

Version de travail – octobre 2009

Ressources vives

Le travail documentaire des professeurs, le cas des mathématiques



Coordination : G. Gueudet et L. Trouche

Préface : M. Artigue

Contributions : J. Adler, T. Assude, B. Bachimont, E. Bruillard, Y. Chevillard, G. Cirade, D. Forest, G. Gueudet, F. Ligozat, M. Maracci, C. Margolinas, M.A. Mariotti, A. Mercier, C. Proust, J. Remillard, K. Ruthven, G. Sensevy, J. Trgalova, L. Trouche, F. Vandebrouck, C. Winsløw, F. Wozniak.

Edition proposée aux Presses Universitaires de Rennes et à l'INRP

Table des matières

Préface – Michèle Artigue (Université Paris 7, France)	
Introduction – Ghislaine Gueudet (IUFM, UBO, France), Luc Trouche (INRP, Université de Lyon, France)	1
Part. 1 : Sources et ressources du professeur	
Chap. 1 – Jillian Adler (University of the Witwatersrand, South Africa) La conceptualisation des ressources. Apports pour la formation des professeurs de mathématiques	7
Chap. 2 – Yves Chevallard (IUFM, Université de Provence, France), G. Cirade (IUFM, Université de Toulouse, France) Les ressources manquantes comme problème professionnel	19
Chap. 3 – Ghislaine Gueudet, Luc Trouche Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires	31
Chap. 4 – Bruno Bachimont (Université de Technologie de Compiègne, France) Le numérique comme support de la connaissance : entre matérialisation et interprétation	43
Chap. 5 – Maria-Alessandra Mariotti, Mirko Maracci (Università di Siena, Italy) Un artefact comme instrument de médiation sémiotique : une ressource pour le professeur	55
Part. 2 : Ressources des professeurs, dimensions collectives	
Chap. 6 – Carl Winsløw (University of Copenhagen, Denmark) Produire l'enseignement : entre individuel et collectif	69
Chap. 7 – Ghislaine Gueudet, Luc Trouche Genèses communautaires, genèses documentaires : histoires en miroir	81
Chap. 8 – Gérard Sensevy (IUFM, UBO, France) Formes de l'intention didactique, collectifs, et travail documentaire	93
Part. 3 : Ressources pour et par le curriculum	
Chap. 9 – Christine Proust (CNRS, France) Ecrits d'élèves et écrits de maîtres : la documentation scolaire en Mésopotamie	105
Chap. 10 – Kenneth Ruthven (University of Cambridge, UK) Constituer les outils et les supports numériques en ressources pour la classe	119
Chap. 11 – Janine T. Remillard (University of Pennsylvania, USA) Modes d'engagement : comprendre les transactions des professeurs avec les ressources curriculaires en mathématiques	131
Chap. 12 – Eric Bruillard (IUFM, Université Paris 12, France) Le passage du papier au numérique : le cas du manuel scolaire	143
Chap. 13 – Claire Margolinas (IUFM, Université Clermont-Ferrand, France), Floriane Wozniak (IUFM, Université Lyon, France) Rôle de la documentation scolaire dans la situation du professeur : le cas de l'enseignement des mathématiques à l'école élémentaire	155
Part. 4 : Ressources du professeur et action didactique	
Chap. 14 – Fabrice Vandebrouck (Université Paris 7, France) Ressources et documents, le cas de la démarche expérimentale en mathématiques	169
Chap. 15 – Jana Trgalova (INRP, France) Documentation et décisions didactiques du professeur	181
Chap. 16 – Florence Ligozat (Université de Genève, Suisse) Les textes de l'activité mathématique scolaire. Préconstruits et ressources dans la genèse des formes de l'action didactique	201
Chap. 17 – Dominique Forest (IUFM, UBO), Alain Mercier (INRP, France) Vidéos de séances en classe et ressources pour l'enseignement, éléments d'analyse	213
Chap. 18 – Teresa Assude (IUFM, Université de Provence, France) Enquête documentaire et action didactique conjointe professeur-élèves	227
Conclusion – Ghislaine Gueudet, Luc Trouche	239
Index	243

Préface

Michèle Artigue

Introduction

Ghislaine Gueudet et Luc Trouche

Le Nouveau Dictionnaire Pédagogique (NDP) de Ferdinand Buisson¹ propose trois entrées pour « bibliothèques » : bibliothèques *pédagogiques*, bibliothèques *populaires*, bibliothèques *scolaires*. Concernant directement les écoles, les bibliothèques scolaires et les bibliothèques pédagogiques diffèrent par leur localisation et leurs fonctions : les bibliothèques scolaires, dans chaque école, abritent les ouvrages concernant la morale et les premières connaissances usuelles ; les bibliothèques pédagogiques, « destinées à permettre aux instituteurs d'étendre et d'approfondir leurs connaissances théoriques », se trouvent au chef-lieu de canton. Le NDP note que « partout le nombre des prêts est peu élevé, il est même nul dans beaucoup de bibliothèques pédagogiques » et suggère que l'on multiplie ce type de bibliothèques pour les rapprocher des écoles.

Cet intérêt pour les bibliothèques est significatif de l'importance qu'accordent les promoteurs de l'école laïque et gratuite à l'accès des instituteurs à l'information (programme, connaissances usuelles, connaissances théoriques scientifiques et pédagogiques). Qu'en est-il aujourd'hui, à un moment où Internet donne accès à tous les professeurs, dans chaque école, mais aussi « à domicile », à des ressources « vives », sans cesse renouvelées et réorganisées ? Le point de départ de cet ouvrage collectif est que les espaces dédiés à l'apprentissage – les écoles – sont, avec le développement du numérique, engagés dans des métamorphoses profondes, aussi profondes qu'aux moments de l'invention de l'écriture ou de l'imprimerie.

Cet ouvrage s'intéresse donc *au travail documentaire* des professeurs² : rassembler des ressources, les sélectionner, les transformer, les recomposer, les partager, les mettre en œuvre, les réviser... La *documentation*, qui désigne simultanément ce travail et son produit, est au cœur de l'activité professionnelle des enseignants, elle en est à la fois le *résultat* et le *moteur*. En considérant le développement professionnel à partir du travail documentaire, les auteurs invitent à un changement de point de vue : au lieu de se centrer sur le professeur en classe, il s'agit de regarder l'activité des professeurs dans son unité et sa dynamique, activité dont la classe n'est qu'un moment.

L'étude de cette documentation est complexe, car elle prend place dans un ensemble de lieux, privés ou publics, hors classe autant qu'en classe ; elle se déploie dans la durée ; elle a des aspects individuels et collectifs ; elle prend sa matière dans des répertoires bien délimités (les livres scolaires par exemple) autant que dans l'espace immense de la Toile. L'ouvrage s'intéresse particulièrement aux conséquences de l'essor du numérique sur les formes du travail des enseignants, sur les communautés qu'ils constituent, sur la structure et la dynamique de la documentation qui en résulte. Il suscite ainsi un rapprochement entre les recherches consacrées aux technologies éducatives, et celles portant sur les ressources curriculaires.

Pour analyser en profondeur les relations entre ressources et documentation, entre documentations individuelle et communautaire, entre développement professionnel et questionnement didactique, le choix a été fait de localiser le regard sur une seule discipline, les mathématiques, et sur les professeurs qui les enseignent. Ce choix n'est pas contradictoire avec une variété de points de vue :

- variété des communautés de recherche sollicitées (didactique des mathématiques, sciences de l'information et de la communication, informatique, sciences de l'éducation, histoire des sciences) ;
- variété des cadres théoriques mobilisés (pour la didactique des mathématiques, par exemple : théorie des situations, théorie anthropologique, approche ergonomique, approche instrumentale, point de vue curriculum material) ;
- variété d'origine géographique des auteurs, de sept pays différents.

L'ouvrage contient ainsi un ensemble de contributions qui s'éclairent mutuellement. Les auteurs abordent les questions de documentation avec leur propre point de vue, lié à leur domaine scientifique et aux recherches qu'ils conduisent. Ils ont cependant en commun de considérer que la conception des ressources (pédagogiques en particulier) ne relève pas seulement de choix individuels (elle est soumise à un ensemble de contraintes institutionnelles et sociales), et elle n'est jamais réalisée une fois pour toutes (elle se poursuit dans les usages et se nourrit de l'activité et des interactions de leurs protagonistes).

¹ Edité en 1911, numérisé par l'INRP, en ligne : <http://www.inrp.fr/edition-electronique/lodel/dictionnaire-ferdinand-buisson/>

² Qu'il soit des écoles, des collèges, des lycées ou des universités, nous préférons dans cet ouvrage la dénomination de *professeur* à celle d'*enseignant*. Enseigner est l'une des fonctions du professeur, qui en a bien d'autres (apprendre, par exemple, pour lui-même et pour les autres : se documenter). Pour éviter des répétitions, on utilisera aussi, par endroit, la dénomination d'*enseignant*, ce qui ne remettra pas en cause le choix fondamental que nous venons de préciser ici.

L'ouvrage est organisé en quatre parties.

La première partie tente de cerner, d'un point de vue pratique, méthodologique et théorique, ce que sont les *ressources* du professeur de mathématiques. Elle examine ainsi ce qui est, ou n'est pas, disponible pour l'activité professionnelle du professeur. Elle introduit la question, qui se poursuivra au fil de l'ouvrage, des mutations induites par le numérique. Les conceptualisations proposées précisent la vision du développement professionnel des professeurs qu'amène un regard centré sur leurs interactions avec des ressources :

- Jillian Adler montre tout l'intérêt qu'il y a à considérer la notion de *ressources* dans un sens très général : ce qui *re-source* l'activité du professeur. Sont prises en considération un ensemble de ressources matérielles, humaines et culturelles *disponibles* ;

- Yves Chevillard et Gisèle Cirade proposent d'inverser la démarche, en considérant non pas les ressources disponibles, mais les ressources *manquantes* : identifiant les problèmes de la profession enseignante, ils pointent les ressources qui seraient nécessaires pour y faire face et posent la question du travail collectif qui pourrait permettre la conception de telles ressources ;

- Ghislaine Gueudet et Luc Trouche prolongent cette réflexion en proposant une *approche documentaire du didactique*. Ils modélisent ce jeu dialectique professeurs/ressources sous la forme de genèses documentaires : sont alors distingués, fondamentalement, les *ressources* disponibles pour les professeurs, et les *documents* que ceux-ci développent pour répondre à leurs besoins didactiques ;

- Bruno Bachimont interroge, à partir du développement du numérique, l'importance des supports de connaissances, et les évolutions fortes que la nature numérique des supports suscite : évolution des médiations, de la *raison*, des connaissances, des actions possibles ;

- Maria-Alessandra Mariotti et Mirko Marracci considèrent, d'un autre point de vue, les questions de *médiation sémiotique* posées par le développement du numérique. Ils examinent comment le professeur peut exploiter dans la classe le *potentiel sémiotique* d'un artefact, et comment un tel artefact peut se constituer en *instrument de médiation sémiotique* pour le professeur.

La deuxième partie s'intéresse à l'entrelacement des aspects individuels et collectifs de la documentation des professeurs. Les professeurs ont à faire avec de multiples collectifs ; cette dimension, considérée dans l'ensemble de l'ouvrage, y est plus particulièrement approfondie. Y sont ainsi introduits des concepts qui éclairent la nature des collectifs à prendre en compte, les spécificités des processus de documentation au sein de collectifs et les articulations individuel-collectif :

- à l'inverse d'une idée commune (« l'enseignant est seul maître dans sa classe »), Carl Winsløw montre que la conception, par les professeurs, de leur enseignement, suppose des *modalités explicites* de production de ressources, et que ces modalités sont nécessairement, pour partie, *collectives*. Il s'appuie sur deux exemples contrastés, celui des Lesson studies japonaises, et celui des dispositifs d'enseignement pluridisciplinaires au Danemark, pour étudier les conditions de possibilité et de naturalisation de cette production collective ;

- Ghislaine Gueudet et Luc Trouche étudient, au sein de groupes d'enseignants réunis par des projets communs, l'émergence conjointe de *communautés de pratique* et d'une documentation commune, à partir du jeu dialectique entre *participation* et *réification* d'une pratique partagée. Ils interrogent les articulations entre documentation individuelle et documentation communautaire ;

- Gérard Sensevy s'intéresse au lien entre travail documentaire et *formes de l'intention didactique* pour des enseignants individuels et au sein de collectifs. Il approfondit et contraste des approches théoriques des collectifs : collectif de pensée, communauté de pratique, institution.

La troisième partie approfondit les relations entre les textes institutionnels, plus généralement le curriculum, et la conception de ressources pour et par les enseignants. Elle examine les caractéristiques des ressources curriculaires, et les évolutions de ces caractéristiques, de l'Antiquité jusqu'aux mutations les plus récentes induites par le numérique. Elle pose les questions d'intégration, d'appropriation, de transformation par les professeurs des ressources qui leur sont destinées, comme celles des conséquences des usages de ressources sur les pratiques professionnelles :

- Christine Proust propose un regard historique (2^{ème} millénaire avant notre ère), sur la nature même de la documentation scolaire. Elle observe une régularité de cette documentation, par-delà la diversité des écoles, expression de conditionnements institutionnels forts, et questionne les traces d'élaboration et d'usage des textes mathématiques par les maîtres anciens : s'agit-il d'exercices pédagogiques ? De textes normatifs ? De textes de référence ? De traces écrites d'un savoir mémorisé ?

- Kenneth Ruthven étudie les questions d'intégration des technologies éducatives, dans leurs relations avec les ressources curriculaires et les pratiques d'enseignement des mathématiques. Il identifie des caractéristiques structurelles de la pratique enseignante qui conditionnent cette intégration ;

- Janine Remillard considère aussi les ressources curriculaires, du point de vue de leurs relations avec les professeurs. Elle montre l'impact d'un discours institutionnel sur ces ressources, qui a tendance à transformer les enseignants en utilisateurs passifs et souligne la nécessité d'un nouveau type de *transaction* entre ressources curriculaires et professeurs, qui fasse de ceux-ci des *partenaires actifs* des ressources, condition d'une évolution du curriculum lui-même ;

- Eric Bruillard s'intéresse à une ressource curriculaire particulière, le *manuel scolaire*, comme source d'activités pour la classe. Deux facteurs conduisent à modifier les rapports entre les professeurs et le livre scolaire : *l'intégration de technologies* dans la classe, demandant de nouvelles ressources, et la *numérisation* du livre, conduisant à un éclatement potentiel des ressources de l'enseignant. L'auteur interroge les changements de pratique dont ces évolutions sont porteuses ;

- Claire Margolinas et Floriane Wozniak considèrent aussi le livre scolaire comme élément structurant d'une *documentation scolaire*, dans le cas de l'enseignement des mathématiques à l'école primaire. Elles étudient le jeu entre cette documentation et la *situation du professeur*, système de contraintes, de possibles et de déterminations qui bornent son action, en classe, mais aussi hors classe.

La quatrième partie étudie les relations entre le travail documentaire du professeur et son action didactique dans la classe. Le travail documentaire touche l'ensemble de l'activité professionnelle du professeur ; il se déroule hors classe comme en classe. Cette partie approfondira les articulations entre ces deux contextes. Le travail hors classe, souvent délaissé par la recherche, a été largement considéré dans ce qui précède ; le regard, toujours orienté par un questionnement documentaire, revient ici sur ce qui se passe dans la classe. Il considère les interactions entre les différents acteurs de l'enseignement, leurs effets sur l'évolution et la conception des ressources :

- Fabrice Vandebrouck examine les effets d'un changement de programme scolaire sur le travail documentaire des enseignants. La demande institutionnelle de mise en place d'une démarche expérimentale, avec un recours à des logiciels, et les ressources proposées pour accompagner cette démarche, amènent-elles des évolutions dans les pratiques ? De nouvelles formes d'activités des élèves peuvent-elles se développer dans la classe ?

- Jana Trgalova analyse les adaptations de l'enseignant en termes de *décisions didactiques*. Elle s'intéresse en particulier à un type de ressource essentiel : les copies d'élèves, et tente d'identifier les éléments de ces ressources qui fondent les décisions didactiques du professeur et analyse les conséquences de ces adaptations sur les genèses documentaires des enseignants ;

- Florence Ligozat s'intéresse à la genèse des formes de *l'action didactique conjointe* à partir des pré-construits de l'activité scolaire, dans les manuels et textes institutionnels. Dans le cadre d'une étude de classes primaires, en France et en Suisse romande, elle montre comment des *projets d'enseignement* sont façonnés par *l'arrière plan* des textes de référence pour les professeurs ;

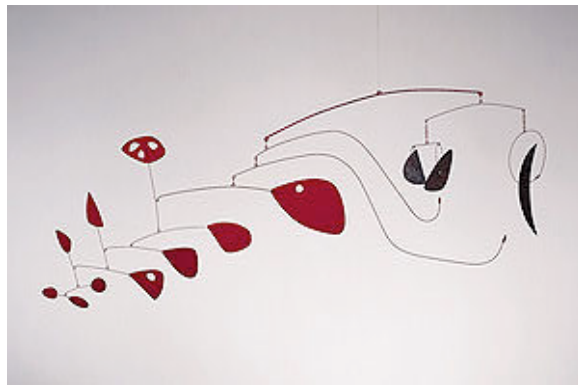
- Dominique Forest et Alain Mercier analysent, à travers des vidéos de classe (exemples extraits du fonds COREM de Guy Brousseau), la façon dont le professeur peut constituer, à travers le *langage* mais aussi les *gestes* et *l'agencement de l'espace*, les *actions des élèves* en ressources pour son action propre. Les vidéos de classe constituent ainsi un moyen spécifique de documentation des professeurs et des chercheurs ;

- Teresa Assude étudie enfin, dans le cadre d'une base de ressources institutionnelles et dans celui de ressources produites par la recherche, les conditions d'une *enquête documentaire* à laquelle des enseignants peuvent se livrer pour la réalisation d'un projet d'intégration des TICE dans la classe.

La conclusion propose une synthèse des résultats majeurs présentés dans le livre, en contrastant les vues offertes par les différentes approches et en dégagant les éléments communs. Elle propose des chantiers, anciens à revisiter, nouveaux à ouvrir : pour un développement des ressources vives des professeurs, comment penser les bibliothèques pédagogiques, populaires et scolaires de demain ?

Partie 1

Sources et ressources du professeur



Chap. 1 - La conceptualisation des ressources. Apports pour la formation des professeurs de mathématiques¹

Jill Adler

1.1 Note introductive

Ce chapitre, publié pour la première fois en 2000, est basé sur une recherche achevée en 1999. Son contenu, en particulier l'argument central – penser 'ressource' comme un verbe – demeure, de façon significative, pertinent. La fonctionnalité d'une ressource dans et pour la pratique de l'enseignement des mathématiques réside dans son usage en pratique, plutôt que dans sa simple présence. Cette version originale a éclairé les recherches qui ont inspiré cet ouvrage, en particulier celles sur le travail documentaire des professeurs (Gueudet & Trouche, Chap. 3). Il est proposé ici en ouverture de l'ensemble des chapitres, chacun de ceux-ci considérant, sous des angles variés, les ressources dans l'usage ou le travail documentaire pour l'enseignement. L'accent est mis sur les ressources matérielles et culturelles dans l'usage, pour l'enseignement des mathématiques ; la notion de *transparence* développée par Lave & Wenger (1991) est ici essentielle. Mes travaux plus récents sont centrés sur le *savoir mathématique* dans et pour l'enseignement, et donc sur un aspect de 'ressource' identifié mais non développé dans ce chapitre (voir, par exemple, Adler 2009, Adler & Davis 2006, et aussi Chevallard & Cirade, Chap. 2)

Bien sûr, un ensemble de recherches, en relation avec les thèmes développés ici, ont été réalisées depuis 2000. J'ai donc opéré des révisions mineures, principalement dans les premières sections, pour mentionner certaines de ces recherches et référer aux autres chapitres de cet ouvrage. Globalement, le chapitre demeure cependant proche de la version originelle.

1.2. Introduction

Dans tous les pays du monde, des dispositifs de formation, initiale ou continue, préparent les professeurs de mathématiques et soutiennent des évolutions de leur pratique. Certains aspects diffèrent bien sûr selon les contextes éducatifs, mais des tendances communes apparaissent : d'un côté les professeurs sont encouragés à adopter une pédagogie davantage centrée sur l'apprenant, de l'autre côté on promeut une approche des mathématiques qui va au-delà de la simple maîtrise de procédures, et vise ce que Kilpatrick *et al.* (2001) appellent *l'expertise mathématique*. Cette expertise est tissée de cinq fils : aisance conceptuelle, aisance procédurale, compétence stratégique, flexibilité du raisonnement et productivité. Les dispositifs de formation sont donc particulièrement attentifs aux *ressources matérielles* qui pourraient soutenir ces évolutions, par exemple l'introduction de nouvelles technologies, et, plus fréquemment l'introduction de nouveaux textes.

Dans leur étude du curriculum en mathématiques, en sciences et en technologie à travers 13 pays de l'OCDE (Organisation pour la Coopération et le Développement Economique) et 23 projets, Black & Atkin (1996) soutiennent que les ressources critiques pour implanter des changements curriculaires et des innovations sont les ressources humaines. Les innovations demandent un nombre suffisant de personnes qui veulent et peuvent « surmonter les ressources inadéquates pour soutenir les changements éducatifs ». La notion de ressources va donc bien au-delà des objets matériels. Black & Atkin postulent la nécessité de matériel soutenant le changement, et d'allègements horaires permettant de libérer du temps pour la planification, l'action et la réflexion. Ils étaient par ailleurs très surpris de constater le peu de discussion portant sur les ressources dans les rapports de recherche concernant les 23 projets considérés.

Il n'est pas surprenant que, dans des contextes limités en ressources, et plus généralement dans des contextes de réformes éducatives, les professeurs de mathématiques éprouvent un besoin permanent de davantage de ressources. Le fait que la pratique d'enseignement dépende des ressources disponibles ne nécessite ni plaidoyer, ni explication. Cependant, nous savons bien aussi que davantage de ressources n'entraîne pas nécessairement une meilleure pratique. Certaines écoles, bien que favorisées, ne proposent pas une éducation de qualité à leurs élèves, et certaines écoles défavorisées réussissent malgré tous les obstacles (Adler 2001a).

Les résultats évoqués dans ce chapitre sont basés sur un projet de recherche en formation des maîtres, en Afrique du Sud (Adler & Reed 2002). La question centrale portait sur la disponibilité et les usages par les professeurs de ressources dans leurs classes de mathématiques, et sur les évolutions

¹ Une première version de ce chapitre a été déjà publiée par la *Journal of Mathematics Teacher Education*, 3:205-224, 2000, et nous remercions Springer de son accord pour publier une version révisée dans le cadre de cet ouvrage. La révision, qui porte sur la partie introductive, a permis d'actualiser l'article, et de le situer dans le projet collectif qui soutient cet ouvrage.

éventuelles au cours des trois années du projet (1996-1998). La politique et la pratique post-apartheid visaient à se défaire de cet héritage basé sur l'inégalité raciale et le mépris. Cependant, et jusqu'à maintenant, 15 ans plus tard, il demeure toujours des écoles démunies dans les campagnes et les banlieues, certaines d'entre elles n'ayant ni électricité, ni eau courante, conditions effectives des écoles de certains des enseignants impliqués dans le projet. En réponse aux questions sur ce qui pourrait être amélioré dans leur école, leur enseignement, et les apprentissages, la première réponse de la plupart des directeurs et des professeurs était : « nous avons besoin de plus de ressources ». En même temps, les réponses des enseignants à nos questions sur le type de ressources dont ils avaient besoin, pour l'enseignement et l'apprentissage, n'allaient pas facilement au-delà de « nous en voulons davantage ». Cette expérience a nourri le besoin d'une conceptualisation de la notion de « ressources » qui puisse permettre aussi bien aux chercheurs qu'aux enseignants de comprendre ce qui est nécessaire. Ce chapitre ne reprend pas la présentation du projet de recherche (voir Adler & Reed 2002, Chap. 4 pour une synthèse), mais s'appuie sur celui-ci pour une conceptualisation des ressources essentielle en formation des maîtres.

