelligence artificielle*, Paris : Hermès.

Rabardel P., 1995 : *Les hommes et les technologies - approche cognitive des instruments contemporains,* Paris : Armand Colin.

Robert A. & Robinet J. 1996 : Prise en compte du "meta" en didactique des mathématiques, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 16.2, 145-176.

Tall. D. O., 1996 : Functions and Calculus, in A.J. Bishop & al. (eds). *International Handbook of Mathematics Education*, 289-325, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

Trouche L., 1996 : *Enseigner les mathématiques en TS avec des calculatrices graphiques et formelles, tomes 1 et 2*, IREM de Montpellier.

Trouche L., 2000 : La parabole du gaucher et de la casserole à bec verseur, éléments de méthode pour une étude des processus d'apprentissage dans un environnement de calculatrices complexes, *Educational Studies in Mathematics*, 41(3), 239-264.

Vahinger H., 1986 : *Die Philosophie des Als Ob*, Aalen : Scientia Verlag.

Vergnaud G., 1991 : La théorie des champs conceptuels, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 10/2.3, 133-170.

Vygotsky L., 1985, *Pensée et Langage*, Paris : Editions Sociales.

Wittgenstein L., 1984 : *Philosophische Untersuchungen*, Frankfurt : Surkamp.