1.3 Penser ressource comme re-source

Qu'est-ce qu'une ressource? Le dictionnaire la définit comme un nom : une *réserve* dans laquelle on peut puiser ; les *moyens* dont un pays dispose pour son développement ou sa défense ; l'inventivité au service de l'activité ; l'esprit de répartition. Le sens que l'on attribue communément à ce mot dans et pour l'éducation, est celui de ressources matérielles ; le manque de ressources réfère en général à l'absence de manuels scolaires ou autres matériels pour apprendre. Il est possible aussi de penser les ressources comme une forme du verbe re-sourcer : nourrir à nouveau, ou différemment. Cette interprétation est provocante. Elle a pour objectif d'attirer l'attention sur les ressources et leurs usages, de questionner des significations tenues pour acquises. J'ai évoqué par ailleurs (Adler 1998a) l'intérêt de cette transformation en verbe du terme ressource, en considérant les ressources dans l'usage, dans le contexte de l'enseignement des mathématiques. J'utilise ici ressource à la fois comme substantif et comme verbe, comme objet et comme action que nous exploitons dans notre pratique.

Mon argument général est que la formation des professeurs de mathématiques nécessite de suivre les ressources dans et pour la pratique scolaire des mathématiques, et qu'un tel suivi est bi-dimensionnel. D'une part, il est nécessaire que les dispositifs de formation continue prévoient de travailler avec les enseignants pour étendre le sens commun de ressources au-delà des objets matériels et comprendre les ressources humaines et culturelles, comme le langage et le temps, comme cruciales dans la pratique mathématique scolaire. D'autre part, la prise en compte des activités dans le développement professionnel suppose une évolution, du point de vue de « quelles sont ces ressources », vers un point de vue plus large « comment ces ressources fonctionnent comme une extension du professeur de mathématiques dans les processus d'enseignement et d'apprentissage ».

Je débute mon propos par un questionnement de la pratique mathématique scolaire et des ressources associées. Je soutiens que les mathématiques scolaires sont hybrides, mélange de mathématiques de tous les jours et de mathématiques académiques, et mélange de stratégies centrées sur l'apprenant et centrées sur l'enseignant. J'utilise ensuite le concept de transparence et ses fonctions duales de visibilité et invisibilité pour étudier les ressources en usage dans la pratique mathématique scolaire. Je soutiens que les concepts de pratique hybride et de transparence des ressources fournissent des outils pour comprendre les deux dimensions que nous venons d'évoquer, et, en conséquence pour une pratique pédagogique plus active, aussi bien pour l'enseignement des mathématiques que pour la formation des maîtres.

1.3.1 La pratique mathématique scolaire : contenus et pratique hybrides

Les dispositifs de formation continue en mathématiques présupposent une vision des mathématiques scolaires qui est dynamique et a plusieurs facettes. Pour ce chapitre, je privilégie deux éléments critiques : a) la sélection des contenus curriculaires - ce qui est considéré comme mathématique ; b) les stratégies pédagogiques, la relation entre enseigner et apprendre.

L'activité mathématique à l'école n'est, par nécessité, ni l'activité mathématique du quotidien, ni celle du mathématicien². La compréhension des contenus mathématiques scolaires qui oriente cette étude est hybride : ils découlent à la fois de mathématiques appliquées et contextualisées, et de

² Voir *For the Learning of Mathematics*, Volume 28, No. 3, 2008, pour une étude récente de la spécificité des mathématiques scolaires.

mathématiques académiques « pour elles-mêmes » ; il en est de même des ressources (Dowling 1998). Elles sont décontextualisées de la pratique du quotidien, et recontextualisées dans les mathématiques scolaires. Du fait de ces processus de recontextualisation (Bernstein 1996), leurs usages dans et pour les mathématiques scolaires est complexe, et parfois contradictoire. Par exemple, est-ce que la courbe de croissance d'une population, dans la classe de mathématiques, peut être considérée comme une ressource pour apprendre le phénomène de croissance de population, ou pour apprendre le processus de modélisation, en représentant par exemple la croissance d'une population par une ligne brisée ? Pour les professeurs et l'enseignement, cette hybridation crée un important défi : faut-il être explicite (et si oui comment) sur les enjeux mathématiques en relation avec une tâche basée sur une ressource donnée, et quelles significations supposent d'être contextualisées pour faciliter la construction du sens, et la réussite dans la pratique mathématique scolaire ?

Les gestes explicites du professeur vont à l'encontre du plaidoyer courant pour une orientation pédagogique centrée sur l'apprenant. Les suppositions sous-jacentes sont que les apprenants construiront les significations mathématiques par eux-mêmes ou avec leurs pairs, dès lors que des tâches appropriées, et les ressources correspondantes, seront mises à leur disposition, le professeur gardant un rôle non directif de facilitateur. Ainsi, deux défis sont interreliés : celui des contenus hybrides dans la pratique mathématique scolaire, et celui du choix entre des orientations pédagogiques opposées.

Les débats foisonnent, résultats de la dichotomie entre pédagogies centrées autour de l'apprenant ou autour de l'enseignant, entre constructions personnelles et enculturation (Jaworski 1994), entre participation et acquisition (Sfard 1998) et entre créativité individuelle et détermination sociale (Confrey 1995). Dans le contexte de la discussion pédagogie centrée apprenant/enseignant, l'étude de Cuban (1993) sur la pédagogie américaine depuis un siècle, dont les résultats sont confirmés par Black et Atkin (1996), mettent en évidence la résistance d'une pratique centrée sur l'enseignant, et une émergence limitée d'une pratique hybride. Black et Atkin expliquent : « Les enseignants... ont développé des routines pour aider les élèves. Ces routines peuvent paraître peu ambitieuses... mais elles répondent à des objectifs complexes, et à des attentes claires. Dans toutes ces études, les enseignants utilisent ces routines pour façonner... de nouvelles formes d'activités, comme des groupes de travail » (p. 130). On peut relever ici des points communs avec les notions de *format d'activité*, de *script curriculaire* et de *économie temporelle* développées par Ruthven (Chap. 10), qui structurent l'enseignement.

Dans une pédagogie hybride, les stratégies centrées sur l'apprenant impliquent de laisser les ressources à la main des apprenants. L'enseignant donne aux apprenants les moyens de réaliser la tâche par eux-mêmes, embarquant leurs propres significations et interprétations à partir desquelles ils pourront construire leurs connaissances mathématiques. La difficulté repose dans le fait que les ressources n'intègrent pas elles-mêmes les explications nécessaires, qui permettraient aux mathématiques impliquées d'apparaître clairement à travers elles. Les significations mathématiques viennent de leurs usages, à travers leur relative transparence. L'hybridation et la transparence sont des outils d'analyse interconnectés qui nous permettent d'interroger les ressources et leurs usages en contexte.

1.3.2 Conceptualiser les ressources dans la pratique des mathématiques scolaires hybrides

Les approches usuelles des ressources éducatives sont centrées sur des ressources particulières, matérielles et humaines, que l'on peut qualifier de *ressources élémentaires*. Elles sont nécessaires pour assurer les *fondamentaux* de la scolarité (bien que nous sachions qu'il y a des écoles qui réussissent en dépit du manque de certaines de ces ressources), et elles dépendent de la répartition des richesses du pays entre ces écoles. Les ressources matérielles élémentaires incluent l'infrastructure de l'école, les bâtiments, l'eau courante, l'électricité, les bureaux et les chaises, le papier et les stylos. Les ressources humaines élémentaires réfèrent au taux d'encadrement des élèves, au nombre d'élèves par classe, à la qualification des enseignants, bien que l'influence de ces deux dernières ressources (qualification des enseignants et nombre d'élèves par classe) puisse être contestée (Sebide 1998, pp. 38,72).

Se centrer sur ces ressources élémentaires serait restrictif. Dans une étude conduite en Afrique du Sud portant sur les ressources pour transformer l'enseignement des sciences, Jita (1998) identifie cinq sortes de ressources qui interagissent pour déterminer une pratique enseignante efficace en sciences : les ressources humaines (enseignants, élèves, parents), les connaissances (sur la science, sur l'enseignement des sciences, et sur les réformes prévues) ; le temps ; le sens de la mission d'enseignement et l'engagement ; et le matériel textuel. Ce qui nous paraît significatif, c'est que Jita

identifie les ressources au-delà des ressources matérielles, pour y inclure des ressources culturelles (comme le temps) et des ressources émotionnelles (comme l'engagement).

En considérant les mathématiques scolaires comme une pratique hybride, il est nécessaire d'élargir les ressources au-delà des ressources élémentaires ; la description qui suit constitue une première catégorisation, qui reste limitée mais permet d'interroger les ressources.

Les ressources humaines. Le professeur de mathématique lui-même est bien sûr une ressource clé, et l'importance de cette ressource n'est pas simplement fonction d'une qualification antérieure formelle. La recherche sur la formation explore les connaissances d'un professeur de mathématique, leurs composantes et leur profondeur. Quelle quantité et quelle sorte de mathématique ? Quelle connaissance du contenu pédagogique ? Quelles relations entre ces diverses connaissances ? Plus généralement, quelles connaissances sur la pratique et les théories éducatives ? Quelles connaissances portant sur l'enseignement à des apprenant différents, sur le plan culturel, ou linguistique ? Et pour enseigner dans des zones rurales ou urbaines, à des publics défavorisés socialement ? Comme je l'ai dit plus haut, je m'intéresse aux connaissances mathématiques et professionnelles des enseignants, en relation avec un champ de recherche qui se développe à propos du savoir mathématique pour enseigner³.

Les ressources matérielles. Il faut distinguer entre outils technologiques, matériel pour les mathématiques scolaires, objets mathématiques, et objets de tous les jours ou non-mathématiques. Les technologies, dans les mathématiques scolaires, vont du tableau noir, largement disponible, à des logiciels sophistiqués. Le matériel pour les mathématiques scolaires inclut les manuels et les Geoboards⁴, qui sont faits spécifiquement pour les mathématiques scolaires. Ils incorporent à la fois des possibilités et des intentions mathématiques et didactiques. Les objets mathématiques⁵ émergent dans le contexte de la discipline et de la communauté savante. Ils sont évidemment très divers, et vont d'un théorème très complexe à une simple bande numérique, intègrent le plan cartésien et des procédures classiques... Des objets de tous les jours interviennent, comme les pièces de monnaie, les calculatrices, les règles graduées. Ce n'est pas le contexte mathématique qui détermine les significations de ces objets de tous les jours, mais les pratiques culturelles quotidiennes comme vendre et acheter, mesurer, et communiquer.

Les ressources culturelles. Le langage comme ressource pour les professeurs de mathématiques a plusieurs dimensions. C'est une ressource *culturelle*, en ce qu'il inclut la (les) principale(s) langue(s) que les apprenants apportent dans la classe, comme leur relation avec la langue de l'enseignement. C'est aussi une ressource *sociale*, car elle inclut les verbalisations des apprenants pendant la classe. Comme Forman (1996) le soutient, « Les étudiants ont besoin de se considérer eux-mêmes et les uns par rapport aux autres, comme des ressources intellectuelles, au lieu de se placer seulement sous l'autorité du professeur et des textes » (pp. 117, 121).

Enfin, le temps peut-être vu aussi comme une ressource culturelle, utilisée différemment, par exemple, dans les contextes ruraux ou urbains. Dans tous les cas, le temps a, à l'école, une fonction de formatage, à travers les agendas, la durée des périodes scolaires, les possibilités de travail à la maison. Il structure le travail du professeur, d'où son sentiment de manque de temps, quand les demandes de changement dans la pratique scolaire ne respectent pas le temps des enseignants (voir Hargreaves 1994, pour une discussion sur ce point).

La table 1 (annexe) récapitule ces catégories et fournit des exemples. Beaucoup de ces ressources apportent en classe de mathématiques des significations venant de pratiques dans d'autres contextes. Il y a, entre les ressources et les mathématiques scolaires, leur usage en pratique : leur transparence.

1.3.3 La transparence des ressources, située et relationnelle

Selon Lave et Wenger (1991), l'accès à une pratique intègre l'accès à ses ressources, ses artefacts et ses relations sociales :

« Devenir pleinement membre d'une communauté requiert l'accès à un vaste ensemble d'activité en cours, de membres historiques et d'autres membres de la communauté ; et à l'information, aux ressources, aux opportunités de participation. » (p.101)

Lave et Wenger affirment que, souvent, les chercheurs en sciences humaines et sociales qui s'intéressent à l'apprentissage traitent la technologie comme allant de soi et n'analysent pas ses

³ Un numéro spécial de *For the Learning of Mathematics* sera publié en novembre 2009, Volume 29 (3), centré sur le savoir mathématique dans et pour l'enseignement.

⁴ Le Geoboard est une planche portant un quadrillage de clous, permettant la construction de figures géométriques avec des élastiques, et employé dans divers pays pour approcher les notions d'aire ou de périmètre.

⁵ Non évoquée ici, la discussion sur la nature des objets mathématiques, leurs formes réelles, matérialisées ou idéales.

relations avec les autres aspects d'une communauté de pratique. Pour Lave et Wenger, un élément clé de l'accès à une communauté est associé au concept de transparence, avec ses fonctions duales de visibilité et d'invisibilité (ibidem, p.103). Pour qu'il y ait accès à une pratique, les ressources de cette pratique doivent être transparentes. Elles doivent être visibles, pour pouvoir être utilisées pour étendre la pratique. Mais elles doivent aussi être invisibles, pour permettre un accès fluide à la pratique.

La notion d'apprentissage comme participation périphérique légitime, introduite par Lave et Wenger, n'est pas aisément transférable à l'apprentissage des mathématiques en classe (Adler 1998b). Cependant elle éclaire les pratiques de classe, particulièrement en ce qui concerne les ressources et leurs usages. Les ressources, dans l'enseignement des mathématiques, doivent être vues pour être utilisées (visibles) ; on doit pouvoir voir au travers pour percevoir les mathématiques (invisibles). La transparence n'est pas une caractéristique inhérente à la ressource ; elle dépend plutôt de son usage en contexte. Lorsque les ressources sont exploitées pour soutenir et permettre l'apprentissage, dans une pratique hybride comme celle des mathématiques scolaires, leur transparence devient plus complexe. En conséquence, elles peuvent permettre ou bloquer l'accès à la connaissance mathématique.

Brodie (1995) propose l'exemple frappant d'un groupe d'élèves de grade 9 travaillant avec un Geoboard sur une suite d'activités élaborée pour travailler le concept d'aire et l'existence de différentes formes de même aire. Quand le professeur présente ces activités, elle n'attire pas l'attention sur les caractéristiques du Geoboard, laissant ainsi aux élèves un espace d'interprétation des tâches proposées. L'un des groupes d'élèves se centre sur le nombre de pointes à l'intérieur des diverses formes qu'ils avaient créées avec des élastiques sur le Geoboard. Ils essaient ensuite de trouver une règle reliant le nombre de pointes et l'aire des formes. Les élèves ne disposent pas des arguments mathématiques qui leur auraient permis d'expliquer pourquoi la règle qu'ils avaient proposée ne coïncidait pas avec l'aire de certaines de leurs figures. De plus, lorsque le professeur essaie de travailler sur leur construction, dans un temps limité, elle s'efforce d'attirer leur attention sur les espaces entre les pointes, plutôt que sur les pointes elles-mêmes. Mais les pointes sont trop visibles. Dans ce cas, les intentions mathématiques du professeur - permettre aux élèves d'approfondir leur connaissance du concept d'aire - ne sont pas réalisées. Ici on retient que la présence de ressources dans les mathématiques scolaires exige plus, et non moins, de la part du professeur.

1.3.4 Racines de la conceptualisation: le langage comme ressource transparente

Mon intérêt pour les ressources prend ses racines dans un projet de recherche concernant les classes de mathématiques plurilingues au secondaire (Adler 2001b), et le changement de la relation des professeurs au langage et à l'apprentissage dans des contextes bilingues. La langue que les élèves apportent en classe n'est plus vue comme un problème, mais comme une ressource – à exploiter pour faciliter la construction du sens et l'accès à une nouvelle connaissance et/ou un nouveau langage.

Dans le projet de recherche, des professeurs anglophones, dont les classes se sont rapidement ouvertes à plusieurs ethnies, soulignent l'importance d'explicitement le langage mathématique utilisé en classe. Il s'agit d'une question d'équité et d'accessibilité parce que pour certains élèves, l'anglais, langue de l'enseignement, n'était pas leur langue principale. Ainsi ces élèves sont désavantagés. Hélène (pseudonyme), l'un des professeurs du projet dont la classe, à l'origine blanche, est devenue multi-ethnique, avec plus de 50 % de Noirs, considère le discours, et en particulier la discussion mathématique entre elle-même et ses élèves, et entre les élèves, comme une ressource pour son enseignement des mathématiques, qu'elle espérait centré sur l'apprenant. Elle affirme ceci, parce que depuis que sa classe est devenue multilingue, elle est devenue plus explicite à propos du vocabulaire et de la manière de parler mathématiquement. Elle affirme que cette pratique d'explicitation du langage mathématique est bénéfique à tous les élèves, pas uniquement aux élèves dont l'anglais n'était pas la langue principale. Cependant, au fil de sa prise de conscience de sa propre pratique, Hélène commence à se demander si l'explicitation du langage mathématique est toujours une bonne idée. Elle fait l'expérience de ce que je nomme le *dilemme de la transparence* (Adler 1999). Des vidéos de son enseignement montrent comment, dans certains moments, au lieu d'être une ressource transparente, le langage mathématique explicite devient opaque, objet de l'attention plutôt que moyen d'accéder au sens mathématique.

Les dilemmes liés au langage, comme le dilemme de la transparence, adviennent dans des contextes dans lesquels certaines pratiques langagières comme le changement de code (par exemple le recours à la langue principale des élèves) et le discours mathématique sont vus comme des ressources pour la pratique scolaire des mathématiques. Ceci montre que des changements de pratique, par le recours à de nouvelles ressources, par l'ajout de ressources, ou l'emploi de celles-ci de manière différente a des conséquences, certaines voulues mais d'autres non anticipées. Le travail récent de

Setati *et al.* (2008) dans des classes multilingues en Afrique du Sud utilise la notion de transparence pour éclairer des stratégies d'enseignement et d'apprentissage qui exploitent délibérément la langue principale des élèves. Il établit des résultats riches et spectaculaires sur la possibilité pour de tels usages d'être dans certains cas invisibles, permettant l'accès aux mathématiques, et dans certains cas trop visibles, faisant obstruction au sens.

1.3.5 Extension de l'analyse à d'autres ressources

Si nous étendons l'analyse, nous devons comprendre que tous les types de ressources doivent être à la fois visibles et invisibles. Dès qu'une ressource est utilisée en classe, elle devient visible, objet de l'attention. Si il y a des aspects techniques nouveaux dans la ressource (comme dans le cas d'une calculatrice graphique par exemple), les élèves auront besoin de temps pour se familiariser avec la ressource et son mode opératoire. Mais si la ressource doit soutenir et permettre l'apprentissage des mathématiques, alors à un certain point il va falloir qu'elle devienne invisible- non plus un objet d'attention en soi-même, mais un moyen de faire des mathématiques.

Meira (1995) emploie la notion de transparence dans son analyse de l'usage d'outils, en termes de médiation culturelle de l'activité mathématique. Il se centre sur l'interprétation d'épisodes de classe, dans lesquels deux élèves (garçons) à l'école primaire travaillent avec un dispositif d'engrenages visant à éclairer des relations mathématiques. Son analyse de la manière dont ces garçons utilisaient l'outil la conduit à affirmer que la qualité éducative d'un dispositif matériel était fonction de la manière dont celui-ci était utilisé. La manière dont ils utilisent la ressource n'est pas simplement fonction des caractéristiques de celle-ci – elle dépend plutôt de l'interaction entre cette ressource et les sens apportés par les élèves, de la construction de la tâche par le professeur, de sa médiation de l'activité des élèves, et de la culture de la classe. Comme le montre Meira, cette perspective relationnelle, culturelle sur le l'utilisation d'outils diffère profondément d'une perspective épistémique étroite, dans laquelle les principes et les relations mathématiques sont considérés comme intrinsèques à l'outil, d'une part perçus de manière évidente, d'autre part indépendants des sens attribués par les apprenants, du contexte, du déroulement en classe.

La recherche sur le développement des technologies pour l'enseignement des mathématiques a mis en évidence des faits similaires. Par exemple, Love et Pimm (1996) affirment que les textes, quelque soit le mode d'accès à ceux-ci en classe de mathématiques, auront toujours à être lus, et que ceci sera fonction de la situation (contexte) dans laquelle le texte sera utilisé. Szendrai (1996) affirme que les supports mathématiques matériels ne sont pas une panacée, et qu'ils ne conduisent pas automatiquement à la compréhension visée. Les professeurs, dans leur recours à des ressources variées, confèrent à celles-ci des sens spécifiques, situés dans la pratique et le contexte de la classe. Elles deviennent visibles, et doivent être rendues invisibles. Ceci peut être particulièrement complexe, si cette ressource est issue du quotidien, et si les stratégies pédagogiques sont centrées sur l'élève.

La monnaie est un exemple d'une ressource volontiers utilisée en mathématiques, avec des significations quotidiennes importantes. Quand la monnaie est utilisée en classe en tant que contexte familial qui peut conférer du sens à différents aspects du nombre, nous devons comprendre que non seulement le sens de la monnaie dans une activité de classe est différent de son sens dans la vie réelle, mais que ce sens dépend de la classe sociale (Walkerdine 1988). Des pratiques d'achat et de vente peuvent fournir un contexte familial pour les mathématiques scolaires, mais elles amènent dans la classe des significations liées au pouvoir d'achat conféré par l'argent dans la vie réelle, et peuvent ainsi obscurcir, bloquer l'accès aux significations mathématiques qu'elles sont censées soutenir. C'est pourquoi l'emploi de ressources issues de contextes et de pratiques extra-mathématiques représentent un réel défi pour les professeurs.

Les objets mathématiques, par exemple les démonstrations, embarquent des histoires et des mondes sociaux. Ce sont des artefacts, pour la pratique mathématique, et ils doivent également être transparents.

Comme l'écrit Restivo (1994) :

« Il n'y a pas de raison pour qu'un objet comme un théorème soit traité différemment d'une sculpture, d'un pot à thé, ou d'un gratte-ciel... Les notations et les symboles sont des outils, des matériaux et des ressources qui généralement sont socialement construits... Ils puisent leur sens dans l'histoire de leur conception et de leurs usages. » (p. 219)

Selon les termes de Lave et Wenger : « les artefacts pour soutenir l'enseignement doivent être transparents – un bon équilibre entre les deux nécessités articulées de visibilité et d'invisibilité » (p. 103). La transparence n'est pas une propriété de la ressource, elle dépend de la manière dont la ressource est utilisée et comprise en contexte. La plupart des ressources que les professeurs utilisent dans leur pratique mathématique hybride en classe amènent ce défi de la transparence, c'est-à-dire

de la recherche de l'équilibre entre visibilité et invisibilité. Dans la discussion ci-dessus, je me suis référée aux exemples du langage, des objets du quotidien et des supports mathématiques matériels, y compris les textes. Dans le reste du chapitre, je vais exploiter des exemples issus du projet de formation d'enseignants évoqué ci-dessus. Comme nous le verrons, la conceptualisation des ressources proposée ici a façonné, et a été façonnée par ce projet de recherche sur la formation des enseignants.

1.4 Ressources dans le contexte de la formation des enseignants en Afrique du Sud

Une équipe de recherche de l'Université du Witwatersrand a étudié les conséquences sur la pratique des enseignants d'un dispositif de formation en mathématiques, en sciences, et en Anglais. Les stratégies d'enseignement centrées sur l'élève et les ressources étaient cruciales dans ce dispositif.

Un bilan de la pratique de certains des professeurs participant au dispositif a été effectué en 1996, puis suivi en 1997 et 1998 (Adler & Reed 2002). Les professeurs participant au projet exercent dans des établissements qui diffèrent de manière importante en termes de ressources. Certains travaillent dans des établissements ruraux très pauvres, tandis que d'autres exercent dans des écoles mieux équipées, en zone urbaine. L'intérêt porté aux ressources fait référence à une conceptualisation large de ressources, incluant les ressources matérielles, humaines, culturelles et sociales. L'étude porte sur les questions suivantes : quelles sont les ressources disponibles, comment sont-elles utilisées dans la durée ? Quelles ressources sont créées par les professeurs, lesquelles sont réutilisées ?

Il y a dans ce projet de nombreux exemples qui confirment la pertinence de ce qui a été discuté jusque là. En 1996, et plus encore en 1997 et 1998, les professeurs enseignant les mathématiques au premier degré en particulier ont proposé et utilisé un large ensemble de ressources matérielles pour tenter d'améliorer leur pratique. Malheureusement, dans presque tous les cas, les ressources (celles-ci allaient d'un puzzle de type tangram 'fait maison', à un carré magique 3x3, des réglettes Cuisenaire et des fiches d'activités) ne sont pas passées du statut d'objet à celui de moyen de construire du sens mathématique. Au lieu de devenir des ressources transparentes, elles sont souvent restées opaques.

Pour soulever des questions concernant la formation des enseignants, je voudrais me centrer ici sur deux exemples issus du projet, intéressants à des titres différents, à propos desquels on peut parler de re-source.

1.4.1 Le tableau noir

Pour les enseignants de mathématiques du second degré impliqués dans le projet, le tableau noir reste la principale ressource pendant les séances observées en 1997 et 1998, mais les manières de l'utiliser ont évolué. Contrairement à ce qui a été observé en 1996, les professeurs ne passent pas l'essentiel de leurs leçons à expliquer depuis le tableau.

Au lieu de cela, comme ils se sont tournés vers une pratique centrée sur les élèves, ceux-ci travaillent en petits groupes sur des exercices (semblables aux exercices issus des livres employés en 1996). Ils sont ensuite invités à partager leurs solutions avec le reste de la classe en les écrivant au tableau et en les expliquant. Mpho (pseudonyme), par exemple, a développé un processus de sélection des élèves envoyés au tableau ; elle sélectionne des groupes dont les réponses sont différentes. Les élèves écrivent leurs solutions en silence. Mpho contrôle le déroulement, revient au tableau pour travailler avec la classe entière sur des solutions. Son objectif à ce stade de la leçon est d'identifier la bonne solution et de corriger les erreurs des solutions erronées.

Mpho, et les autres professeurs du second degré dans le projet, ont développé leur pratique pédagogique en introduisant de nouvelles manières d'exploiter le tableau noir. Le tableau est utilisé comme ressource partagée, un support pour rendre publiques différentes réponses d'élèves et pour travailler publiquement sur leurs erreurs. Le tableau noir rendait visible une pratique tournée vers plus de participation (qui pouvait être vue à travers l'usage du tableau). Dans le même temps, les élèves affichent des réponses, qui ne comportent pas le processus de recherche, le comment et le pourquoi de chaque solution.

Lorsque Mpho retourne au tableau, elle le fait pour mettre en évidence et corriger les erreurs. Ce qui reste visible, publiquement, sur le tableau, est la solution juste qui n'est pas discutée, et des solutions fausses, sur lesquelles seulement la partie erronée a été corrigée. Il est intéressant de se pencher sur les avantages et les inconvénients de cette pratique. En 1996, Mpho est la seule utilisatrice du tableau dans sa classe. Elle montre, et explique les processus menant aux solutions données en modèle au tableau. Je n'affirme pas que de tels modèles sont compris sans difficultés par les élèves. Nous savons que ce n'est pas le cas. Mais il est important que nous réfléchissions, avec les professeurs, sur l'utilisation des ressources en classe et leurs conséquences, prévues et imprévues, et sur qui tire profit de quoi.

J'ai présenté cet exemple d'une pratique re-sourcée avec le tableau noir parce que, en plus des manuels et des cahiers, le tableau est probablement la ressource matérielle la plus simple, la plus répandue et la plus largement utilisée en classe. Ce que j'ai essayé d'illustrer et de concrétiser ici, c'est que même dans un contexte où peu de ressources sont disponibles – Mpho enseigne au lycée dans un établissement rural très pauvre – les professeurs interprètent et utilisent ce qu'ils ont, pour tenter d'améliorer et d'optimiser leur pratique. En introduisant de nouvelles manières d'employer son tableau noir, Mpho le rend transparent, du point de vue d'une plus grande participation en classe et ainsi développe sa pratique pédagogique. Cependant, comme le diraient Chevillard & Cirade (Chap. 2), Mpho gagnerait à développer tant ses praxéologies mathématiques que ses praxéologies didactiques ; il faudrait interroger les moyens permettant ce développement.

Comme le montre Ruthven (Chap. 10), l'intégration d'une nouvelle pratique d'enseignement des mathématiques dans le système bien rodé de format d'activité, de script curriculaire, d'économie temporelle n'est pas une tâche aisée. Ce qui peut en être retenu du point de vue de la formation des professeurs, c'est l'importance de travailler avec ceux-ci sur les usages de ressources pour l'enseignement des mathématiques. Il ne s'agit pas de dire que le tableau noir est bon ou mauvais, comme dans l'expression 'chalk and talk' ('écrire-au tableau- et discourir') qui suggère une critique du tableau, mais d'étudier comment il est utilisé, au bénéfice de qui. C'est cette perspective qui est au centre de cet ouvrage ; selon Gueudet et Trouche (Chap. 3), l'attention portée à la documentation des professeurs peut soutenir une telle étude.

1.4.2 Le temps comme ressource

Beaucoup de travaux se sont penchés sur le temps et le travail du professeur. Les innovations curriculaires incluent aussi des demandes de davantage de temps. Celles-ci ne sont pas simplement tournées vers une augmentation du temps disponible (par exemple, pour travailler avec un nouveau matériel), sans changer le rythme quotidien. Il s'agit aussi de prendre en compte le temps de préparation, et le temps en classe, nécessaires pour introduire une pratique plus centrée sur l'élève.

Nous avons constaté dans le projet de recherche l'importance du temps, et la manière dont il semblait fonctionner dans les classes. Avec la perspective que nous adoptons ici, et la conceptualisation des ressources, un questionnement sur la visibilité et l'invisibilité du temps comme ressource pour l'enseignement et l'apprentissage en classe peut éclairer cet enjeu.

En examinant le travail des élèves (à travers leurs écrits dans leurs cahiers) nous avons observé, par exemple, que dans certains établissements les élèves ne font aucun travail écrit pendant de longues périodes. Dans ces mêmes établissements, des élèves arrivent plus d'une heure après le début des cours, et beaucoup partent à différents moments de la journée. Il nous est apparu que, dans certains cas, ils n'y a pas clairement d'emploi du temps. L'absentéisme est élevé ; ainsi la continuité ne peut pas être assurée, l'enseignement est fragmenté en tranches autonomes par demi-heures. Les professeurs parlent du fait qu'ils n'ont pas assez de temps parce que les élèves arrivent en retard, partent en avance, ne font pas le travail demandé etc. A l'opposé, dans des endroits où le temps est visible pour des personnes extérieures à l'établissement, des emplois du temps existent et sont affichés, il y a une sonnerie, des portes (parfois simplement symboliques) se ferment à des moments spécifiques, le travail à la maison est attendu et effectué. L'établissement semble fonctionner correctement, et se centrer sur l'enseignement et l'apprentissage. Le temps est devenu invisible dans la pratique scolaire quotidienne. Mais le temps est aussi une ressource transparente – un moyen d'enseigner et d'apprendre. Dans l'innovation et le changement de pratique, et pour prendre en compte les établissements où la situation est difficile, l'attention portée au temps comme ressource transparente peut être utile.

En conséquence, la recherche, la théorie et la pratique en formation des professeurs de mathématiques doit prendre en compte de manière contextualisée la relation des professeurs au temps : comment le temps structure leur pratique mathématique en classe, comment ils parviennent (ou non) à exploiter, utiliser, changer ce qui est disponible pour ressourcer leur pratique.

Nous relevons malheureusement que, quelques dix années plus tard, cet état de fait persiste dans de trop nombreux établissements en Afrique du Sud. Des pratiques culturelles, façonnées par le contexte social qui a fortement contribué à forger la scolarité dans les zones très pauvres, sont beaucoup plus difficiles à changer que nous ne le pensions au départ.

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre je me suis centrée sur les *ressources* comme un apport potentiel pour la formation des enseignants, repéré comme central par la recherche comme par la pratique. J'ai proposé une conceptualisation des ressources qui décrit ce que sont celles-ci dans une pratique complexe comme

celle des mathématiques scolaires. J'ai discuté et illustré le fait que le fonctionnement d'une ressource dans le cadre des mathématiques scolaires dépendait de son utilisation contextualisée, et non simplement de la présence de cette ressource. En d'autres termes, dans la formation des professeurs de mathématiques, l'attention doit se porter sur les ressources dans la pratique contextualisée. Une catégorisation des ressources, avec des concepts comme ceux d'hybridation et de transparence fournit des outils conceptuels permettant aux formateurs d'enseignants d'aborder ces questions complexes. J'ai utilisé les exemples du tableau noir, du langage et du temps – trois ressources partout disponibles et les plus communes qui soient, dans toutes les situations – et montré qu'avec une compréhension claire de la dynamique de la visibilité et de l'invisibilité des ressources, les professeurs peuvent développer leur pratique à travers un usage plus transparent des ressources en classe et donc mieux permettre l'accès aux mathématiques.

L'attention à ces différentes dimensions offre une perspective d'exploitation des ressources pour la formation des professeurs de mathématiques qui pourrait faciliter leur action et leur réflexion sur l'action. Notre conception d'un professeur re-sourcé devient celle d'un professeur agissant avec des ressources matérielles et socio-culturelles et non pas simplement celle d'un professeur entouré de ressources matérielles. Notre attention s'est tournée, d'une demande non problématisée de plus de ressources, vers les interactions entre le professeur et les ressources. Nous avons montré comment, dans divers contextes, les professeurs de mathématiques utilisent les ressources dont ils disposent, comment ceci évolue au fil du temps, et comment et avec quelles conséquences de nouvelles ressources sont intégrées dans la pratique des mathématiques scolaires.

Références

- Adler, J. (1998a). Resources as a verb: Recontextualising resources in and for school mathematics practice. In A. Olivier & K. Newstead, (Eds.), *Proceedings of the 22nd Conference of the International Group of the Psychology of Mathematics Education*, Vol. 1, (pp. 1-18). Stellenbosch, South Africa: University of Stellenbosch.
- Adler, J. (1998b). Lights and limits: Recontextualising Lave and Wenger to theorise knowledge of teaching and of learning school mathematics. In A. Watson, (Ed.), *Situated cognition and the learning of mathematics* (pp. 161-177). Oxford, UK: Centre for Mathematics Education Research, University of Oxford.
- Adler, J. (1999). The dilemma of transparency: Seeing and seeing through talk in the mathematics classroom. *Journal of Research in Mathematics Education*, 30, 47-64.
- Adler, J. (2001a). Re-sourcing practice and equity: A dual challenge for mathematics education. In Atweh, B., Forgasz, H. & Nebres, B (Eds.) *Sociocultural research in mathematics education: An international perspective* (pp. 185-200). Lawrence Erlbaum Associates.
- Adler, (2001b). *Teaching mathematics in multilingual classrooms*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Adler, J. (2009). A methodology for studying mathematics for teaching. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 29 (1), 33-58.
- Adler, J., Davis, Z. (2006). Opening another black box: Researching mathematics for teaching in mathematics teacher education. *Journal for Research in Mathematics Education*, 37 (4), 270-296.
- Adler, J., Reed, Y. (Eds.) (2002). *Challenges of teacher development: An investigation of take-up in South Africa*. Pretoria: Van Schaik.
- Bernstein, B. (1996). *Pedagogy, symbolic control and identity: Theory, research, critique*. London: Taylor and Francis.
- Black, P., Atkin, J. M. (Eds.) (1996). *Changing the subject: Innovations in science, mathematics and technology education*. London: Routledge.
- Boaler, J. (1997). *Experiencing school mathematics: Teaching styles, sex and setting*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Brodie, K. (1995). Peer interaction and the development of mathematical knowledge. In L. Meira & D. Carragher, (Eds.) *Proceedings of the 19th International Conference for the Psychology of Mathematics Education*, Vol. 1 (pp.16-223). Recife, Brazil: Universidade Federal de Pernambuco.
- Confrey, J. (1995). A theory of intellectual development (Part 3). *For the Learning of Mathematics*, 15(2), 36-45.
- Cornbleth, C. (1990). *Curriculum in context*. London: Falmer Press.

- Cuban, L. (1993). *How teachers taught: Constancy and change in American classrooms, 1890 - 1990* (2nd. ed.). New York: Teachers' College Press.
- Dowling, P. (1998). *The sociology of mathematics education: Mathematical myths/pedagogic texts*. London: The Falmer Press
- Forman, E. A. (1996). Learning mathematics as participation in classroom practice: Implications of sociocultural theory for educational reform. In L. P. Steffe, P. Nesher, P. Cobb, G. Goldin, B. Greer (Eds.) *Theories of mathematical learning* (pp. 115- 130). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hargreaves, A. (1994). *Changing teachers, changing times: Teachers' work and culture in the postmodern world*. London: Cassell.
- Jaworski, B. (1994). *Investigating mathematics teaching*. London: Falmer Press.
- Jita, L. (1998). Resources for transforming science teaching in schools. In Africa, H. P., Hubert, J. C., Miller, A. & Moja, T. (Eds.) *Education Africa Forum* (2nd. ed., pp. 52-55). Pinegowrie, South Africa: Education Africa.
- Kilpatrick, J., Swafford, J., Findell, B. (Eds.) (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. National Academy Press: Washington.
- Lave, J., Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Love, E., Pimm, D. (1996). 'This is so': A test on texts. In A. J. Bishop, K. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick & C. Laborde (Eds.), *International handbook of mathematics education* (pp. 1207- 1234). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Meira, L. (1995). Mediation by tools in the mathematics classroom. In L. Meira & D. Carraher (Eds.), *Proceedings of the 19th international conference for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 1, pp.102-111). Recife, Brazil: Universidade Federal de Pernambuco.
- Restivo, S. (1994) The social life of mathematics. In P. Ernest (Ed.), *Mathematics, education and philosophy: An international perspective* (pp. 209-220). London: Falmer Press.
- Sebide, K. (1998). Class size and pupil achievement: a literature survey. In Joint Education Trust (JET). *President's education initiative. Appendix C*. Johannesburg, South Africa: JET/DANIDA.
- Setati, M., Molefe, T., Langa, M. (2008) Using Language as a Transparent Resource in the Teaching and Learning of Mathematics in a Grade 11 Multilingual Classroom. *Pythagoras*, 67, 14-25.
- Sfard, A. (1998). On two metaphors for learning and the dangers of choosing just one. *Educational Researcher*, 27(2), 4-13.
- Szendrai, J. (1996). Concrete materials in the classroom. In A. J. Bishop, K. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick & C. Laborde (Eds.), *International handbook of mathematics education* (pp. 411-434). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Walkerdine, V. (1988). *The Mastery of reason: Cognitive development and the production of rationality*. London: Routledge.

Annexe Table1 : Catégorisation des ressources mobilisées pour les mathématiques scolaires

Ressources élémentaires – pour assurer les fondamentaux de la scolarité			
Ressources		Exemples	Commentaires
Matérielles		Bâtiments scolaires, eau courante, électricité, clôture, bureaux, chaises, papier, stylos ...	Leur absence rend la demande de « plus » évidente et nécessaire
Humaines		Taux d'encadrement, nombre d'élèves par classe, qualification du professeur	Reconnues comme élémentaires, mais la portée et le contenu de la qualification, comme ce qui serait un nombre optimal d'élèves par classe, est l'objet de discussions.
Autres ressources et leur transparence			
Humaines	Personnes	Les connaissances du professeur Les parents	Ampleur, contenu, orientations (pas de consensus)
	Processus	Collégialité	Pour assurer la continuité de la pratique comme le changement
Matérielles	Technologies	Tableau, calculatrice, ordinateur, photocopieur	Nécessité d'invisibilité, pour que la pratique soit vue à travers la technologie
	Matériel mathématique scolaire	Manuels scolaires, autres textes, bûchettes, Geoboards, logiciels	Les significations mathématiques ne sont pas évidentes ; comme les possibilités pédagogiques, elles sont construites dans l'action ; la pédagogie centrée sur l'apprenant peut devenir trop visible.
	Objets mathématiques	Preuves, bandes numériques, carrés magiques	Spécifiquement mathématique, mais avec une histoire sociale, doit aussi être visible et invisible.
	Objets de tous les jours	Monnaie, journaux, calculatrices, règles graduées	Utilisées en dehors des mathématiques, doit aussi être visible et invisible.
Sociales et culturelles	Langage	L1, L2, changement de langue, verbalisation, communication	Hypothèse : le changement de langue et le discours sont producteurs. Doit être visible et invisible.
	Temps	Agenda, longueur des périodes, travail à la maison	La structuration du temps doit être visible et invisible ; avec des nouvelles pédagogies, ou quand il y a rupture de scolarité, peut devenir trop visible.

Chap. 2 - Les ressources manquantes comme problème professionnel

Yves Chevallard et Gisèle Cirade

2.1. Les phénomènes transpositifs et la noosphère

Cette étude s'appuie sur la *théorie anthropologique du didactique* (TAD) (Chevallard 2007b). Celle-ci met au premier plan la notion de *praxéologie*, qui, en généralisant différentes notions courantes (celles de savoir et de savoir-faire, ou, en anglais, de *skill*, mot qui désigne "*an ability that has been acquired by training*"), doit permettre de désigner, sans jugement de valeur, toute structure de connaissance possible. La structure praxéologique la plus simple se compose d'un *type de tâches* T , d'une *technique* τ , manière réglée d'accomplir les tâches t du type T , d'une *technologie* θ , discours raisonné (*logos*) sur la technique (*tekhnê*) censé la rendre intelligible comme moyen d'accomplir les tâches du type T , enfin d'une composante *théorique* Θ , qui gouverne la technologie θ elle-même, et donc l'ensemble des composantes de la praxéologie. Une telle praxéologie se note $[T/\tau/\theta/\Theta]$: elle s'analyse en une partie pratico-technique ou *praxis* (qu'on peut nommer « savoir-faire »), et une partie technologico-théorique ou *logos* (qu'on peut identifier à un « savoir » au sens usuel du terme).

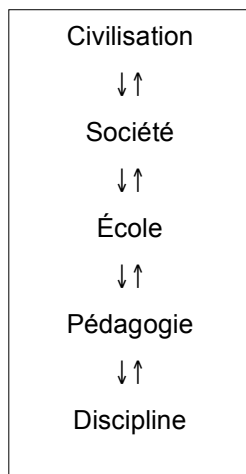
Un aspect crucial du concept de praxéologie est qu'il n'existe pas de *praxis* sans *logos*, même quand celui-ci paraît absent, parce que peu visible. Une praxéologie existant en une institution peut être *transposée* en une autre institution avec une *praxis* identique mais un *logos* modifié ; ou, à l'inverse, avec un *logos* maintenu, mais une *praxis* modifiée. Ces altérations et recombinaisons praxéologiques sont au cœur de l'histoire sociale des praxéologies et au cœur du problème que nous voudrions soulever dans ce qui suit. De cela, voici un exemple très simple, où le type de tâches T est la division d'un entier par un autre : une tâche t du type T est par exemple la division de 509 par 15. Une certaine technique τ relative à T conduit alors à faire ceci : puisque $15 = 3 \times 5$, on divise 509 par 5, ce qui revient à diviser 505 par 5 ; le quotient, 101, est alors divisé par 3, ce qui revient à diviser 99 par 3 : on obtient ainsi 33, *qui est le quotient cherché*. Cette technique était encore enseignée au collège dans les premières décennies du xx^e siècle. Aujourd'hui, beaucoup de professeurs de mathématiques se surprendront à douter qu'elle « soit juste » : pour que le lecteur éprouve un instant une salutaire incertitude technologico-théorique, nous lui abandonnons donc le soin de reconstruire, s'il le souhaite, le *logos* mathématique correspondant.

Les praxéologies mathématiques enseignées sont le fruit d'un processus complexe de *transposition didactique*, dont l'opérateur anonyme est cette institution composite et ouverte que l'un des auteurs, reprenant de façon parodique un terme popularisé autrefois par Teilhard de Chardin (1955, p. 279), a naguère appelé la *noosphère* – la sphère où se « pense », c'est-à-dire où se conçoit et se construit, l'enseignement des mathématiques (Chevallard 1991, p. 25). La même remarque s'applique aux praxéologies *didactiques* organisant la rencontre des élèves avec les praxéologies mathématiques enseignées. Quels membres de la noosphère peuvent intervenir utilement dans la transposition didactique des praxéologies à enseigner et dans la constitution des praxéologies didactiques correspondantes ? Telle sera la question générale en filigrane de notre étude : nous souhaitons en effet ouvrir un débat crucial (à nos yeux) touchant une hypothèse qui court dans cet ouvrage (Winsløw Chap. 6 ; Gueudet & Trouche Chap. 7 ; Sensevy Chap. 8) à propos du rôle que pourraient assumer les collectifs de professeurs, en tant qu'acteurs de la noosphère. Nous tenterons de montrer (a) que le projet de faire reposer la vie de la noosphère sur l'activité de tels collectifs est promis à pérenniser l'état actuel du système scolaire et en particulier du métier de professeur, et (b) qu'une *autre perspective* est possible, qui donne à l'activité de ces collectifs un rôle productif dans le *développement effectif* du système scolaire.

2.2. Enseigner, une semi-profession ?

La TAD définit la didactique comme *la science des conditions et des contraintes de la diffusion sociale des praxéologies* : la didactique *des mathématiques* est ainsi la science des conditions et contraintes de la diffusion sociale des praxéologies *mathématiques*. Soulignons la distinction faite en TAD entre conditions et contraintes : une contrainte est une condition regardée, depuis une certaine position institutionnelle, à un certain instant, comme *non modifiable* ; de même, une condition est une contrainte jugée *modifiable*, en ce même sens. Ce que la didactique a étudié d'abord, ce sont les conditions et contraintes créées par ce qu'on nomme *le didactique*, ensemble des « faits et gestes » personnels ou institutionnels inspirés par une *intention* didactique, soit une intention de faire qu'une personne ou une institution rencontre un certain contenu praxéologique. La didactique s'est centrée d'abord sur le didactique créé *dans la classe, par le professeur*. Contre cette limitation du champ de l'étude, la théorie de la transposition didactique (qui a constitué le premier état de la TAD) a mis en

avant des conditions *non créées par le professeur*, qui sont souvent pour lui des contraintes, et, plus largement, des conditions créées à d'autres échelons de ce qu'on nomme *l'échelle des niveaux de codétermination didactique*. Cette échelle distingue, du bas vers le haut (voir ci-après), le niveau de la *discipline* dont relève le contenu praxéologique visé (mathématiques, grammaire du français, biologie, etc.), puis le niveau de la *pédagogie*, ensuite celui de l'*école*, au-delà celui de la *société*, enfin celui de la *civilisation*.



Contre une tradition qui voyait dans le niveau de la pédagogie (siège de conditions et contraintes regardées comme non spécifiques de tel ou tel contenu praxéologique) l'alpha et l'oméga de l'écologie du didactique scolaire, les didacticiens ont étudié les conditions et contraintes ayant leur siège *au niveau de la discipline*, oubliés parfois, alors, des *contraintes de niveau supérieur* sans lesquelles nombre de phénomènes touchant la diffusion de la discipline ne peuvent être expliqués. Ainsi en va-t-il s'agissant du statut du métier d'enseignant : la TAD regarde comme la conséquence d'une *contrainte de civilisation* de longue durée le statut *dominé* du champ de l'enseignement et la difficulté corrélative de voir l'activité professorale reconnue comme un véritable *métier* (Chevallard, 1997). Mais un autre fait doit être souligné : ce qu'il existe de métier en la matière ne parvient guère à se *professionnaliser* ; le « métier » qu'entendent exercer nombre de

professeurs stagne dans un état historique de *semi-profession*. Introduisant autrefois cette notion, Amitai Etzioni (1969) écrivait :

Lacking a better term, we shall refer to those professions as *semi-professions*. Their training is shorter, their status is less legitimated, their right to privileged communication is less established, there is less of a specialized body of knowledge, and they have less autonomy from supervision or societal control than "the" professions. (p. v)

Il poursuivait par cette observation, que nous ferons nôtre :

We use the term semi-professions without any derogatory implications. Other terms which have been suggested are either more derogatory in their connotations (e.g. sub-professions or pseudo-professions) or much less established and communicative (e.g. "heteronomous" professions, a concept used by Max Weber).

Comme y invite le titre de l'ouvrage cité – *The semi-professions and their organization: Teachers, nurses, social workers* –, on peut regarder comme soumis au régime des semi-professions les métiers de professeur, d'infirmier ou de travailleur social, par contraste avec les professions proprement dites d'avocat ou de médecin ("Semiprofession", 2008)¹.

Nombre de semi-professions travaillent à leur transformation en professions. Mais alors que le slogan « Enseigner est un métier ! » est devenu familier dans les luttes pour la formation des professeurs, rien de tel n'existe aujourd'hui concernant la *profession* de professeur : la professionnalisation du métier n'est toujours pas un objet de revendication. La frontière entre semi-profession et profession est un Rubicon que, d'une façon générale, les professeurs ne s'autorisent guère à franchir, ni même à évoquer. Ce sont les effets de ce non-franchissement que nous examinerons, en même temps que nous explorerons, si peu que ce soit, les voies et moyens d'aller au-delà. Dans ce but, nous parlerons ici, par anticipation, de *profession* là où nous n'avons encore affaire, pour l'essentiel, qu'à une semi-profession : cette expérience de pensée nous paraît en effet indispensable pour prendre conscience des limites actuelles imposées au *métier* de professeur.

Sous le nom de *profession* (de l'enseignement des mathématiques), nous désignerons en fait un vaste ensemble incluant, à côté des professeurs, les animateurs et responsables de l'enseignement des mathématiques, et aussi les chercheurs – mathématiciens, didacticiens ou autres – travaillant spécifiquement sur des *problèmes de la profession*. L'introduction du concept de profession change de façon abrupte les perspectives. Dans l'état historique encore actuel, le professeur est regardé et, par force, se regarde souvent comme un *petit producteur indépendant* qui doit se procurer ses « ressources » (Adler Chap. 1), inventer ses solutions, et vivre seul ce qu'il croit être « ses » échecs et « ses » réussites. Mais si on l'imagine membre d'une profession, on voit d'un coup sa culture de métier changer profondément : lorsqu'il rencontre une difficulté, *c'est vers la profession qu'il se tourne*, même s'il n'abdique pas sa liberté personnelle de praticien. Un médecin n'invente ni la science médicale qu'il met en œuvre, ni les thérapies qu'il prescrit : on ne demande pas à des collectifs de médecins de ville de découvrir le VIH ou de mettre au point les trithérapies aujourd'hui en usage. Par

¹ En France, le « métier » d'enseignant-chercheur illustre opportunément la distinction entre semi-profession et profession. En tant que *chercheur*, l'universitaire est un supposé savant, membre d'une *profession*. En tant qu'*enseignant*, et à l'instar de ses collègues du primaire et du secondaire, il est soumis au régime d'une *semi-profession* : sur ce point, voir par exemple Siracusa (2008).

contraste, dans l'état actuel du métier de professeur, la profession est d'un piètre secours : elle ne répond qu'à très peu de questions que l'exercice de son métier pose au praticien.

Dans une profession, ce que sait un professionnel n'est guère différent de ce que sait la profession. Ou, pour user des concepts de la TAD, le *rapport personnel* de tel professeur à tel objet – mathématique ou didactique – de son métier est pour l'essentiel superposable au rapport *institutionnel* qui est celui de la profession à cet objet. Dans une profession, toute difficulté du métier est problème *pour* la profession, que celle-ci doit s'efforcer de résoudre *pour l'ensemble de ses membres*, même si chacun d'eux engage sa responsabilité personnelle dans ses choix de praticien. Par contraste, dans la situation actuelle, les instances semi-professionnelles existantes se limitent à faire connaître les trouvailles erratiques de quelques-uns de leurs membres, sans qu'existe à leur propos un débat scientifique fort, garant de leur validation et de leur validité : chacun peut apporter ses produits sur un marché libre auquel, à l'évidence, l'Internet donne aujourd'hui une formidable extension. Selon un mot qui a fait florès dans l'Éducation nationale, la ligne d'horizon est celle de la « mutualisation » de « découvertes » qui, si elles honorent leurs auteurs, *ne font pas pour autant une profession*. Au-delà de cette ligne d'horizon, nul ne sait ce qu'il y a, alors que, dans une profession véritable, c'est l'état historique de développement de la profession qui détermine la ligne d'horizon du métier – laquelle, de ce fait, s'éloigne constamment.

2.3. Un modèle de développement d'une profession à venir

Nous nous plaçons ici dans l'hypothèse où le métier de professeur (de mathématiques) serait pris en charge par une véritable profession. Comment poser alors le problème de l'équipement praxéologique « normal » des membres de la profession, c'est-à-dire comment poser ce qu'on nommera *le problème praxéologique de la profession* ? Soulignons d'emblée que cette question doit être maintenue ouverte, la réponse étant périodiquement déconstruite et reconstruite, pour des raisons qui deviendront évidentes plus loin. On a pu proposer une description de l'équipement praxéologique d'un professeur en distinguant savoirs *à enseigner* et savoirs *pour enseigner*. Souvent reprise depuis², cette distinction est insuffisamment élaborée pour permettre un repérage réaliste des praxéologies utiles à un professeur de mathématiques, notamment parce que les « savoirs pour enseigner » y sont souvent réduits aux « savoirs pédagogiques, organisationnels et relationnels » (Bourdoncle & Demailly 1998, p. 14). Or, pour enseigner des mathématiques, il y a, parmi les savoirs pertinents, des savoirs *mathématiques* qui ne sont pas des mathématiques *à enseigner* : le premier outil pour enseigner des mathématiques, *ce sont les mathématiques elles-mêmes*. Pour cette raison, nous placerons d'abord dans une catégorie unique, ouverte, celle *des praxéologies pour la profession*, l'ensemble des praxéologies dont la profession peut avoir avantage à s'équiper. Bien entendu, cette catégorie contient la sous-catégorie des praxéologies *à enseigner* ; mais elle est loin de s'y réduire : au plan mathématique, elle inclut ainsi les connaissances indispensables pour *identifier* les praxéologies à enseigner. L'ensemble (flou, et évolutif) des praxéologies mathématiques *à enseigner* peut alors s'inclure dans une autre sous-catégorie, celle des praxéologies *pour l'enseignement*, qui comprend, avec les *praxéologies didactiques* relatives à telle ou telle praxéologie mathématique *à enseigner*, les praxéologies mathématiques directement utiles pour concevoir et construire ces praxéologies didactiques (dont l'élaboration suppose aussi des praxéologies *pour la profession* qui ne sont pas à strictement parler des praxéologies *pour l'enseignement*). On peut donc écrire ceci :

praxéologies pour la profession \supset praxéologies pour l'enseignement \supset praxéologies à enseigner.

Notons que les praxéologies *mathématiques* pour la profession ou pour l'enseignement sont des praxéologies *professionnelles à l'égal des autres*. En outre, le schéma proposé ne doit suggérer aucun ordre génétique privilégié. Ainsi, contre ce que peut porter à croire l'habitus d'une semi-profession soumise aux décisions d'une administration d'État, on ne part pas ici de la « donnée » des praxéologies à enseigner : idéalement, la profession se doit au contraire de se doter des praxéologies utiles pour contribuer à la construction d'une réponse validée à la question *Quelles praxéologies mathématiques enseigner ?* – réponse qui, bien sûr, ne lui appartient pas en propre.

Comment identifier ces praxéologies professionnelles ? Certaines sont observables, analysables, évaluables. Mais d'autres ne sont là *que par le manque que crée leur absence*. Comment « voir » ce manque ? Plusieurs techniques sont possibles ; l'une d'elles a été utilisée depuis plus de dix ans dans le cadre de la formation initiale des professeurs de mathématiques à l'IUFM d'Aix-Marseille, parce que la création continuée d'une telle formation est apparue d'emblée comme ne pouvant qu'aller de pair *avec la création continuée de la profession* visée : elle consiste à demander aux professeurs en

² Voir ainsi Perrenoud (2006), ou encore Cavet (2007). Par contraste, voir Chevallard (2008).

formation (en deuxième année d'IUFM), qui ont une pratique (à temps partiel) du métier, de *témoigner* par écrit, semaine après semaine, des difficultés rencontrées dans l'exercice du métier et dans la formation au métier. Les « réponses » aux questions ainsi formulées renvoient à un grand nombre de praxéologies *pour la profession*, qu'il s'agisse de praxéologies à enseigner, de praxéologies pour l'enseignement ou d'autres encore. D'une façon générale, pour se constituer en profession, la semi-profession de professeur de mathématiques doit ainsi se doter des moyens de réaliser un inventaire permanent des questions qui se posent à elle et de les mettre à l'étude en vue de leur apporter réponse. La question des « ressources du professeur » se transmue alors en la question des ressources *de la profession* pour faire face au problème praxéologique de la profession. Or l'inventaire de ces ressources laisse aujourd'hui apparaître de nombreux blancs. Tel est le problème des *ressources manquantes*, problème crucial de la profession en construction.

2.4. Manques mathématiques : quelques exemples

Il existe plusieurs types de manques praxéologiques. Ce qui apparaîtra le plus frappant sans doute, au point de susciter dénégations et réprobations, ce sont ici les *manques mathématiques* ; et c'est donc sur eux que nous nous arrêterons³. Un manque mathématique peut surgir dans la profession quand paraît un nouveau programme comportant des praxéologies mathématiques non enseignées jusque-là au secondaire « général » (auquel nous nous limiterons). Au lycée, la série économique et sociale (ES) est plus souvent l'objet de tels renouvellements, à la durée de vie parfois fort courte. Ainsi en alla-t-il pendant quelque temps, dans les années 1990, avec l'introduction en classe terminale ES de la notion de *dérivée logarithmique*, notion dont beaucoup de professeurs étaient sans doute peu familiers – ainsi que de la notion associée d'*élasticité*⁴ – et que la profession n'eut pas le temps de vraiment « connaître », puisque la dérivée logarithmique disparut du programme de la terminale ES dès la rentrée 2000⁵. En d'autres termes, le rapport institutionnel de la profession à la dérivée logarithmique ou à l'élasticité était encore à l'état naissant quand l'arrêt de mort de ces objets fut prononcé. Au début des années 2000, une innovation de plus grande ampleur, quoique confinée à « l'enseignement de spécialité » de la terminale ES, fut décidée : l'introduction de la *théorie des graphes*, jamais enseignée jusqu'alors au secondaire. Même si des efforts rapides furent accomplis pour produire des ressources afin de nourrir le rapport de la profession à ce domaine d'études nouveau⁶, on a là un cas typique d'un manque mathématique suscité par l'évolution ordinaire des programmes.

Les exemples précédents peuvent susciter deux ordres de commentaire. Tout d'abord, certains professionnels protesteront en affirmant qu'ils connaissaient, eux, cet objet « nouveau » que serait la théorie des graphes ; ou que, du moins, ils ont appris à le connaître pour l'enseigner. La réponse que nous ferons à ce type d'arguments est toujours la même : « la profession », elle, *ne le connaissait pas*, alors qu'elle connaît (ou croit connaître) les nombres décimaux, la dérivation, le produit scalaire ou même la programmation linéaire (à deux variables). L'individualisme traditionnel d'un métier où chacun est porté à voir midi à sa porte fausse ici la vision d'ensemble. Dans une profession véritable, le professionnel sait ce que sait la profession : *tel est le signe qu'une profession existe bien*.

D'où viennent les principaux manques mathématiques de la profession ? Ce que sait la profession est largement dépendant de la formation donnée à l'université aux futurs professeurs. Or on retrouve là un phénomène déjà souligné : la « profession » n'étant aujourd'hui encore qu'une semi-profession, elle est soumise à la domination de puissances tutélaires qui, en l'espèce, se soucient fort peu de ses besoins praxéologiques véritables, *y compris en mathématiques*. Les exemples sont légion ; nous n'en esquisserons qu'un, relatif aux *systèmes de nombres* « à enseigner » au secondaire. Longtemps, dans la période « moderne », la formation universitaire a diffusé dans la profession une « construction » des systèmes de nombres qui décalquait des démonstrations de consistance relative établies au XIX^e siècle : si le système des entiers *naturels* **N** « existe », alors les systèmes de nombres **Z** et **Q** « existent » aussi. Mais le système **Q** des nombres rationnels ne permet pas de satisfaire les besoins de l'enseignement, *même au collège* : dans l'état présent des choses, il y faut, idéalement, un corps de nombres ordonné archimédien contenant les racines carrées de ses nombres positifs ainsi que le nombre π et les valeurs des fonctions cosinus et sinus et de leurs inverses, ce qui plaide pour

³ Nous empruntons notamment, ici, à la thèse de Gisèle Cirade (2006) : on s'y reportera pour de plus amples développements.

⁴ L'élasticité d'une fonction f dérivable en un point x_0 est égale à $x_0 \frac{f'(x_0)}{f(x_0)}$: c'est le produit de x_0 par la dérivée logarithmique de f en x_0 (Michel 1989, p. 263).

⁵ Voir <http://www.education.gouv.fr/bo/2000/hs8/math.htm>.

⁶ Voir <http://eduscol.education.fr/D0015/Intentions.htm> ; et aussi Cogis & Robert (2003), ou Mény, Aldon & Xavier (2005).

« l'introduction » du corps des réels \mathbf{R} . Or une telle infrastructure numérique n'est pas disponible au secondaire. Jean Dieudonné (1906-1992) avait tenté, en vain, de convaincre qu'on pouvait se passer de \mathbf{R} en supposant seulement un corps ordonné archimédien ayant la propriété que tout polynôme de degré au plus trois y possède la propriété des valeurs intermédiaires (Dieudonné 1964, p. 22), ce qui aurait bouleversé des habitudes mentales séculaires (il existe de tels corps non isomorphes, par exemple). La même année, dans un livre dédié à l'enseignement de la géométrie au secondaire, Gustave Choquet (1915-2006) précisait ne supposer que la « structure de corps commutatif totalement ordonné et archimédien, sans l'axiome de continuité » (Choquet 1964, p. 28), ce qui ne résolvait pas le problème posé à la profession : l'élaboration progressive, concomitante et *solidaire*, au collège, des systèmes de nombres et des espaces géométriques.

Arrêtons-nous un instant sur la vaste étendue numérique qui s'étend entre \mathbf{Q} et \mathbf{R} . Un professeur stagiaire ayant en charge, durant l'année 2003-2004, une classe de 4^e témoignait de difficultés qu'on ne peut ignorer lorsqu'on doit piloter une classe ou former à ce pilotage : « Je voudrais, écrivait-il, faire avec les élèves un bilan sur les différentes écritures des nombres rencontrées en 4^e : forme décimale, fractions, racines carrées, puissances de 10. Je ne sais pas comment traiter les cosinus. » Que faire en effet des cosinus ? La question renvoie d'abord à un manque *mathématique* de la profession. Disons en quelques mots par quoi ce manque pourrait commencer d'être comblé. Il est « facile »

d'abord de montrer que, si $\theta = \frac{m}{n} \pi$ rad (où $m, n \in \mathbf{N}^*$), alors $\cos \theta$, $\sin \theta$ et $\tan \theta$ sont des nombres *algébriques* : ce ne sont pas nécessairement des nombres *constructibles* (au contraire des racines carrées d'entiers), mais ce ne sont pas non plus des nombres *transcendants*. Ces derniers sont pourtant nécessaires quand on manipule (on le fait dès la classe de 4^e) des fonctions trigonométriques *inverses* : en classe de seconde, on sait ainsi qu'un angle dont le cosinus vaut 0,5 a pour mesure en radians $\frac{\pi}{3}$; et on peut montrer que, lorsque a est un réel algébrique différent de 0 et

de 1, alors $\arccos a$, $\arcsin a$ et $\arctan a$ sont transcendants. Ainsi en va-t-il en particulier lorsque a est rationnel, ou même constructible, résultat qui généralise le fait connu que, par exemple, $\arccos \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\pi}{4}$. Tous ces résultats relèvent des mathématiques *pour la profession*, même si celle-ci les ignore.

Que telle soit bien la réalité ne saurait être contesté au motif que, parmi les membres de la profession, d'aucuns sauraient tout cela, du fait par exemple de quelque particularité dans les études supérieures suivies à l'université. Dire « la profession sait cela », en effet, c'est dire que ses membres le savent, à de rares exceptions près ; et que, surtout, chacun de ses membres *peut* le savoir aisément dès lors que la profession le sait : *scire licet* – « il est possible de (le) savoir » – est la maxime de toute profession véritable. Les jeux individuels ou collectifs clos sur eux-mêmes ne sont ainsi que le symptôme d'un *retard de développement de la profession* : le professionnel véritable apprend de la profession, qui apprend de tous. Tout professeur de mathématiques peut se demander ce qu'on peut

savoir de la nature du nombre $\frac{\arcsin a}{\pi}$ lorsque a est un nombre algébrique différent de 0 et de 1 ; mais imaginer que chacun recherche la réponse *par lui-même* serait ignorer que c'est à *la profession* de s'affairer pour rendre disponible une réponse adéquate, que chacun en son sein puisse connaître.

Tous ces manques ont une commune origine : ce qui est proposé à la profession par la sphère savante *n'est pas compatible avec les conditions et contraintes* sous lesquelles la profession doit remplir sa mission. Longtemps, au primaire et au secondaire, on a « défini » la notion de nombre comme ce qui permet de mesurer une grandeur (longueur, aire, volume, masse, etc.) : le nombre 2,7 est ainsi la mesure de grandeurs de différentes espèces qu'on notera 2,7 cm, 2,7 m², 2,7 mm³, 2,7 g, etc. Si l'on admet que toute grandeur (continue) est mesurable (une unité ayant été choisie) et peut être divisée par b pour tout $b \in \mathbf{N}^*$, alors la mesure x de la grandeur quotient vérifie $b x = a$, où a mesure la grandeur que l'on a divisée. C'est ce nombre x , supposé unique, qu'on notera de façon générale $\frac{a}{b}$. Tout le calcul des « fractions » découle de là⁷. Ainsi, puisque, par définition, on a $3 \times \frac{2}{3} =$

2 et $8 \times \frac{5}{8} = 5$, on a aussi

⁷ Bien entendu, il resterait à prouver, comme l'ont fait les mathématiciens du XIX^e siècle, que tout cela est cohérent ; mais il serait déraisonnable de mettre la charrue avant les bœufs.

$$(3 \times 8) \times \left(\frac{2}{3} + \frac{5}{8}\right) = (3 \times 8) \times \frac{2}{3} + (3 \times 8) \times \frac{5}{8} = 8 \times \left(3 \times \frac{2}{3}\right) + 3 \times \left(8 \times \frac{5}{8}\right) = 8 \times 2 + 3 \times 5$$

en sorte que, par définition, $\frac{2}{3} + \frac{5}{8} = \frac{8 \times 2 + 3 \times 5}{3 \times 8}$.

On notera encore que, puisque (par exemple) $10 \times 2,7 = 27$, le nombre 2,7 n'est rien d'autre que le nombre qui s'écrit $\frac{27}{10}$: quand elle est conduite de façon appropriée, l'étude des décimaux prépare

ainsi l'étude des fractions, dont elle est une répétition générale. Or, pour des raisons étrangères à l'usage des fractions, la construction dite naguère *moderne* du corps des rationnels s'est affranchie de cet enracinement des fractions dans leur raison d'être première : la mesure de grandeurs *fractionnées*. La faible vigilance mathématique et didactique de la profession conduit ainsi depuis des décennies à une schizophrénie dévastatrice : alors que la dynamique et l'organisation mathématique du calcul des fractions qu'on vient d'évoquer ont été plus que suggérées par les programmes successifs de 6^e, la profession, qui paraît n'avoir pas entendu ce message répété⁸, est demeurée clivée : d'un côté, son surmoi mathématique valorise une organisation d'origine savante, solide et cohérente mais inutilisable ; de l'autre côté, on propose aux élèves une organisation praxéologique souvent indigente, en n'évitant pas des pièges autrefois bien connus mais oubliés depuis, telle la confusion entre *grandeurs* et *objets*. (On peut parler des trois quarts d'une *masse*, non des trois quarts d'une *tarte*, objet qui n'est en rien défini ; et on peut parler aussi, bien sûr, des *sept* quarts d'une *masse*, alors que d'aucuns, vétilleux jusque dans l'erreur la plus grossière, voudraient interdire qu'on parle ainsi, parce qu'ils confondent la *grandeur* avec l'*objet matériel* auquel cette grandeur est attachée.)

C'est tout le numérique qui, sous les contraintes existantes, est donc à repenser. Mais il faut pour cela s'émanciper d'une contrainte asphyxiante : le régime de semi-profession imposé au métier de professeur. Cette situation tend à réduire le rapport du professeur aux mathématiques à son rapport au rapport des élèves aux mathématiques. Or il se trouve – c'est là un legs de l'histoire – que ce rapport professoral est marqué par des traits qui n'ont à voir ni avec les mathématiques ni avec leur didactique : ils participent d'une vision compassionnelle et altière à la fois de l'élève comme *incapable* de ceci ou de cela, par exemple de saisir que, *puisque* $8 \times 3 = 24$, on a l'égalité $\frac{24}{3} = 8$ *par définition*

du nombre noté $\frac{24}{3}$. Il y a en cela un héritage non liquidé d'un schéma social ubiquitaire, où l'un se vit comme dominant face à un autre supposé dominé, sans parvenir à annuler l'emprise en lui-même de cette domination ; ce dont témoigne par exemple, chez nombre de professeurs, la croyance que ce qu'on n'entend pas soi-même (parce qu'on le découvre) ne sera *jamais* entendu de l'élève. Toute une civilisation, toute une société, toute une école, toute une pédagogie même paraissent militer en ce sens.

2.5. Le souci « pédagogique » contre les mathématiques

« Parlant rigoureusement, écrivait Charles Péguy (Passeron 1991, p. 349), on peut dire [que les élèves] sont faits pour le cours, et que le cours n'est pas fait pour eux, puisqu'il est fait pour l'objet du cours. » Le professeur enseigne les fractions, dit-on ; qu'il enseigne quelque chose est certain, mais est-ce bien « les fractions » ? Ou bien est-ce un produit de substitution, qu'on croit adapté au destinataire ? Le cours est-il conforme à l'*objet déclaré* du cours ? Question cardinale, qui engendre une jonchée de questions. Il est facile ainsi de s'assurer que deux fractions ayant la même forme réduite désignent le même nombre ; mais comment établir, au plus près de la vie mathématique *partagée avec les élèves*, que deux fractions qui *n'ont pas* la même forme réduite désignent deux nombres *distincts* ? La question a-t-elle une réponse dans la profession aujourd'hui ? En avait-elle une hier ou avant-hier ? Où sont aujourd'hui les ressources pour façonner une telle réponse, que les professeurs *puissent dûment utiliser* ?

On a dit que l'équipement praxéologique de la profession devrait inclure une certaine connaissance des nombres irrationnels, qu'ils soient constructibles, non constructibles mais algébriques, ou transcendants : le tableau esquissé plus haut est ainsi de nature, croyons-nous, à permettre au professeur qui s'interroge de revoir son projet, de le reformuler, voire, en certains cas, de l'écartier ; bref, de prendre une décision didactique mieux éclairée. Supposant pourtant que la profession choisisse de s'en tenir à la distinction entre décimaux, rationnels et irrationnels, en particulier sous

⁸ Le programme constitue ainsi une *ressource* qui, sur ce point, n'a jamais été utilisée comme telle par la profession.

l'angle des développements décimaux. Comment alors « définir » le développement décimal d'un nombre ? Question clé, si du moins on ne reprend pas, pour les écarter presque aussitôt parce que non viables à ce niveau des études, les solutions toutes faites de la sphère savante. La profession n'est aujourd'hui pas innocente du fait que certains de ses membres puissent dire sans façon à leurs élèves : « Que votre calculatrice fournisse le même affichage pour les fractions $\frac{851}{703}$ et $\frac{1633}{1349}$ ne prouve pas que ces fractions soient égales ; parce qu'il se pourrait par exemple que la 50^e décimale ne soit pas la même ! Ça, vous ne le savez pas ! Et c'est pareil pour $3\sqrt{7}$ et $\sqrt{63}$. » On voit là d'abord que la notion de développement décimal se présente ici comme une extension de ce qu'affiche la calculette. Mais comment mathématiser cette intuition ? Comment aller loin, voire « aussi loin que l'on veut » dans la connaissance des décimales à l'aide de tels moyens de calcul ? Est-il vrai, en outre, que les développements décimaux de $3\sqrt{7}$ et $\sqrt{63}$ ou de $\frac{851}{703}$ et $\frac{1633}{1349}$ pourraient différer à la 50^e décimale ?

Selon le cas, l'aggiornamento empruntera ses ressources – sinon ses réponses, qu'il échoit à la profession d'élaborer – aux mathématiques, savantes ou enseignées, présentes ou passées. Il y faudra aussi des élaborations mathématiques *inédites*, si simples soient-elles. Revenons ainsi sur la comparaison de fractions : le souci « pédagogique » de l'élève comme « incapable » conduit à une situation où la profession est, *mathématiquement*, dans l'erreur (Chevallard 2006). Un petit raisonnement le montre : la différence entre les deux fractions mentionnées plus haut est, en valeur absolue, ou bien nulle, ou bien supérieure ou égale à $\frac{1}{703 \times 1349} = \frac{1}{948\,347} > 10^{-6}$. Supposons que la calculatrice utilisée donne dans les deux cas l'affichage suivant : 1,21052631579 ; en admettant que le nombre affiché se trouve à moins de 10^{-n} de la « vraie valeur » de la fraction, n étant le rang du dernier chiffre affiché, on ne peut que conclure (puisque, ici, $n = 11$) à l'égalité des fractions : *aucun doute n'est permis*. Il est *faux* de dire que les développements décimaux *pourraient* différer au 50^e rang : dès le 6^e rang, en ce cas, le doute n'est plus permis. Il en va de même avec les expressions contenant un radical ; de l'identité élémentaire

$$|a\sqrt{b} - \sqrt{c}| = \frac{|a^2b - c|}{a\sqrt{b} + \sqrt{c}}$$

on tire que, ou bien la différence entre $a\sqrt{b}$ et \sqrt{c} est nulle, ou bien elle est, en valeur absolue, supérieure ou égale à $\frac{1}{a\sqrt{b} + \sqrt{c}}$. Dans le cas proposé, on a :

$$\frac{1}{a\sqrt{b} + \sqrt{c}} = \frac{1}{3\sqrt{7} + \sqrt{63}} > \frac{1}{3 \times 3 + 8} = \frac{1}{17}$$

Il suffit donc que les *deux* premières décimales affichées soient identiques pour qu'on puisse conclure à l'égalité des nombres $3\sqrt{7}$ et $\sqrt{63}$. Le souci « pédagogique » de l'élève conduit ainsi la profession à une erreur mathématique : le professeur est surpris à protéger l'élève contre la vérité mathématique ! On découvre ainsi que les conditions et contraintes *pédagogiques* incitent la profession à faire fi des contraintes propres à la discipline étudiée, au point que, en nombre de cas, on pourra parler sans façon d'abus de pouvoir de la part du professeur.

2.6. Le souci didactique du rapport des élèves aux mathématiques

D'importantes ressources doivent être mobilisées par la profession autour d'une grande ambition : le souci didactique du rapport, scolairement construit, des élèves aux mathématiques. Ce rapport est promis à se dégrader lorsque, déjà, *l'infrastructure mathématique* de l'enseignement proposé est déficiente. Or elle l'est aujourd'hui presque de part en part : la profession, on l'a suggéré, ne propose rien de solide à propos du *numérique* ; et il en est de même à propos de *l'algébrique* (en dépit d'efforts officiels récents, marqués par l'introduction plus complète dans les programmes de collège de la notion de *programme de calcul*) ou de la *géométrie* (ainsi n'aperçoit-on pas aujourd'hui dans la noosphère de réponse sérieuse à la question de la structure vectorielle du plan ou de l'espace, au collège ou au lycée).

Le rapport potentiel des élèves aux mathématiques ne peut que se dégrader encore lorsque, de plus, ce qui est proposé comme « à enseigner » n'est plus *vu* par la profession *comme mathématique*, et semble ne se justifier, aux yeux des professionnels, que parce que cela serait « pédagogiquement adapté aux élèves », à leur âge, à leur innocence intellectuelle, bref, à leur incapacité. En 6^e, le programme enjoint de « comparer des aires à l'aide de reports, de décompositions, de découpages et

de recompositions, sans perte ni chevauchement ». Or l'équipement mathématique de *la profession* ne lui permet guère, aujourd'hui, de penser mathématiquement ce qui est demandé. Le manque mathématique est celui d'une élaboration qui inclurait non seulement le théorème de Bolyai-Gerwin (établi dans les années 1830) mais aussi bien le théorème de Hadwiger-Glur (1951) ainsi que tout ce qui est susceptible, en la matière, d'éclairer *mathématiquement* les décisions didactiques d'un professeur⁹. Certes, des travaux sur ce thème existent qui, en puissance, offrent des *ressources pour la profession*¹⁰. Mais aucune profession ne vient aujourd'hui les reprendre à son compte pour en tirer les matériaux d'un équipement praxéologique *promis à tous ses membres*. Il est vrai que le ministère lui-même prétend s'adresser *directement à chaque professeur*, en ignorant tout collectif professionnel possible, ainsi qu'en témoigne le préambule de la page du site ÉduSCOL proposant des « Ressources pour faire la classe » au collègue¹¹ :

Les programmes sont [...] la seule référence réglementaire adressée aux professeurs. Les ressources et documents proposés aux enseignants garantissent ce principe, il revient à chaque enseignant de s'approprier les programmes dont il a la charge, d'organiser le travail de ses élèves et de choisir les méthodes qui lui semblent les plus adaptées en fonction des objectifs à atteindre. Les ressources pour faire la classe proposées par la DGESCO ne sont que des appuis à la libre disposition des professeurs.

Les exemples précédents clarifient un point clé : la noosphère de l'enseignement des mathématiques, en France ou ailleurs, ne manque ni de bras ni de cerveaux capables de pourvoir aux besoins praxéologiques *de la profession* ; mais trop souvent le peu qui est fait est bientôt perdu, en tant que *ressources pour la profession*.

Par delà les phénomènes d'affaissement de l'infrastructure mathématique et de *démathématisation* subséquente de l'enseignement illustrés dans ce qui précède, il est d'autres causes de dégradation du rapport des élèves aux mathématiques. La principale nous paraît liée à une dégradation du rapport de *la profession* aux mathématiques à enseigner qui se traduit par des phénomènes massifs et solidaires de *démotivation* et de *monumentalisation* de la matière enseignée (Chevallard 2007a). Lorsque s'introduit dans un programme scolaire une notion inconnue de la profession, chacun est porté à se demander *ce que c'est* et *à quoi ça sert* : on s'interroge sur la *structure* et sur la *fonction* de l'outil mathématique introduit. Dans le cas de la dérivée logarithmique, ainsi, tel ouvrage de mathématiques « pour économistes » précise d'abord (Michel 1989, p. 263) que « la dérivée logarithmique en x_0 d'une fonction f dérivable et non nulle en x_0 est la dérivée en x_0 de $\ln |f(x)|$, c'est-à-dire : $f'(x_0) / f(x_0)$ », avant d'ajouter : « Pour calculer la dérivée de produits, quotients, puissances, il est souvent commode d'utiliser les dérivées logarithmiques. » Un exemple suit : la dérivation de $f(x) = x^a (\ln x)^b e^{yx} / (ax + b)$. Tout cela est limpide et, pour d'aucuns, peut-être un rien désenchanteur. Mais quand on en vient aux notions plus anciennement présentes dans le paysage scolaire, l'atmosphère s'obscurcit en même temps que s'entend parfois un chant quasi mystique de vénération. Pourquoi enseigner la simplification des fractions, ou la factorisation des expressions algébriques, ou la « chasse » aux radicaux apparaissant au dénominateur d'une expression fractionnaire ? Pourquoi enseigner le triangle, son centre de gravité, son orthocentre, et le reste ? Pourquoi les angles ? Et les parallèles ? Pourquoi la moyenne d'une série statistique ? Pourquoi les vecteurs ? « Pour l'honneur de l'esprit humain », répondent sans ciller, mais en trahissant Jacobi (Dieudonné 1987, p. 7), certains qui se satisfont ainsi de l'état de choses régnant. Faute de réponses, en vérité, tout cela n'est bientôt plus qu'une galerie de structures qu'on visite à l'instar de monuments dont on ne peut dire l'usage qu'ils avaient et dont les *raisons d'être* nous échappent.

Aux questions évoquées ici, en quoi une réponse de la profession peut-elle consister ? Distinguons deux niveaux, tous deux nécessaires. Le premier niveau est celui d'une réponse « épistémologique », qui peut prendre une forme discursive. Ainsi une réponse condensée à la question sur les raisons d'être de l'étude du triangle pourrait-elle être la suivante : « L'étude du triangle (dans le plan) a quelque chose d'essentiel à voir avec l'étude analogue du tétraèdre (dans l'espace) et avec la notion générale de repère (affine) : quand on "tient" trois points (non alignés), on "tient" le plan qu'ils déterminent. » Ce n'est là pourtant qu'un premier niveau, indispensable pour que s'élève le second niveau de réponse. La profession doit en effet proposer *une réponse « didactique »*, qui peut se résumer en ce que la théorie des situations didactiques (TSD) nomme une *situation fondamentale* (Brousseau 2003). Une telle entité est en fait intermédiaire entre l'épistémologique et le didactique,

⁹ Le théorème de Bolyai-Gerwin énonce que, lorsque deux plaques polygonales ont même aire, l'une peut être décomposée en un nombre fini de sous-plaques polygonales qui, par un réarrangement au moyen de translations et de rotations, reconstitueront l'autre plaque. Hugo Hadwiger (1907-1981) et Paul Glur (1917-2007) ont montré que cela pouvait se faire en n'employant que des translations et des symétries centrales, ce qui n'est pas intuitif.

¹⁰ Voir la page du site ÉduSCOL intitulée « Aire et périmètre » (2001) et en particulier à l'article d'André Pressiat qui y apparaît (<http://eduscol.education.fr/D0049/aire-perimetre.htm>).

¹¹ <http://eduscol.education.fr/D0015/LLPHAG00.htm>

comme le note aussi Guy Brousseau : « Une telle situation, lorsqu'on peut l'identifier, offre des possibilités d'enseignement mais surtout une représentation du savoir par les problèmes où il intervient permettant de restituer le sens du savoir à enseigner. » On dira aussi, en TAD, qu'il s'agit de répondre en produisant des *activités d'étude et de recherche* (AER) donnant vie, pour l'élève, à certaines au moins des raisons d'être de la praxéologie mathématique à étudier. Or c'est en ce point qu'une question essentielle quant à l'avenir de la profession doit être soulevée.

Les travaux mathématiques et didactiques nécessaires afin de pourvoir aux besoins praxéologiques de la profession ne peuvent guère se faire au chevet de la classe (qui n'en reste pas moins l'alpha et l'oméga de l'affaire). Ils demandent en général le concours de *forces productives considérables*. Ainsi, ce n'est pas un anonyme mais Hermann Weyl (1855-1955) qui, si l'on suit I. M. Yaglom (1986 p. 146), a dès 1917 fait imprimer une réponse utile à la question de la structure vectorielle de l'espace. C'est à Hassler Whitney (1907-1989) qu'on doit une mathématisation (Whitney 1968) devenue indispensable à la profession depuis l'introduction plus franche de la notion de grandeur au collège¹². Le point crucial est alors le suivant : ce qui vaut pour les infrastructures *mathématiques* vaut aussi pour les infrastructures *didactiques*, comme le montrent les travaux de Brousseau (1998, Chap. 3 & 4) sur les décimaux. Nous sommes là à *une croisée des chemins*. Ou bien, selon la tradition semi-professionnelle, la production de ressources « professionnelles » restera limitée à l'activité de professeurs non loin du chevet de leurs classes (ce qui est certes indispensable pour apporter des réponses finement paramétrées) : la dégradation évoquée plus haut ne pourra alors que s'accélérer. Ou bien ce qui n'est pas encore une profession mais entendrait le devenir suscitera la réunion de forces nécessaire pour mener à bien, dans le moyen et le long termes, la *production* de ressources impulsée par des recherches sur l'ensemble des questions auxquelles la profession est confrontée. Face à cette alternative décisive, il serait fâcheux que la mise en avant du « travail documentaire des professeurs », réalité dont on peut (et dont il faut) repenser la signification (Gueudet & Trouche Chap. 3), apparaisse comme un symptôme de résistance à la professionnalisation du métier de professeur.

2.7. Que faire ?

Le passage du professeur petit producteur indépendant aux collectifs de professeurs change les conditions et contraintes de l'exercice du métier. Que de tels collectifs se forment dans un collège, un lycée, un IREM ou autour d'un site Web, il y a là un phénomène que la didactique se doit d'étudier, en particulier parce que la floraison des communautés en ligne lui donne une extension inédite. Le passage de l'individu à la communauté, et notamment à la communauté en ligne, est en lui-même un objet d'étude. Que sait-on ainsi de ce qui fait d'une majorité de « membres » d'une communauté virtuelle ce que le jargon d'Internet nomme des *lurkers* et que sait-on de ce qui en pousse d'autres à « contribuer » parfois compulsivement à l'activité dudit collectif (Nielsen 2006) ? Ce passage, pourtant, ne peut être confondu avec la métamorphose d'une semi-profession en profession : nous l'avons vu, il peut même *retarder* ce changement. Le fait crucial des ressources *manquantes* de la profession interdit en tout cas de poser dans sa plénitude la question du travail documentaire du professeur ; car, sauf à prendre le risque de l'incongruité, ce travail, qu'on peut appeler « superstructurel », suppose deux conditions essentielles. Tout d'abord, nous l'avons vu, il nécessite des *infrastructures adéquates*, qu'elles soient de nature didactique, mathématique, pédagogique ou scolaire. C'est, croyons-nous, autour de cette ambition infrastructurelle que la profession pourra se constituer et que le travail des collectifs de professeurs devra se déployer. Mais sauf à s'enfermer en un petit monde, le travail superstructurel suppose une autre condition : la validation objective des ressources produites. Comme toute activité scientifique ou technique, il doit se développer dans une dialectique ouverte entre *médias* pourvoyeurs de documents et *milieux* (adidactiques, au sens de la TSD) susceptibles d'en réfuter le contenu. Or le pilotage de cette dialectique ne va pas de soi, notamment sur le Web (Ladage 2008, 1^{re} partie). Il en est plus encore ainsi quand prévaut l'emprise d'un communautarisme associant « marginalisation de la question de l'altérité » et « possibilité de s'enfermer dans des espaces virtuels » (Wolton 2009, p. 31). Tel est bien le risque. Tel est aussi l'enjeu : arrimer le travail des collectifs de professeurs au développement de leur profession, sans lequel ce travail ne saurait, croyons-nous, avoir de vraie fécondité.

¹² Voir le document *Grandeurs et mesures* accessible depuis la page « Ressources » du site ÉduSCOL.

Références

- Bourdoncle, R., & Demailly, L. (dir.). (1998). *Les professions de l'éducation et de la formation*. Lille : Presses Universitaires du Septentrion.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Brousseau, G. (2003). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques*. Disponible à http://pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf
- Cavet, A. (2007). *Enseignant : un "métier" ou une "profession" ?* Disponible à http://www.inrp.fr/vst/blog/2007/10/02/enseignant_un_metier_ou_une_profession/print/
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné* (2^e éd.). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1997). Familière et problématique, la figure du professeur. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 17(3), 17-54.
- Chevallard, Y. (2006). La calculatrice, ce bon objet. *Les dossiers de l'ingénierie éducative*, 54, 20-25.
- Chevallard, Y. (2007a). Les mathématiques à l'école : pour une révolution épistémologique et didactique. *Bulletin de l'APMEP*, 471, 439-461.
- Chevallard, Y. (2007b). Passé et présent de la théorie anthropologique du didactique. In L. Ruiz-Higueras, A. Estepa, F. Javier García (Éds), *Sociedad, Escuela y Matemáticas. Aportaciones de la Teoría Antropológica de la Didáctica (TAD)* (pp. 705-746). Jaén : Université de Jaén.
- Chevallard, Y. (2008). Qu'est-ce qu'une formation professionnelle universitaire non indigne ? *Former des maîtres*, 570, 10-12.
- Choquet, G. (1964). *L'enseignement de la géométrie*. Paris : Hermann.
- Cirade, G. (2006). *Devenir professeur de mathématiques : entre problèmes de la profession et formation en IUFM. Les mathématiques comme problème professionnel*. Thèse de doctorat. Université de Provence. Disponible à <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00120709>
- Cogis, O., Robert, C. (2003). *Au-delà des ponts de Königsberg. Théorie des graphes. Problèmes, théorèmes, algorithmes*. Paris : Vuibert.
- Dieudonné, J. (1964). *Algèbre linéaire et géométrie élémentaire*. Paris : Hermann.
- Dieudonné, J. (1987). *Pour l'honneur de l'esprit humain. Les mathématiques aujourd'hui*. Paris : Hachette.
- Etzioni, A. (1969). *The semi-professions and their organization: Teachers, nurses, social workers*. New York : The Free Press.
- Ladage, C. (2008). *Étude de l'écologie et l'économie des praxéologies de la recherche d'information sur Internet. Contribution à la didactique de l'enquête codisciplinaire*. Thèse de doctorat non publiée. Université de Provence.
- Mény, J.-M., Aldon, G., Xavier, L. (2005). *Introduction à la théorie des graphes. Butinage graphique*. Lyon : CRDP.
- Michel, P. (1989). *Cours de mathématiques pour économistes*. Paris : Economica.
- Nielsen, J. (2006, 9 octobre). Participation Inequality: Encouraging More Users to Contribute. *Alertbox*. Disponible à http://www.useit.com/alertbox/participation_inequality.html
- Passeron, J.-C. (1991). *Le raisonnement sociologique. L'espace non poppérien du raisonnement naturel*. Paris : Nathan.
- Perrenoud, P. (2006). *Dix nouvelles compétences pour enseigner. Invitation au voyage*. Paris : ESF.
- Pressiat, A. (2001). Décompositions et recompositions pour les aires et volumes. Disponible à <http://eduscol.education.fr/D0049/pressiat.pdf>
- Semiprofession. (2008, 18 décembre). *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Disponible à <http://en.wikipedia.org/wiki/Semiprofession>
- Siracusa, J. (2008). *Vacances sociologiques. Enseigner la sociologie à l'université*. Saint-Denis : Presses universitaires de Vincennes.
- Teilhard de Chardin, P. (1955). *Le phénomène humain*. Paris : Seuil.
- Whitney, H. (1968). The Mathematics of Physical Quantities, Part II: Quantity Structures and Dimensional Analysis. *The American Mathematical Monthly*, 75, 227-256.
- Wolton, D. (2009). *Informer n'est pas communiquer*. Paris : CNRS Éditions.

Yaglom, I. M. (1986). *Mathematical Structures and Mathematical Modelling*. New York : Gordon and Brown Science Publishers.

Chap. 3 - Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires

Ghislaine Gueudet et Luc Trouche

Ce chapitre 3 et le chapitre 7 constituent deux volets, solidaires, de la présentation d'une approche théorique de phénomènes qui sont l'objet même de cet ouvrage. Nous la nommons *approche documentaire du didactique* (Gueudet & Trouche 2009a, 2009b), terminologie qui s'éclairera dans ce qui suit. Nous exposons en premier lieu (§ 3.1) les concepts constitutifs de cette approche : *le travail documentaire*, la *dialectique ressource/document* et la notion de *genèse documentaire*, les *systèmes documentaires*, dont nous étudions la structuration, en lien avec celle des activités professionnelles du professeur. Nous présentons ensuite (§ 3.2) la méthodologie que nous proposons pour l'étude du travail documentaire, et que nous avons implémentée pour notre recueil de données. Nous analysons de façon approfondie ces données dans un cas (§ 3.3), pour préciser la structure des activités des professeurs (§ 3.4) et pour étudier leur développement professionnel (§ 3.5). Dans tout ce qui suit, nous portons une attention spécifique aux ressources numériques (à la fois comme révélatrices de phénomènes profonds et comme facteurs d'évolutions importantes) et aux dimensions *collectives* de l'activité des professeurs. L'approfondissement des phénomènes et des concepts spécifiques du collectif est l'objet du chapitre 7.

3.1 L'approche documentaire du didactique

3.1.1 Ressources et travail documentaire

Le chapitre 1 (Adler) a notamment souligné l'étendue et la variété des *ressources* auxquelles le professeur a à faire dans son activité professionnelle. Nous adoptons la même acception large du terme ressource : tout ce qui est susceptible de *re-sourcer* le travail des professeurs. Le professeur interagit avec des ensembles de ressources ; celles-ci sont *travaillées* (adaptées, révisées, réorganisées...), au cours de processus articulant étroitement conception et mise en œuvre : c'est l'ensemble de ce travail que nous nommons *travail documentaire*. La *documentation* désigne à la fois ce travail, et ce qu'il produit. Le travail documentaire est central dans l'activité professionnelle des professeurs. Il habite tous les aspects de cette activité, tous ses lieux, tous ses temps.

Nous portons sur l'activité des professeurs un regard d'ensemble, et nous considérons les interactions avec des ressources comme des éléments majeurs de cette activité professionnelle ; ainsi cette définition large de ressources s'impose. Il ne s'agit pas cependant de gommer la spécificité des différents types de ressources : certaines sont matérielles, ce qui permet un suivi plus direct des interactions (notes prises sur un livre, modifications d'un fichier) ; d'autres, non matérielles, sont plus difficiles d'accès, mais peuvent cependant jouer un rôle déterminant, comme les interactions, verbales ou non (Forest & Mercier Chap. 17), en classe avec les élèves. Nous nous attachons à mettre en évidence dans nos analyses les spécificités pertinentes, en particulier celles des ressources matérielles numériques (§ 3.5).

3.1.2 Dialectique ressources/documents et genèses documentaires

Nous présentons ici les concepts élémentaires de l'approche documentaire. Le point de départ de celle-ci est *l'approche instrumentale*, telle qu'elle a été développée par Rabardel (1995) en ergonomie cognitive, puis intégrée en didactique des mathématiques (Guin & Trouche 2002). Rabardel distingue un *artefact*, disponible pour un utilisateur donné, et un *instrument* que cet utilisateur construit, à partir de cet artefact, dans le cours de son action située. Ces processus de développement, les *genèses instrumentales*, reposent, pour un individu donné, sur l'appropriation et la transformation de l'artefact, pour résoudre un problème donné, à travers une variété de contextes d'usage. À travers cette variété de contextes se constituent des *schèmes* d'utilisation de l'artefact : un schème (Vergnaud 1996) est une organisation invariante de l'activité, qui comporte notamment des *règles d'action*, et est structurée par des *invariants opératoires* qui se forment au cours de, et qui pilotent, cette activité, dans différents contextes rencontrés pour la même classe de situations. On peut alors proposer une définition synthétique : *instrument* = *artefact* + *schème*. Cette approche distingue aussi, au cœur des genèses instrumentales, deux types de processus imbriqués, les processus *d'instrumentation* (constitution des schèmes d'utilisation des artefacts) et les processus *d'instrumentalisation* (par lesquels le sujet met à sa main les artefacts). Les genèses instrumentales ne doivent pas être pensées comme des mécanismes de production, avec un début et une fin clairement identifiables. Ce sont des processus

qui s'étendent dans le temps, incluant des moments de stabilité et des ruptures. Dans l'acception du terme que nous retenons ici, genèse peut signifier à la fois naissance et transformation, mais ne désigne jamais une création ex nihilo.

L'importance du travail documentaire des professeurs nous a conduits à développer une approche prolongeant l'approche instrumentale et s'appuyant, en outre, sur d'autres recherches. Celles-ci relèvent en particulier de l'ingénierie documentaire (Pédauque 2006, Bachimont Chap. 4), qui a mis en lumière les bouleversements liés au numérique, et de l'étude du *curriculum material* (Remillard 2005 et Chap. 11), qui considère les interactions entre les professeurs et la documentation scolaire.

Le professeur interagit avec des ressources, dont l'étendue (§ 3.1.1) dépasse celle des artefacts. Nous considérons qu'un ensemble de ressources donne naissance, pour une classe de situations, au cours d'une *genèse documentaire*, à un *document* (figure 1). Ce terme, inspiré de l'ingénierie documentaire (Pédauque 2006, Crozat, in Baron *et al.* 2007), désigne donc ici un concept qui généralise celui d'instrument.

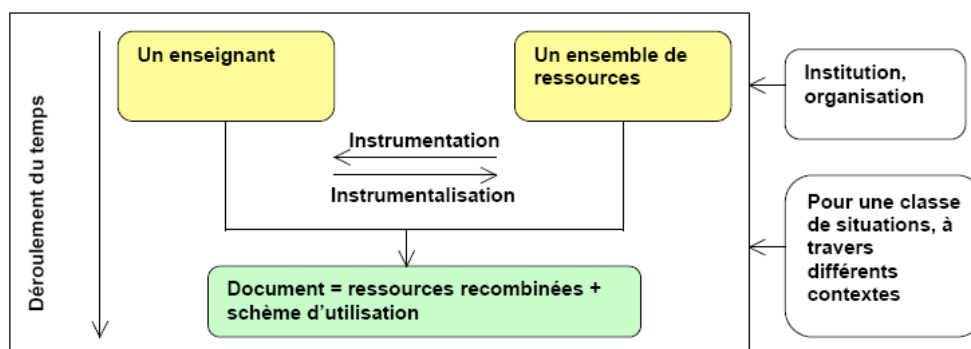


Figure 1. Représentation schématique de la genèse d'un document

Le travail documentaire du professeur est le moteur d'une genèse documentaire, qui développe conjointement une nouvelle ressource (composée d'un ensemble de ressources sélectionnées, modifiées, recombinaées) et un schème d'utilisation de cette ressource. Nous pouvons représenter, de manière très simplifiée, ce processus par l'équation :

$$\text{Document} = \text{Ressources recombinaées} + \text{Schème d'utilisation.}$$

Un schème d'utilisation comporte en particulier des règles d'action, et des invariants opératoires qui sont ici des connaissances professionnelles des enseignants (Cooney 1999). Ces connaissances peuvent concerner les types de tâches à proposer aux élèves, les difficultés à anticiper etc. (Ruthven Chap.10). La notion d'invariant est compatible avec l'aspect dynamique des genèses : face à de nouvelles ressources, à une nouvelle classe de situations, le professeur puise dans son répertoire d'invariants ; ceux-ci sont associés, modifiés, engendrant de nouveaux invariants. Ainsi les interactions avec des ressources sont essentielles pour les évolutions des connaissances des professeurs. Ce constat est à rapprocher de l'étude de ces évolutions proposée par la théorie des situations didactiques (Margolinas 2002), qui montre l'importance des interactions du professeur avec le *milieu*. Ce milieu du professeur peut être considéré comme l'ensemble de ses ressources (Gueudet & Trouche 2009b). De même que la structure du milieu est essentielle en théorie des situations, la structure des ensembles de ressources et de documents joue un rôle central dans la conceptualisation que nous proposons.

3.1.3 Systèmes de ressources, systèmes documentaires et systèmes d'activité

On peut, dans un premier temps, considérer que les documents d'un professeur sont articulés selon la structuration institutionnelle du contenu mathématique à enseigner (Chevallard 2002, et Chap. 2). Cependant l'observation de plusieurs enseignants montre d'emblée des différences significatives, de l'un à l'autre, qui indiquent la nécessité de dépasser ce premier niveau explicatif.

Dans le cadre de l'approche instrumentale, Rabardel et Bourmaud (2005) considèrent des systèmes d'instruments organisés, dont la structure est en relation avec celle de l'activité professionnelle des sujets. Au-delà des *classes de situations* (il ne s'agit plus ici, bien entendu, du terme situation employé en didactique), qui donnent matière au développement d'un même schème, Rabardel et Bourmaud proposent un regroupement des situations d'activité professionnelles en *familles d'activité*, ensembles de classes de situations qui correspondent à un même type de finalité générale de l'action.

Reprenant cette perspective, nous nommons *système d'activité* l'ensemble des familles d'activité d'un sujet. Nous considérons, comme Rabardel et Bourmaud, que les documents d'un professeur s'articulent en *systèmes documentaires*, en lien avec leurs *systèmes d'activités*. Il s'agit d'un choix théorique, effectué *a priori* en cohérence avec l'approche instrumentale et avec l'importance accordée aux connaissances professionnelles des professeurs. Le *système de ressources* du professeur constitue la part « ressources » de son système documentaire (c'est-à-dire sans la partie schèmes des documents). Ruthven (Chap.10) considère également des systèmes de ressources ; les deux définitions ne coïncident toutefois pas, à cause de l'acception plus large de ressources retenue ici. Dans la perspective que nous adoptons, le système documentaire est composé du système de ressources et de connaissances professionnelles associées ; le tout est articulé avec le système d'activité des professeurs (figure 5, § 3.5).

Préciser la structure de ce système d'activité demande de déterminer des familles d'activités. Nous faisons une première proposition en ce sens en § 3.4, en nous appuyant en particulier sur des données recueillies avec une méthodologie que nous présentons ci-dessous.

3.2 L'investigation réflexive du travail documentaire des professeurs

Nous avons développé, pour l'étude du travail documentaire des professeurs, une méthodologie spécifique : *l'investigation réflexive*. Les principes essentiels qui fondent cette méthodologie, en cours d'élaboration, sont les suivants :

- principe de *durée longue* du suivi. Il s'agit d'étudier l'activité et le développement professionnel des professeurs, et donc de saisir des éléments de stabilité, et des évolutions, du travail documentaire dans la durée ;
- principe de suivi *en tout lieu*. Nous nous démarquons en ceci de la méthodologie retenue dans le cadre théorique de la double approche (Vandebrouck 2008, et Chap. 14), qui analyse les pratiques des enseignants à partir de l'activité mathématique des élèves, potentiellement induite par des énoncés, et observée en classe. Il nous semble indispensable pour le chercheur de considérer, autant que faire se peut, *directement* le travail du professeur, hors classe et en classe ;
- principe de *recueil étendu* des ressources matérielles utilisées et produites dans le travail documentaire ;
- principe de *suivi réflexif* du travail documentaire. Il s'agit, d'une part, d'associer étroitement l'enseignant au recueil de données, dans la visée pragmatique de recueil étendu et de suivi en tout lieu ; or l'implication active du professeur entraîne inévitablement une posture réflexive, puisqu'il lui est demandé de décrire sa propre pratique, de « se raconter » (Power 2008). Il s'agit aussi, d'autre part, de mettre en place des dispositifs méthodologiques suscitant la réflexivité. La réflexion du professeur sur sa propre pratique est à même d'éclairer la structure de son activité, et celle de son travail documentaire en particulier. Il s'agit d'une posture générale que nous avons retenue pour notre recherche, considérant, comme Sensevy (2007, p. 41) que « la description et l'analyse de l'action humaine supposent la prise en compte du sens de leur action pour les acteurs », puisque cette action est, au moins en partie, *intentionnelle*.

Nous avons mis en œuvre en 2008-2009 un dispositif de recueil de données bâti en fonction des principes énoncés ci-dessus, et s'étalant sur une durée d'environ 4 semaines. Nous avons retenu trois enseignants de collège, de profils très différents, en termes de degré d'intégration des TICE (Assude 2007 et Chap. 18), d'implication dans des collectifs, et de responsabilité institutionnelle ; ces enseignants n'étaient ni en début ni en fin de carrière. Corinne (35 ans) a un faible degré d'intégration des TICE ; elle n'exerce pas de responsabilités institutionnelles ; elle travaille et échange beaucoup avec deux collègues de son collège. Myriam (50 ans) a un fort degré d'intégration des TICE ; elle intervient régulièrement en formation continue ; elle a participé à plusieurs groupes IREM¹. Pierre (35 ans) a un fort degré d'intégration des TICE ; il est responsable des TICE (PRETICE) dans son établissement et membre de l'association Sésamath, qui regroupe essentiellement des enseignants de mathématiques de collège (Chap. 7). Dans ce chapitre il sera question des ressources élaborées par l'association, qui sont accessibles par son site web², en particulier le manuel scolaire Sésamath (qui existe en version numérique et papier) ; la base d'exercices en ligne Mathenpoche (notée MEP) ;

¹¹ Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, <http://www.univ-irem.fr>

² <http://www.sesamath.net>

le logiciel de géométrie dynamique Tracenpoche (TEP) et le site Mathadoc qui propose des fiches de cours et d'exercices.

Pour chacun de ces enseignants, nous avons mis en œuvre le dispositif suivant :

- une première rencontre entre l'enseignant et le chercheur permet la présentation de l'ensemble du dispositif ;
- l'enseignant répond (par écrit) à un questionnaire de présentation personnelle, portant sur son parcours professionnel, ses conditions de travail, mais également ses rapports aux mathématiques, aux technologies, à l'enseignement et aux collectifs ;
- il remplit, pendant au moins trois semaines, un *journal de bord* (figure 2) décrivant ses types d'activité³, les lieux où elle se déroule, les acteurs qui y sont impliqués, les ressources utilisées et les supports³ produits, en ajoutant ses commentaires si nécessaire. Pour le choix et le découpage des activités pertinentes, nous avons simplement indiqué à l'enseignant, en explicitant notre objectif d'analyse du travail documentaire, qu'il note ce qui lui semble significatif. Pour limiter le temps consacré à remplir le journal de bord, l'enseignant ne complète celui-ci que pour une classe. Le choix de cette classe a été guidé par l'hypothèse que des phases de *réorganisation* du travail documentaire, liées à de nouvelles conditions de travail, pourraient éclairer des phénomènes routiniers. Nous avons ainsi suivi Corinne en 4^e (grade 8), niveau qu'elle rencontre pour la première fois de sa carrière ; Pierre dans une 6^e (grade 6) avec une spécialité informatique qui amène une ouverture vers de nouvelles formes de travail (élèves mieux équipés, volontaires pour des interactions hors classe) ; Myriam en 3^e (grade 10), sur un chapitre (les fonctions) correspondant à un nouveau programme ;

Type d'activité (et thème math., si pertinent)	Lieu précis	Horaire	Autres protagonistes	Ressources utilisées	Supports produits	Archivage (quoi ? où ?)	Commentaires
Contrôle n°3 portant sur les fractions	Salle de classe	9 h 30 - 10 h 25	La classe de 4 ^{ème} E	Sujet photocopié du contrôle	Réponses écrites sur une copie double	Copie d'élèves	Les élèves n'ont pas le droit à la calculatrice, mais ils sont autorisés à prendre un brouillon.
Programmation de la séance du 20 / 11 (contenu, choix des exercices à faire en classe et à la maison)	Bureau (domicile)	14 h 55 - 15 h 05		Trace papier contenant l'organisation des premières séances sur le chapitre n°4 (établie le 03 / 11) Cahier de bord Manuel des élèves	Remplissage du cahier de bord	Cahier de bord	Je choisis de ne pas prendre des exercices dont les démonstrations sont à compléter pour qu'ils réfléchissent aux arguments et à la propriété qui prouvent ce qu'on leur demande.

Figure 2. Extrait (19 novembre 2008) de journal de bord renseigné par Corinne

- les ressources matérielles utilisées et produites pour la classe retenue pendant ces trois semaines sont recueillies aussi complètement que possible ;
- en cours de suivi, une séance effectuée dans la classe retenue est observée, enregistrée (en audio ou en vidéo, afin de disposer du transcript de la séance) et suivie d'un rapide entretien ;
- trois entretiens sont mis en place: un entretien général, en début de suivi, un entretien portant sur la préparation de la séance qui sera observée, et un entretien après cette séance, permettant un retour sur celle-ci. Ces entretiens ont lieu au domicile du professeur. En effet, le principe de suivi en tout lieu du travail documentaire implique, en particulier, de rencontrer l'enseignant dans l'endroit où se déroule l'essentiel de ce travail hors élèves (Margolinas *et al.* 2007), c'est-à-dire, dans le cas d'un enseignant du second degré en France, à son domicile. Les entretiens 1 et 2 prennent la forme de l'« instruction au sosie » introduite dans les années 1970 pour des séminaires de formation ouvrière à Turin (Oddone *et al.* 1981, Clot 1999). Appliquée à notre étude, la question posée est : « Vous partez à l'étranger un an, année sabbatique, ou échange scolaire ; un sosie vous remplace, vous devez lui expliquer comment sont rangées, organisées, structurées, toutes les ressources (fichiers papiers,

³ Dans le journal de bord, par souci de simplicité, nous utilisons le terme « supports » pour désigner les ressources matérielles.

numériques...) que vous avez constituées pour développer les différentes activités liées à votre enseignement ». Nous interrogeons également les enseignants sur l'importance respective des ressources citées, sur les évolutions qu'ils ont pu noter dans les dix années écoulées, et sur celles qu'ils anticipent pour les dix années à venir ;

- l'enseignant réalise, sous une forme choisie librement, une représentation schématique de son système de ressources (nous utilisons dans ce qui suit l'acronyme RSSR), un exemple est donné en figure 3.

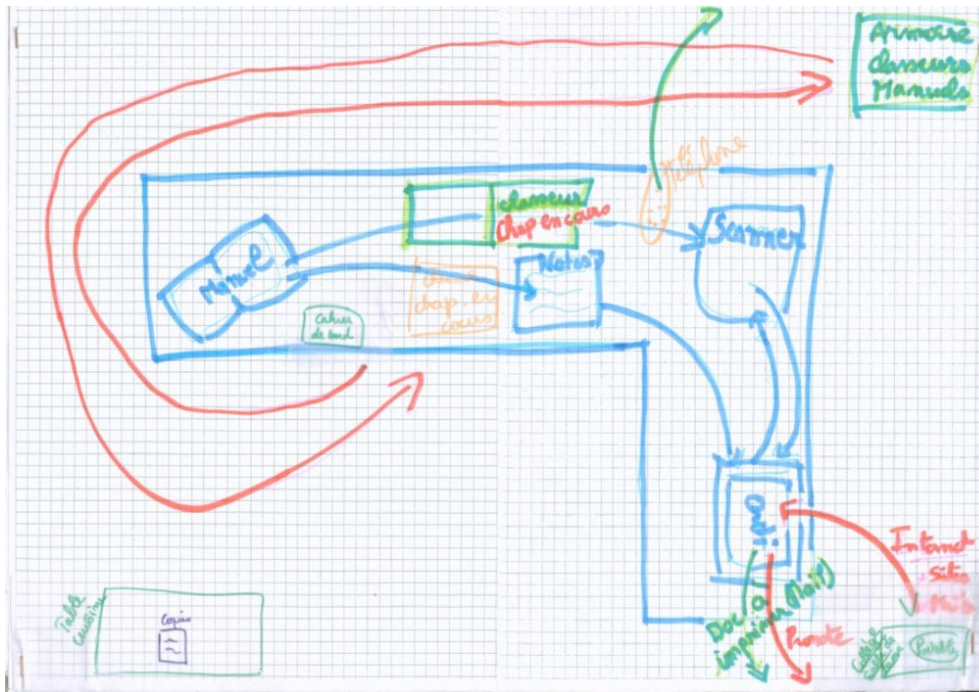


Figure 3. Représentation schématique, par Corinne, de son système de ressources

Dans ce dispositif fondé sur une démarche réflexive, recueil et exploitation des données sont entremêlés. Ainsi le questionnaire rempli et la RSSR sont utilisés comme support pour le dernier entretien. Ensuite, hors de la présence de l'enseignant, nous effectuons un traitement quantitatif du journal de bord : durée du travail hors classe, en classe ; nombre d'occurrences d'une activité donnée, durée, nombre de recours à une ressource donnée, durée, nature et nombre des moments de travail collectif, liste des acteurs impliqués etc. Pour les interviews, nous notons de même les occurrences des activités, ressources et acteurs mentionnés. Nous nous attachons, de plus, à relever les évolutions relatives et les facteurs de ces évolutions. Le questionnaire nous fournit des renseignements concrets sur le déroulement de la carrière, et l'environnement actuel de travail du professeur ; nous y relevons également des éléments de son histoire professionnelle et personnelle, notamment en termes d'environnement familial et d'implications collectives. En complétant, à l'aide de la RSSR, ces premiers traitements, nous dégagons des éléments de structure de l'activité des professeurs et de leurs ressources, en identifiant systématiquement les dimensions collectives (Chap. 7). Enfin, dans un objectif d'analyse précise du travail documentaire sur un thème circonscrit, nous relevons, dans le journal de bord et les interviews tous les éléments relatifs à la séance observée en classe. Nous analysons le transcript de la séance de classe en portant une attention particulière aux interactions entre le professeur et les élèves, et aux adaptations résultant de ces interactions, durant la séance ou à la suite de celle-ci.

3.3 Etude du cas de Corinne

Nous nous centrons ici sur le cas d'une enseignante, Corinne, suivie avec la méthodologie que nous venons de présenter. L'analyse de ce cas permet à la fois d'illustrer notre approche (§ 3.1) et de mettre ses concepts à l'épreuve.

3.3.1 Extraits du travail documentaire de Corinne

Nous décrivons sommairement ci-dessous le travail documentaire de Corinne autour de la séance que nous avons observée : préparation, mise en œuvre, suites. Cette présentation est issue des interviews réalisées, du journal de bord de Corinne, et de notre propre observation en classe.

Corinne, introduction du théorème de la droite des milieux en classe de 4^e.

Préparation de l'introduction du théorème de la droite des milieux

Corinne prépare, pour sa classe de 4^e, à son domicile pendant la semaine de vacances d'automne, le chapitre « triangles et droites parallèles ». Elle consulte plusieurs manuels, regarde les sites Internet de MEP et de Mathadoc. Elle interroge sa collègue Valérie ; en effet, c'est la première année que Corinne a des 4^e, et Valérie en a déjà eu. Corinne décide de débiter par un problème visant amenant à mettre en place une démonstration du théorème de la droite des milieux. Ce problème sera suivi par une synthèse de cours.

Pour l'élaboration du problème lui-même, elle écarte MEP, qu'elle trouve trop guidé ; elle fait sur une feuille l'énoncé proposé par le manuel de la classe (Triangle, Chapiron *et al.* 2007), elle ne le trouve pas assez guidé. Corinne a retenu de son enseignement en 3^e que les élèves avaient beaucoup de difficultés avec la démonstration. Elle élabore elle-même un énoncé, à partir de celui du manuel, qu'elle transforme. L'énoncé qu'elle construit comporte 4 étapes : formulation de la conjecture (étape 1) ; démonstration (étape 2), formulation des deux propriétés (étape 3), exercices (étape 4). Corinne a prévu que les étapes 1 à 3 seraient faites pendant la première séance du chapitre. Elle a aussi prévu d'embler de conseiller aux élèves, lors de l'étape 1, de coder leurs figures, afin de les aider à identifier les propriétés en jeu à l'étape 2. Elle a ajouté, à l'énoncé du manuel, des questions intermédiaires ; elle a fabriqué des démonstrations « à trous » à partir de sa propre résolution, en enlevant des mots ; elle a retenu (étape 4) des exercices issus du manuel Sésamath (version numérique), pour les élèves qui seraient plus rapides. Elle envoie cette proposition par courrier électronique à Valérie ; Valérie lui répond en ajoutant encore d'autres questions intermédiaires. Corinne avait par ailleurs décidé de faire, après l'étape 1, une mise en commun avec une animation TEP à projeter au tableau. Elle prépare l'animation TEP, ce qui lui prend du temps car elle n'est pas familière du logiciel. Elle a aussi décidé que le travail des élèves sera organisé en groupes ; un élève sera chargé d'écrire pour chaque groupe sur une feuille qui sera rendue au professeur, corrigée et notée.

Mise en œuvre en classe

La séance a lieu le 12 novembre 2009, de 9h30 à 10h25, dans la salle habituelle de Corinne qui est équipée d'un vidéo-projecteur. En début de séance, les groupes sont constitués, l'énoncé est distribué, la consigne est présentée ; le conseil sur le codage des figures est donné après 4 min de travail. Pour la mise en commun, Corinne projette à partir de son ordinateur portable, comme prévu, l'animation TEP (après 20 min de travail des élèves) et la commente. Elle fait observer, en interrogeant des élèves, que les deux droites sont parallèles, et qu'une des distances dont la mesure est affichée semble être la moitié de l'autre. On passe alors à l'étape 2, phase de démonstration, sur laquelle les élèves travailleront jusqu'à la fin de la séance. En effet, ils rencontrent des difficultés avec la démonstration à trous. Corinne intervient même auprès de certains groupes pour modifier la consigne correspondante : « *Si vous voulez ne pas copier ce texte-là, vous pouvez l'écrire à votre façon, il n'y a pas de souci !* ».

Suites de la séance du 12 novembre

Ce qui a été fait dans la séance est donc réduit, par rapport à ce qui était prévu au départ. Comme le dit Corinne en fin de séance « *il y a pas mal d'élèves qui ont été bloqués [...] c'est trop guidé en fait. Parce que je leur dis de recopier et compléter le raisonnement. Et, dans la démonstration, dans la partie donnée, je suis allée trop loin dans ce que j'ai donné. Du coup, ils veulent absolument compléter le texte, donc ils réfléchissent moins à ce qu'ils auraient écrit eux, c'est trop guidé* ». En rentrant chez elle Corinne barre sa démonstration à trous sur le fichier correspondant ; elle envoie un mail à Valérie, qui n'a pas encore commencé ce chapitre, pour la prévenir du problème.

Le problème est terminé à la séance suivante. Lors du choix d'exercices d'application, Corinne écarte les démonstrations à trous (figure 2).

Figure 4. Corinne, introduction du théorème de la droite des milieux

Cette description de l'activité professionnelle de Corinne met en évidence la richesse et la complexité du travail documentaire. Nous n'en retenons que certains éléments pour l'analyse, en termes de

genèses documentaires (§ 3.3.2), de structure du système documentaire (§ 3.4) et d'évolutions professionnelles.

3.3.2 Corinne, genèses documentaires

Nous considérons que la classe de situations concernée dans l'extrait décrit en figure 4 est relative à « concevoir et mettre en œuvre l'introduction du théorème de la droite des milieux en classe de 4^e ».

Corinne utilise différentes ressources matérielles : le manuel de la classe ; d'autres manuels, dont le manuel Sésamath qu'elle consulte en ligne ; Mathadoc ; MEP, et TEP ; son ordinateur fixe etc. Elle échange avec sa collègue Valérie, pour bénéficier de l'expérience de celle-ci. Corinne produit, lors de son travail de préparation, des notes manuscrites ; un fichier avec l'énoncé proposé, dont une première version est envoyée par mail à Valérie, qui renvoie une version modifiée, qui sera la version proposée aux élèves ; une version papier du texte définitif, qui sera photocopiée au collège ; un fichier texte correspondant à la figure animée TEP ; des notes dans son cahier de bord.

Ces choix sont fondés sur des connaissances professionnelles, en particulier une connaissance développée au fil du travail de Corinne avec des classes de 3^e, et relative à la nécessité de guider les élèves (au moins certains d'entre eux) quand ceux-ci ont à faire une démonstration en géométrie. Cette connaissance joue un rôle important dans la conception du texte qui sera proposé aux élèves. Il s'agit d'un processus d'*instrumentalisation* : Corinne s'approprie des ressources, les adapte selon ses connaissances professionnelles et son projet didactique.

Elle prévoit simultanément le contenu mathématique qui sera travaillé et les organisations didactiques (Chevallard 2002) qui y seront associées. Cet aspect de son travail documentaire relève de l'*orchestration instrumentale*, c'est-à-dire de l'agencement systématique d'un ensemble d'artefacts pour la mise en œuvre d'une situation mathématique donnée (Trouche 2004). Cependant, lorsque Corinne passe à la mise en œuvre de cette situation mathématique (un aspect fondamental de l'orchestration, que Drijvers *et al.* 2009 nomment *didactical performance*), elle doit adapter ce qu'elle avait prévu, en raison de difficultés rencontrées par la plupart des élèves avec la démonstration à trous. Elle modifie la consigne pour ces élèves, en leur disant d'écrire librement une démonstration.

Dans l'épisode décrit ci-dessus, nous identifions des genèses, et inférons l'amorce d'un schème. Corinne retient la difficulté posée par la démonstration à trous ; elle barre le passage correspondant sur son fichier, prévient Valérie, et écarte de telles démonstrations pour la suite du chapitre. Il s'agit ici d'un processus d'*instrumentation*, dans lequel une ressource centrale est l'observation des difficultés rencontrées par les élèves. Il s'agit également d'un mouvement de *conception dans l'usage* (Rabardel 2005) : le professeur participe à la conception de ses propres ressources, au fil de leur mise en œuvre dans différents contextes.

Nous relevons également des choix qui témoignent de connaissances professionnelles, développées par Corinne dans la durée, au cours de son travail documentaire. Nous avons mentionné l'attention qu'elle porte aux difficultés des élèves avec les démonstrations en géométrie, et l'objectif de « guider les élèves » qui en résulte. L'un des moyens qu'elle met en œuvre est relatif au codage des figures : elle conseille aux élèves d'effectuer un tel codage, et l'animation TEP projetée est une figure codée. Pour un précédent chapitre d'initiation à la démonstration, le cours écrit dans le cahier des élèves s'ouvre par une mise en garde : « on ne peut pas affirmer un résultat qu'on a l'impression d'observer sur une figure s'il n'y a pas un codage qui symbolise ce résultat ». Toutes les figures exploitées dans ce chapitre sont ainsi codées. Nous en inférons que Corinne a développé au cours de son travail un schème, pour la classe de situations « concevoir et mettre en œuvre des moments de découverte de théorèmes de géométrie », schème qui comporte en particulier un invariant opératoire du type « faire une figure codée permet d'identifier les propriétés à mettre en œuvre dans une démonstration ». Cet invariant opératoire s'insère naturellement dans le document développé pour la classe de situations : « concevoir et mettre en œuvre l'introduction du théorème de la droite des milieux en classe de 4^e ».

Ainsi les schèmes, et donc les documents, sont articulés par des invariants opératoires qui peuvent relever de classes de situations différentes. C'est un élément essentiel de la structure des systèmes documentaires, que nous allons préciser dans ce qui suit.

3.4 Structure des systèmes : activités et documents

Quelles familles d'activité retenir, pour les enseignants ? De nombreux travaux sur les pratiques des enseignants pointent la nécessité de démêler leur complexité, mais indiquent également le danger d'une dispersion en unités cloisonnées. Dans cette phase d'élaboration de notre cadre conceptuel, nous avons choisi de faire une première proposition de familles d'activités, en cohérence avec nos travaux antérieurs (Gueudet & Trouche 2009a), et en nous appuyant sur les données recueillies (§ 3.2). Les activités professionnelles d'un individu peuvent être regroupées selon de nombreux critères : lieux, temps, acteurs impliqués... Nous avons retenu le critère essentiel de *finalité de l'action* proposé par Rabardel et Bourmaud (ibidem), bien adapté à notre intention de saisir l'activité du professeur dans sa globalité, et nous nous sommes appuyés sur les *moments de l'étude* (Chevallard 2002). Ceci nous a amenés à retenir 9 familles d'activité, susceptibles de concerner tous les enseignants de mathématiques. Nous les présentons ci-dessous (entre crochets, le nom abrégé que nous utilisons par la suite), en les illustrant par une liste non exhaustive d'exemples :

- *développer une réflexion sur sa pratique* [Réflexion] : lire une revue professionnelle, suivre un stage de formation continue, discuter avec un collègue sur la manière d'aborder un contenu donné ;
- *concevoir et mettre en oeuvre la planification et la gestion des temps de l'enseignement* [C/O Planification] : établir une progression annuelle seul ou avec des collègues, revoir, ajuster cette progression, prévoir le déroulement temporel d'une séance ;
- *concevoir et mettre en oeuvre des moments de découverte et d'introduction* [C/O Découverte] : chercher des idées de situations de recherche, élaborer un énoncé pour la classe, le mettre en oeuvre ;
- *concevoir et mettre en oeuvre des moments de synthèse et d'apports mathématiques* [C/O Synthèse] : choisir des extraits de productions d'élèves pour faire une synthèse, élaborer une fiche de cours, réviser une fiche à la fin d'une séance ;
- *concevoir et mettre en oeuvre des moments de travail de la technique* [C/O Technique] : choisir des exercices à faire en classe ou à la maison, corriger des exercices au tableau ;
- *concevoir et mettre en oeuvre des moments d'évaluation* [C/O Evaluation] : élaborer un sujet de devoir surveillé, corriger des copies, les noter, faire un corrigé en classe ;
- *gérer la classe et suivre les élèves* [Suivi] : saisir des notes, calculer des moyennes, remplir les bulletins, participer aux conseils de classe, aux réunions parents-professeurs ;
- *participer à la vie du ou des établissements* [Vie établissement] : accompagner un voyage scolaire, participer à un conseil d'administration, exercer la responsabilité de formations à l'IUFM ;
- *participer à la vie de collectifs professionnels hors institutions* [Vie collectif] : participer à l'assemblée générale d'une association, assurer une représentation syndicale.

Notons que ces familles ne sont pas disjointes : *Planifier une séance d'introduction* appartient à la famille [C/O Planification] comme à la famille [C/O Découverte] ; *noter des copies* fait partie des familles [C/O Evaluation] et [Suivi], etc. Il apparaît ainsi une structure articulée du système d'activité du professeur, que constitue l'ensemble de ces familles. Ces articulations et ce système sont propres à chaque professeur. Les documents d'un professeur, développés dans le cours d'une activité finalisée, forment un système dont la structure est liée à celle évoquée ci-dessus (de plus cette structure du système documentaire engendre naturellement celle du système de ressources qui en émerge).

Ces familles étant en particulier issues de nos données, il ne s'agit pas de les mettre en l'épreuve en analysant ces mêmes données. Nous allons ici simplement présenter, en retournant au cas de Corinne, un exemple illustrant la répartition et l'articulation de ces familles, mais également celles associées des documents et des ressources, dans le cas d'un professeur particulier.

Corinne a rempli son journal de bord entre le 3 et le 28 novembre 2008. Rappelons qu'elle n'y notait que ce qui était relatif à une classe de 4^e (§ 3.2). Les descriptions qu'elle y a faites couvrent 17 jours, dont 13 comportent un travail en classe. Le journal de bord mentionne ainsi 13 séances de classe de 55 minutes, et environ 17 heures de travail hors classe. L'analyse du journal de bord permet d'identifier 6 des 9 familles d'activité : [C/O Planification], [C/O Découverte], [C/O Synthèse], [C/O Technique], [C/O Evaluation] et [Suivi].

Parmi les ressources de Corinne, les productions des élèves sont centrales, apparaissant dans chacune des six familles. De même, les discussions avec les collègues occupent une place importante ; cependant elles sont absentes de [C/O Technique]. Dans le cas de cet enseignement nouveau, pour la planification, comme pour le choix de contenus mathématiques, Corinne a recours à un ensemble de ressources constitué par les manuels, Mathadoc et MEP. Nous considérons, en nous

inspirant d'un vocabulaire introduit par Rabardel et Bourmaud (2005), qu'il s'agit d'un ensemble de ressources *pivot*, car engagé dans plusieurs familles d'activité, et participant de leur articulation. On observe sur la RSSR de Corinne (figure 3) que les manuels apparaissent, comme l'ordinateur, qu'ils occupent une place importante, et que de nombreuses flèches en partent et y arrivent. Corinne développe à partir de sous-ensembles de cet ensemble pivot plusieurs documents, en lien avec différentes familles d'activités.

Dans son questionnaire de présentation personnelle, comme dans les entretiens, Corinne souligne son souci de « guider les élèves ». On peut décliner celui-ci dans différentes familles d'activité et mettre en regard la partie ressources des documents développés (tableau 1).

Activité finalisée	<i>Partie ressource des documents</i>
Guider les élèves pour un moment de découverte	Fiche élève avec des espaces à remplir Consignes et conseils (prévus et donnés)
Guider les élèves dans un moment de synthèse	Animation projetée au tableau et commentaires Fiche de cours, ou cours au tableau à recopier dans le cahier
Guider les élèves dans le travail de la technique	Choix d'exercices dans le manuel Séance MEP Correction d'exercices au tableau par le professeur
Guider les élèves pour une évaluation	Choix d'exercices à faire à la maison pour préparer le contrôle Fiche de compétences

Tableau 1. Co-construction des activités et des documents, cas de Corinne

La conviction de Corinne quant à la nécessité de « guider les élèves » se traduit dans différentes activités et documents. Dans le même temps, les genèses associées agissent sur cette conviction : Corinne retient de la séance que nous avons observée qu'il faut éviter de trop guider les élèves. Sensevy et Mercier (2007) identifient la gestion de *l'incertitude* dans la classe comme l'une des dimensions essentielles de l'action conjointe du professeur et de ses élèves. Cette dimension joue un rôle important dans les connaissances professionnelles de Corinne, et constitue donc un élément structurant de son activité et de ses documents.

Cette structure est dynamique, elle évolue selon les connaissances professionnelles ; dans un mouvement inverse, les évolutions des activités et des documents modifient ces connaissances.

3.5 Genèses professionnelles des professeurs

Nous avons jusqu'ici utilisé l'expression *développement professionnel* des professeurs pour désigner l'ensemble des évolutions conjointes de leurs connaissances et de leur activité. Les genèses documentaires sont au centre de ces évolutions ; elles modifient les systèmes de ressources, mais également les connaissances et l'activité professionnelle. Ceci renvoie à la dialectique du *productif et du constructif* (Rabardel 2005) : une activité est finalisée, elle a un objectif de production (réalisation d'une tâche donnée). Dans cette activité, le sujet se construit aussi lui-même et modifie donc les conditions de productions ultérieures. Le professeur interagit avec des ressources : il *travaille* des ressources, intentionnellement ou non ; inversement, on peut considérer que les ressources *agissent sur le* professeur. Ainsi les genèses documentaires s'entrelacent avec des genèses *conceptuelles* (développement d'invariants opératoires), *identitaires* (construction de l'expérience) au cours de processus alliant continuité et ruptures (Pastré 2005). Il nous semble donc pertinent de préférer par la suite l'expression de *genèses professionnelles*, pour désigner ces évolutions (cette notion fait partie de notre travail en cours).

L'approche documentaire amène un regard particulier sur ces genèses professionnelles. Les systèmes documentaires articulent la trame des connaissances professionnelles et le système de ressources d'un professeur. Leur structure est associée à celle du système d'activité des professeurs (figure 5). Ainsi l'analyse des évolutions du système de ressources permet d'éclairer les genèses professionnelles.

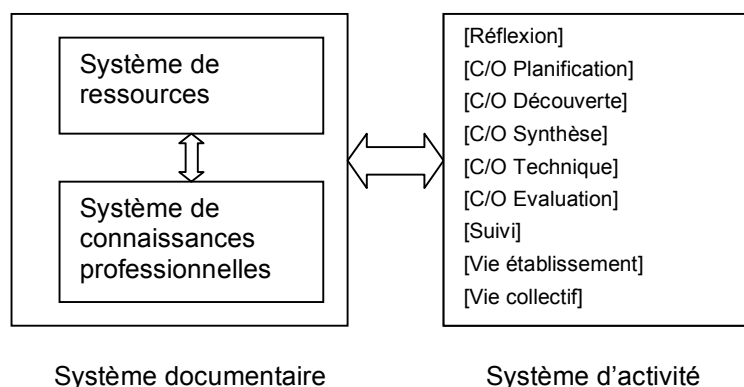


Figure 5. Les différents systèmes considérés et leurs articulations

Examinons un exemple, dans le cas de Corinne. Au cours de la séance observée, elle utilise, pour la première fois, TEP devant ses élèves. Corinne a recours à de nombreuses ressources issues du site Sésamath, mais n'avait jusqu'à présent pas intégré TEP dans son enseignement. Elle n'a pas un fort degré d'intégration des TICE, mais est sensible à l'intérêt de la géométrie dynamique. Elle utilisait jusqu'alors plutôt Géoplan ; ce sont ses collègues qui ont commencé à s'intéresser à TEP, ce qui l'a décidée à faire de même : « En fait cette année, les collègues utilisent pas mal Tracenpoche, donc moi aussi je vais m'y mettre ». Au moment du suivi, elle n'a employé TEP que pour réaliser des figures animées qu'elle a projetées. TEP ne fait pas jusqu'à présent partie des ressources *pivot* de Corinne, il reste seulement attaché à la famille d'activité [C/O Découverte].

Il s'agit, dans cet exemple, de l'intégration, par un professeur, d'une ressource nouvelle (Assude Chap. 18 ; Ruthven Chap. 10). L'approche documentaire du didactique, et la méthodologie associée, mettent au jour des facteurs d'intégration, ou de non-intégration, d'une ressource. TEP est facilement accessible à Corinne, mais l'incitation de ses collègues est nécessaire pour qu'elle prenne la décision de l'utiliser en classe. Cette utilisation prend la forme d'une figure animée pilotée par le professeur, conforme à la nécessité de guidage des élèves, élément central des connaissances professionnelles de Corinne.

Considérer les systèmes documentaires des professeurs amène, en particulier, à identifier des éléments structurants dans leurs connaissances professionnelles. Ces éléments incluent ce que Ruthven (Chap. 10) nomme le *script curriculaire* (modèle de buts et d'actions qui guide l'enseignement d'un thème particulier). Cependant l'approche documentaire, proposant un regard global sur l'activité des professeurs, amène à considérer un ensemble plus large de connaissances professionnelles. Celles-ci produisent des effets différenciés, que nous ne pouvons détailler ici ; nous allons simplement en donner un exemple, dans le cas de Corinne et Myriam.

Corinne et Myriam sont toutes deux utilisatrices du site Sésamath, qui donne accès aux fiches de cours et d'exercice Mathadoc. Mathadoc est une des ressources pivot de Corinne, alors que Myriam ne l'a jamais utilisé. Les exercices proposés dans Mathadoc correspondent à la nécessité de guidage des élèves, centrale pour Corinne ; ils ne conviennent pas à Myriam, qui préfère laisser une part d'incertitude plus importante que celle permise par ces exercices.

Au-delà des questions d'intégration de ressources nouvelles, la perspective documentaire permet d'éclairer les évolutions résultant de la généralisation du numérique (Bachimont Chap. 4 ; Bruillard Chap. 12), en particulier :

- les équilibres entre ce qui est limité au cercle formé par l'enseignant et ses élèves, et ce qui est accessible à un plus large public se modifient. En particulier, Corinne, Myriam et Pierre utilisent le logiciel Pronote, qui confère une dimension publique à la famille d'activité [C/O Evaluation], en rendant les notes immédiatement accessibles aux autres enseignants de la classe et à l'administration ;
- l'organisation de l'espace de la classe inclut de nouvelles formes d'affichage : vidéo-projecteur, tableau blanc interactif. On peut s'interroger sur les nouvelles formes d'ostension associées à ces affichages (Mercier *et al.* 2001) ;
- le recours à des fichiers numériques permet une modification rapide de ceux-ci en cas de dysfonctionnement, ainsi l'impact des interactions avec les élèves semble de plus en plus important pour les ressources du professeur ;

- le courrier électronique permet des échanges rapides et souples de fichiers entre les enseignants ; plus généralement, les échanges permis par le numérique amènent de nouvelles formes de travail collectif (Chap. 7).

Tous les exemples ci-dessus peuvent être vus comme relevant d'une étude de genèses professionnelles, fondée sur l'analyse des systèmes documentaires et de leur dynamique.

3.6 Conclusion

L'enjeu d'une approche documentaire du didactique ne se limite pas à l'analyse des conséquences, pour les genèses professionnelles des professeurs, de leurs interactions avec des ressources. Il s'agit d'un changement de point de vue, qui invite à voir le travail documentaire au centre de l'activité des professeurs et les genèses documentaires comme moteur des genèses professionnelles.

Ce point de vue a déjà été exposé dans des travaux antérieurs (Gueudet & Trouche 2009a) ; ici nous avons présenté et questionné, de plus, les notions de système de ressources, de système et de documents, système d'activité, et examiné les articulations et les évolutions conjointes de ces systèmes. Nous avons introduit une nouvelle méthodologie, élément central de cette approche en cours de construction.

Des études complémentaires sont à mener : certaines, portant sur les aspects collectifs, sont exposées dans le chapitre 7 ; d'autres font partie de nos recherches en cours, qui se développent dans plusieurs directions. Nous prolongeons dans la durée le suivi des enseignants cités ici, pour préciser les genèses, l'évolution du système documentaire et du système d'activité. Nous envisageons d'étendre le suivi à des échantillons plus larges d'enseignants, en particulier pour mettre à l'épreuve les familles d'activités que nous avons proposées ici. Nous nous penchons sur d'autres disciplines, pour évaluer la validité de l'approche hors du champ des mathématiques et identifier les éventuelles spécificités disciplinaires. Il serait également nécessaire de mettre en place des recherches dans d'autres pays. En effet, si l'interaction des professeurs avec des ressources est une constante internationale, les modes de travail ont une grande variabilité, en fonction de facteurs institutionnels, culturels et économiques. Un dernier aspect, crucial, des prolongements nécessaires, concerne les questions d'efficacité du travail documentaire. Le recours à certaines ressources, le travail collectif, certains invariants opératoires des professeurs favorisent-ils les apprentissages des élèves ? L'étude de ces questions, directement liées à la problématique de la qualité des ressources et de leurs usages, reste à entreprendre.

Les travaux exposés ici nous semblent toutefois représenter une avancée significative. Elargir l'étude aux systèmes est déterminant pour confirmer la pertinence d'une perspective qui situe les documents au centre des phénomènes didactiques, et les genèses documentaires au cœur des genèses professionnelles.

Références

- Baron, M., Guin, D. Trouche, L. (dir.). (2007). Environnements informatisés et ressources numériques pour l'apprentissage : conception et usages, regards croisés. Paris: Hermès.
- Chapiron, G., Mante, M., Mulet-Marquis, R., Pérotin, C. (2007). Mathématiques 4^e, collection Triangle. Paris : Hatier.
- Chevallard, Y. (2002). Ecologie et régulation. In J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot, R. Floris (dir.) Actes de la XI^{ème} Ecole d'été de didactique des mathématiques, Corps (pp.41-56). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Clot, Y. (1999). La fonction psychologique du travail. Paris : PUF.
- Cooney, T. J. (1999). Conceptualizing teachers way of knowing, Educational studies in mathematics 38, 163-187.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Van Gisbergen, S. (2009). Instrumental orchestration: Theory and practice, CERME 6 Conference, Lyon, France.
- Gueudet, G., Trouche, L. (2009a). Towards new documentation systems for mathematics teachers? Educational Studies in Mathematics 71(3), 199-218.
- Gueudet G., Trouche L. (2009b). La documentation des professeurs de mathématiques. In L. Coulange et C. Hache, Actes du Séminaire national de didactique des mathématiques 2008 (pp. 249-269), IREM, Université Paris 7.

- Guin, D., Trouche, L. (dir.) (2002). Calculatrices symboliques : transformer un outil en un instrument du travail mathématique, un problème didactique. Grenoble : La pensée sauvage.
- Margolinas, C. (2002). Situations, milieux, connaissances. L'activité du professeur. In J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot, & R. Floris (dir.), Actes de la XI^e Ecole d'été de didactique des mathématiques (pp.141-155). Grenoble : La pensée sauvage.
- Margolinas, C., Canivenc B., de Redon, M.-C., Rivière, O., Wozniak, F. (2007). Que nous apprend le travail mathématiques hors classe des professeurs pour la formation des maîtres ? 31^{ème} colloque Inter-IREM des formateurs et professeurs chargés de la formation des maîtres, IREM de Toulouse, pp. 1-19.
- Mercier, A., Rouchier, A., Lemoyne, G. (2001). Des outils et techniques d'enseignement aux théories didactiques. In A. Mercier, A. Rouchier, G. Lemoyne, Le génie didactique, Usages et mésusages des théories de l'enseignement (pp. 233-250). Bruxelles : De Boeck Université.
- Pastré, P. (2005). Genèse et identité. In P. Rabardel, P. Pastré (dir.), Modèles du sujet pour la conception. Dialectique activités développement (pp. 231-259). Toulouse : Octarès.
- Pédauque, R. T. (coll.) (2006). Le document à la lumière du numérique. Caen : C & F éditions.
- Power, M. (2008). Le concepteur pédagogique réflexif : un journal de bord. Athabasca, AB: Athabasca University Press.
- Oddone, I., Rey, A., Brante, G. (1981). Redécouvrir l'expérience ouvrière. Vers une autre psychologie du travail. Paris : Editions Sociales.
- Rabardel, P. (1995). Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains. Paris : Armand Colin.
- Rabardel, P. (2005). Instrument subjectif et développement du pouvoir d'agir. In P. Rabardel & P. Pastré (dir.), Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement (pp. 11-29). Toulouse : Octarès.
- Rabardel, P., Bourmaud, G. (2005). Instruments et systèmes d'instruments. In P. Rabardel, P. Pastré (dir.), Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement (pp. 211-229). Toulouse : Octarès.
- Remillard, J.T. (2005). Examining key concepts in research on teachers' use of mathematics curricula. *Review of Educational Research*, 75(2), 211-246.
- Salin, M.-H. (1999). Pratiques ostensives des enseignants. In G.Lemoyne et F.Conne (dir.) Le cognitif en didactique des mathématiques (pp.327-352). Les presses de l'Université de Montréal.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique conjointe. In G. Sensevy, A. Mercier, Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves (pp.13-49) Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Sensevy, G., Mercier, A. (2007). Agir ensemble : l'action didactique conjointe. In G. Sensevy, A. Mercier, Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves (pp.187-211) Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Trouche, L. (2004). Managing the complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9, 281-307.
- Vandebrouck F. (dir.) (2008). La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants. Toulouse : Octarès éditions.
- Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation. In R. Noïrfalise, M.-J. Perrin (dir.), Ecole d'été de didactique des mathématiques (pp. 174-185). Clermont-Ferrand : IREM, Université Clermont-Ferrand 2.

Chap 4. - Le numérique comme support de la connaissance : entre matérialisation et interprétation

Bruno Bachimont

Le numérique se traduit par sa capacité à prendre en charge les différentes possibilités qui ont été développées dans la tradition pour inscrire et matérialiser les contenus et les connaissances. Rompant avec les séparations classiques érigées entre le texte, l'image, le son, la vidéo, etc., le numérique permet de convoquer dans un même espace de lecture des contenus hétérogènes qui avaient suscité jusque-là, de ce fait, des modalités indépendantes et autonomes de consultation et d'interprétation. Ce faisant, il induit un nouveau rapport à la signification et suggère d'autres parcours interprétatifs. Dans cette perspective, il paraît important de pouvoir considérer ce qu'apporte le numérique dès lors que ses possibilités seront de fait mises en œuvre dans la création de ressources pédagogiques. Mais comprendre ce qu'apporte le numérique peut avoir une importance particulière dans le domaine mathématique du fait de la complicité qu'entretient le numérique avec la chose mathématique. Création technique mais conceptualisation d'origine philosophique et mathématique, le numérique marque une étape singulière dans l'histoire des inscriptions et des écritures mathématiques. Il convient donc de comprendre ce que le numérique permet de penser et de dégager la solidarité mais aussi la différence qu'il peut avoir avec les écritures formalisées, si on caractérise ainsi les inscriptions mathématiques.

Mais, de manière plus profonde, cette mutation entraînée par le numérique permet de mettre en évidence le rôle et l'importance des supports de connaissance en général, dans la mesure où ils sont à la fois la conséquence, mais aussi la cause de la connaissance dont ils sont l'inscription. En effet, la connaissance que nous possédons et que nous visons dans nos processus intellectuels est la source de son inscription sur un support : la connaissance précède l'artefact qui la pérennise et lui apporte, par sa matérialité physique, une permanence que la connaissance ne possède pas quand elle n'a que le flux de nos pensées pour se manifester et se concrétiser. Mais, réciproquement, l'artefact permet d'accéder à un contenu qu'on n'a encore jamais pensé – comme lorsqu'on lit un nouveau livre - ou que l'on a déjà oublié – comme lorsqu'on relit ses notes. Il peut permettre en outre de construire une pensée que l'on ne saurait formuler sans son intermédiaire, une pensée qui échapperait au domaine de ce qui serait pensable sans cet artefact. Constituante et constituée, l'inscription est la condition et le résultat de la connaissance dont elle est l'inscription : elle est ainsi empirique (car constituée par notre expérience matérielle et concrète) et transcendantale (car condition préalable à l'expérience et à l'émergence de la connaissance), réunissant dans un même objet ce que la tradition philosophique a opposé conceptuellement.

4.1 Des précisions nécessaires

Il importe donc de tenter de comprendre ce que le numérique fait à la connaissance et les horizons de signification qu'il permet de constituer.

4.1.1 Préciser les fonctions

Plusieurs considérations sont à l'œuvre dans cette enquête :

- le rôle de la technique : reprenant une approche où la technique prend sa part dans l'émergence et la constitution de l'homme en tant qu'homme, il importe de comprendre comment le faire technique s'articule au connaître conceptuel ;

- le rôle de l'écriture: parmi les différentes techniques, l'écriture occupe une place singulière dans la mesure où elle enregistre l'expression du sens et entretient une proximité particulière avec le langage si bien que, si l'outil programme le geste, on peut dire que l'écriture programme la parole et la pensée à laquelle elle peut renvoyer. Si l'on ne peut parler ici de programmation au sens fort, où la pensée ne serait que la conséquence directe et incontournable de l'écriture, il s'agit de pouvoir dégager les influences réciproques entre écriture et pensée et d'en examiner l'éventuel caractère réglé, c'est-à-dire les lois, règles, conventions ou simplement régularités constatées entre ces deux pôles ; mais alors qu'on insiste ici sur la complicité entre pensée et écriture, on pourra se reporter également au chapitre de Christine Proust dans ce même ouvrage qui insiste sur le passage de l'oral à l'écrit dans le contexte scolaire pour aborder la tension oral / écrit ;

- le rôle du formalisme : l'écriture a permis l'émergence d'outils graphiques qui possèdent un sens par leur seule forme graphique indépendamment de toute parole qui pourrait les oraliser et les rapporter à un discours. Textes sans paroles, les formalismes tirent parti de ce que l'écriture apporte comme moyen original à l'expression de sens et comme supplément à la parole ;

- enfin, le rôle du calcul, qui tire parti de ce que le formalisme, rivié à une écriture et donc à une inscription matérielle, peut déboucher sur une manipulation mécanique et formelle. Le formalisme se constitue de symboles physiques : comme symboles, ils possèdent une signification ; en tant que physiques, ils se manipulent matériellement et mécaniquement. Le propre du formalisme, quand il se fait calcul, est de rapporter cette manipulation physique au sens formel.

Chaque étape dans cette progression mobilise des parcours interprétatifs différents, dont on peut cependant proposer une intelligibilité globale : de l'écriture au calcul, on s'oriente vers une externalisation croissante, le contenu se matérialisant progressivement hors de la pensée pour lui apporter un prolongement d'une part, mais aussi constituant une prothèse qui soutient cette pensée d'autre part. Mais cette externalisation croissante s'accompagne de processus à chaque fois différents de réappropriation de ces objets investis d'esprit : comme l'auteur qui se prend à relire ses propres écritures comme si elles lui étaient désormais étrangères, découvrant alors des schémas de pensée qui excèdent l'intention auctoriale qu'il avait initialement investie, l'utilisateur de ces techniques du calcul et du numérique ne revient jamais à sa position initiale de producteur d'outils ou de symboles et se prend à penser différemment, sinon à devenir différent et autre qu'il n'est ou n'était .

4.1.2 Préciser des notions

On mobilise ainsi une série de termes proches que l'on distingue en fonction de la relation au sens des systèmes d'écriture. Revenons sur ces termes un instant pour préciser la manière dont nous les utilisons ici. On a ainsi :

- l'écriture, que nous prenons de manière large comme un système graphique permettant de constituer des inscriptions visant à véhiculer une signification. Elle associe donc un substrat matériel à une forme d'expression : de l'encre sur du papier mobilisé conformément à la forme textuelle par exemple ;

- formel : caractère de ce qui ne possède une signification qu'en fonction de sa forme, des règles déterminant la correspondance entre la variation de la forme et la variation du contenu ;

- le formalisme : une écriture telle que la signification associée aux inscriptions est déterminée en fonction de la forme de ces inscriptions ; c'est donc une écriture formelle. Seront des formalismes les langages de programmation, les langages mathématiques et logiques. Ces langages possèdent une syntaxe, et des règles sémantiques explicitent comment la signification varie quand on fait varier la syntaxe. On distinguera du formalisme l'écriture des langues naturelles : pour ces dernières, la sémantique d'une inscription varie de manière imprédictible et arbitraire vis-à-vis de son écriture syntaxique quand cette dernière subit des modifications (changer un mot dans un texte change le sens, mais on ne peut prédéfinir comment) ;

- calcul : formalisme quand il est manipulé mécaniquement, selon des règles que l'on peut faire exécuter par une machine. La machine appliquant les règles de calcul ne peut s'appuyer que sur la forme physique et matérielle des symboles, tels que la syntaxe les détermine. Le calcul peut opérationnaliser un formalisme. Dans ce cas, le calcul sur les symboles pourra avoir une signification donnée selon les règles du formalisme. En effet, si la syntaxe commande l'interprétation sémantique (cas d'un formalisme), alors le calcul effectuera des opérations qui auront un sens. Si la sémantique varie de manière arbitraire par rapport à la variation de la syntaxe (cas d'une langue naturelle et de son écriture), le calcul effectuera des opérations qui peuvent n'avoir aucun sens ; quand on considère le calcul indépendamment de toute signification, qu'elle soit arbitraire (langue naturelle) ou réglée (formalisme), on aura affaire au numérique ;

- calculable : ce qui est accessible par le calcul ;

- numérique : combinatoire fondée sur des symboles élémentaires, généralement le 0 et le 1. Le numérique se manipule selon le calcul, indépendamment de toute considération sémantique. Il peut certes acquérir une dimension sémantique par ailleurs, mais l'interprétation lui confère une signification de manière extrinsèque. Le numérique, c'est ce qui n'a pas de sens (c'est pour cela qu'on peut le mécaniser), et qui doit être réinterprété pour en avoir un.

Le numérique est donc cette possibilité technique que l'on peut comprendre comme l'expulsion hors de l'écriture de son sens au profit de son caractère discret et manipulable. Cette expulsion est radicale

car elle permet la mécanisation et la possibilité de confier à une machine matérielle et effective le soin de manipuler (calculer) ce matériau symbolique mais sans sémantique. Du coup, lorsque l'on voudra s'emparer comme d'une écriture de ces manipulations, il faudra les réinterpréter, donnant du sens à ce qui a été produit indépendamment d'un quelconque processus interprétatif, un peu comme le fait de vouloir interpréter (donner du sens à) un texte dans lequel on aurait remplacé les mots par celui qui les suit dans un dictionnaire (manipulation aveugle). Si cela peut ne rien donner, quel statut attribuer aux interprétations acceptables trouvées ainsi ? Les artistes nous ont habitués à aborder des univers du sens attachés à des manipulations arbitraires. Mais on s'aperçoit que ce processus est encore plus ancré dans notre rapport à la connaissance et dans nos capacités d'invention et d'innovation conceptuelles. Ces manipulations arbitraires conduisent en effet à des configurations du sens qui s'imposent comme des modes de penser, des manières de conceptualiser.

Ainsi, au-delà d'une simple phénoménologie de la technique et de la connaissance, il reste à comprendre comment s'articulent les possibilités matérielles de mise en forme et de manipulation de l'écriture, et les manières de penser. Si l'hypothèse est que toute forme d'écriture conduit à des manières de penser, le rôle du formalisme et du calcul doit se généraliser en figures caractéristiques de la connaissance et de la rationalité. Il reste à déterminer, comme on le verra, si ces figures sont spécifiques au numérique, si elles sont vraiment nouvelles, et si on observe par conséquent des déplacements paradigmatiques de la connaissance et de la science. Il sera bien sûr impossible de répondre dans l'espace de cet article à de telles questions, son ambition étant plus modestement d'attirer l'attention sur quelques phénomènes et constats contribuant à alimenter ce débat.

C'est pourquoi nous reviendrons sur les différentes étapes énoncées plus haut : nous proposerons tout d'abord une approche de la technique pour ensuite la prolonger dans une analyse de l'écriture. A la suite de Jack Goody, qui a dégagé et proposé les structures propres à une raison graphique, nous aborderons la question du numérique pour évoquer la notion de raison computationnelle. L'exploration de cette raison passe par un retour sur la question du signe, sa matérialité et son fonctionnement sémiotique. Nous aborderons donc une analyse en trois termes, articulant signe (par exemple le mot), symbole (par exemple l'œuvre d'art) et représentation (par exemple le modèle scientifique). Nous verrons comment le formalisme, ou notation formelle, renvoie à la catégorie de symbole alors que sa mise en œuvre calculatoire le sort du symbolique pour en faire une représentation possédant sa propre efficacité.

Nous aurons alors les outils nécessaires pour comprendre que notre rapport à la connaissance évolue désormais vers une toujours plus grande modélisation, recherchant moins l'intelligibilité du symbole que l'efficacité de la représentation. Bref, le comprendre cède le pas au faire, la construction d'un résultat calculé donnant l'impression (l'illusion ?) de la vérité et de l'objectivité. Mais peut-on être dans le vrai sans comprendre ? C'est là qu'il importe d'avoir une critique de la raison computationnelle, non pour la nier mais pour l'assumer et donc la dépasser vers une nouvelle intelligibilité, où la science du numérique débouche sur une conscience et une esthétique des formalismes.

4.2 Le rôle de la technique

L'hypothèse centrale sur laquelle on se concentre ici est que la connaissance n'est mobilisable qu'à travers des médiations matérielles de nature technique. S'il ne faut pas réduire la connaissance à une opération matérielle, il n'en demeure pas moins que là où il y a connaissance, il y a une médiation technique. Autrement dit, l'inscription serait constitutive de la connaissance dont elle est l'inscription car, de manière plus générale, la connaissance est ce qui peut se définir comme le corrélat de l'opération technique. Que ce soit le savoir faire ou le savoir penser, la technique assure une répétabilité, une efficacité et une régularité qui permettent de parler de connaissance, puisque sa médiation permet de construire une objectivité, idéale ou matérielle, du fait de cette régularité et cette répétabilité. Reprenons cet argument en deux étapes.

4.2.1 La technique comme dispositif

Selon nous, la technique est une affaire de dispositif (Bachimont 2005). En deçà de l'illustre précédent heideggérien (*La question de la technique*, dans (Heidegger 1958)), nous prenons la notion de dispositif de manière quasi littérale : est un dispositif ce dont la disposition *spatiale* commande le comportement *temporel*. La technique est ce qui commande *ce qui arrive* par la suite en fonction de ce qui est disposé et structuré *maintenant*. La technique est donc ce dont l'humanité s'est dotée pour commander son avenir incertain à partir de la certitude de ce qui est sous la main et qui peut être librement agencé et organisé.

Le dispositif possède deux cohérences qui président à son comportement et l'organisent. Sa cohérence *interne* correspond à la manière dont, idéalement, ses composants s'agencent et s'articulent pour produire le comportement attendu. Le fonctionnement est d'ordre mécanique et obéit à des lois univoques et universelles. La cohérence interne est l'endroit où s'exprime l'application du savoir scientifique sur les lois de la nature, le dispositif constituant une nature artificielle car construite, mais naturelle car répliquant en son sein la nécessité des lois de la nature. La cohérence *externe* correspond à la mobilisation effective et concrète du dispositif dans son contexte : un contexte socio-culturel, économique, industriel, etc., correspondant à *l'environnement du dispositif*, un contexte matériel correspondant à la *réalisation du dispositif*, c'est-à-dire la manière dont ses composantes sont matériellement réalisées. La cohérence externe renvoie à la singularité, chaque utilisation étant unique, et fait place à la variabilité et à la contingence. A la nécessité naturelle de la cohérence interne correspond l'empirisme approximatif (réalisation des composantes) et la contingence imprévisible (environnement d'utilisation) de la cohérence externe. Cette tension, fort générale, entre ces cohérences internes et externes se retrouve dans les dispositifs documentaires et pédagogiques notamment, comme l'illustre le chapitre 3 (Gueudet & Trouche) en notant le lien entre la configuration des ressources et leur mise en œuvre, cette seconde venant infléchir la première.

La technique devient dès lors un art raisonné, entre empirisme et science, bâtissant un compromis entre ces deux cohérences, empruntant au scientifique son savoir apodictique, puisque la cohérence interne se construit dans la perspective de la nécessité et de la certitude, et à l'expert avisé son expérience de la contingence, puisque la cohérence externe se construit dans la variabilité des situations concrètes. Mais ce compromis est néanmoins traversé par une tendance selon laquelle la cohérence interne tend à internaliser la cohérence externe. Autrement dit, les dispositifs s'élargissent sans cesse pour considérer comme des composants internes soumis à leurs lois mécaniques les éléments de l'environnement externe. Le dispositif est toujours à vocation totalisante.

4.2.2 L'écriture comme dispositif

Les dispositifs ne se restreignent pas aux machines. Ou plutôt, les machines ne sont pas seulement destinées à reproduire les gestes, mais aussi les comportements et paroles. Selon une complémentarité déjà soulignée notamment par Leroi-Gourhan (1964), la technique prolonge autant le geste que la parole, permettant tant à l'intelligence qu'à la mémoire de connaître des prothèses qui les soutiennent et les complètent.

L'écriture est donc un tel cas de dispositif pour la parole. Dispositif d'enregistrement, aide-mémoire, l'écriture possède ce double jeu de cohérences internes et externes. En effet, l'écriture possède ses propres lois, immanentes à sa mise en œuvre, qui déterminent par exemple qu'après tel signe, il est possible, nécessaire ou impossible de mettre tel autre signe. Ce que la grammaire a longtemps essayé de modéliser et de réguler n'est autre que le jeu interne à l'écriture comme système de signes et qui lui est propre. Mais ce qui l'a toujours tenue en échec, c'est que l'écriture fonctionne dans un environnement complexe, selon une cohérence externe labile et imprévisible : ouverture sur le sens, ouverture sur la possibilité propre à la matière physique et symbolique mobilisée pour la mettre en œuvre, la cohérence externe subvertit en permanence les lois de la cohérence interne.

Pourtant, la cohérence interne a tendance à s'autonomiser. Rejoignant cette caractéristique propre à tout dispositif, l'écriture tend à dégager des lois qui lui sont propres indépendamment de sa mise en œuvre, qu'elle soit interprétative ou matérielle. C'est ce qu'on appellera le formalisme, et plus encore le calcul, qui ne sont autres qu'une mise en œuvre de l'écriture qui se referme sur la cohérence interne. Bref, la sémantique (cohérence externe) est rapportée à la syntaxe (cohérence interne) : les lois de la syntaxe suffisent à déterminer les lois de la sémantique, ce que l'on dit suffit à déterminer ce que l'on veut dire. L'écart qu'il faudra constater entre le formalisme et le calcul (voir *infra*) aura pour signification de souligner que le formalisme renvoie malgré tout à une cohérence externe et possède ses propres horizons d'interprétation, de variabilité et de doute, alors que le calcul rejoint la répétabilité nécessaire de l'algorithme.

4.3 Le rôle de l'écriture : du graphique au computationnel

Si l'écriture est un dispositif, alors elle doit posséder sa propre cohérence interne et exprimer une tendance à enrégimenter son environnement et sa cohérence externe. Cette cohérence interne et cette tendance renvoient à la notion de « raison graphique ». On s'appuie pour cela sur les travaux de Jack Goody (1979, 1985) qui ont permis naguère de poser une telle notion de « raison graphique » (ce titre a été proposé par les traducteurs, le titre original étant *the domestication of the*

savage mind) : une rationalité qui serait accessible depuis l'écriture et construite par son intermédiaire. Les structures de listes, de tableaux et de formules sont ainsi des manières de penser correspondant à des manières de mettre en forme à travers cette technique de l'écriture.

En quoi l'écriture est-elle si importante et induit-elle des opérations cognitives particulières, une manière de penser spécifique, bref une rationalité qu'il faudrait qualifier de graphique ? En allant à l'essentiel, l'écriture apporte au contenu une synopsis spatiale, permettant de repérer des rapports et des propriétés qui demeurent indécélables dans la succession linéaire de la temporalité de la parole : l'écriture donne à voir des rapports qui ne sont pas perceptibles à l'écoute de la parole. En effet, parce qu'elle apporte une bidimensionnalité spatiale à la représentation du contenu, l'écriture permet à l'esprit d'accéder simultanément à différentes parties du contenu indépendamment de l'ordre reliant ces parties dans le flux oral. Par conséquent, ce qui est dispersé dans le temps devient contigu dans l'espace, l'œil pouvant librement naviguer et repérer des identités entre éléments du contenu (par exemple, des mots possédant un même radical mais des flexions différentes). Alors qu'une phrase contenant dans une succession linéaire les mots « rosa, rosae, rosam, rosas, etc. » est très improbable, si bien qu'à l'oral il demeure très difficile de repérer que ces différents mots renvoient à une même déclinaison dont on peut d'ailleurs dégager la structure (les différentes flexions), la représentation écrite permet de délinéariser le discours et d'en prélever des unités que l'on peut confronter et juxtaposer au regard de l'esprit.

4.3.1 Les structures de la raison graphique

C'est ainsi que Jack Goody insiste sur le fait que l'écriture induit un mode de pensée particulier et un rapport au monde spécifique. Selon lui, l'écriture permet de constituer trois types principaux de structures conceptuelles, conditionnant notre mode de penser. Ce sont la liste, le tableau et la formule. Outre leur importance cognitive et fonctionnelle sur laquelle nous revenons plus bas, ces structures ont pris une importance fondamentale dans les techniques d'écriture, notamment dans les manuels, dans la mesure où ces structures permettent d'organiser et de systématiser le projet (Bruillard Chap. 12).

La liste permet de délinéariser le discours pour en prélever des unités que l'on ordonne ensuite dans une énumération. La liste permet de rassembler dans une même unité ce qui est dispersé dans le discours : elle induit par conséquent un classement et une catégorisation. Faire des listes, c'est choisir de consigner un item parmi d'autres en considérant qu'ils ont quelque chose à faire ensemble : ils appartiennent à une même classe, une même catégorie.

Le tableau est le fait de représenter un ensemble de rapports entre des unités à travers leur position respective selon les deux dimensions de l'espace de l'écriture : être à gauche ou à droite, être au-dessus ou au-dessous, sont les deux types de relations spatiales qui permettent de mettre en relation sémantique les unités ainsi disposées. Dans un tableau, l'unité occupant une case prend une signification déterminée, à tout le moins conditionnée, par la position de la case dans le tableau. Le mode de penser induit par le tableau est alors le système : un tableau spécifie des relations entre les cases, et permet par exemple de prévoir a priori, de manière *systématique*, la valeur devant occuper une case, du fait de la position de cette dernière.

Enfin, la formule. La formule est un procédé permettant de mener des raisonnements en fonction seulement de la forme, sans avoir à prêter attention à la signification. La forme prenant en charge dans sa structure ce qu'il faut retenir des significations considérées, il suffit alors de manipuler la forme pour mener à bien les raisonnements sur le contenu ou la signification. C'est ce qui est à la base de la logique *formelle* et plus généralement des mathématiques. L'enjeu n'est pas tant le fait de savoir si le formalisme permet de mener le raisonnement *indépendamment* de la signification ou du contenu, ce dernier pouvant même être remis en question (existe-t-il vraiment ?), mais le fait de pouvoir se fier à la forme.

4.3.2 Du graphique au calcul

Se fier à la forme est l'attitude à la base de tous les formalismes, notamment ceux qui seront à l'origine de l'informatique et du numérique. Quand, à la fin du XIX^e siècle, apparut la crise des fondements des mathématiques, suscitée notamment par les paradoxes issus de la théorie des ensembles, de nombreux mathématiciens cherchèrent des moyens de surmonter cette crise. David Hilbert (*Über das Unendliche*, repris dans (Hilbert 1972)) proposa de considérer les mathématiques à travers leur écriture, et de rechercher les procédés permettant de contrôler cette écriture. L'objectif est de s'assurer que, un énoncé mathématique étant produit, il n'est pas possible d'en dériver l'énoncé d'une contradiction. Pour y parvenir, Hilbert considère l'écriture mathématique de manière purement

formelle, c'est-à-dire en ne s'intéressant qu'aux signes utilisés indépendamment de leur signification. Or, le nombre de signes est fini, les énoncés et les textes mathématiques sont finis, le temps mobilisé par les mathématiciens est fini : on se retrouve donc dans la situation où l'on manipule un nombre fini de signes en un temps fini ; bref on fait de la combinatoire de signes. Il suffit alors de trouver des règles purement formelles, dont l'application ne demande aucune inventivité mathématique ou compréhension particulière, qui permettent de vérifier que les signes d'un énoncé ou d'un texte mathématique ne permettent pas de déduire des énoncés contradictoires. En termes contemporains, on dirait qu'il faut trouver un programme qui permette de prouver qu'un énoncé mathématique n'entraîne pas de contradiction.

Turing, le père de l'informatique, continua sur la même lancée en proposant une machine abstraite conçue de la manière suivante¹ : on dispose d'une bande mémoire infinie composée de cases ne pouvant contenir chacune qu'un seul symbole (c'est en fait la feuille de papier sur laquelle travaille le mathématicien), d'une tête de lecture et d'écriture, se déplaçant sur la bande mémoire de case en case (une à la fois), pouvant lire et écrire un symbole (c'est le stylo du mathématicien), et enfin d'un état interne de la tête de lecture (c'est l'état mental du mathématicien). Un programme, purement formel, permet de déterminer ce que doit écrire la tête de lecture et comment elle doit se déplacer en fonction de qu'elle lit et de son état interne. Autrement dit, en fonction de ce qu'il pense et de ce qu'il voit, le mathématicien écrit un symbole sur sa feuille de papier. La métaphore ne doit pas nous égarer : les manipulations de symboles sur la bande mémoire sont purement formelles, et le fonctionnement de la machine de Turing ne repose sur aucune interprétation ni signification associées aux symboles, mais uniquement sur leur forme.

4.3.3 Les structures de la raison computationnelle

Le formalisme de Hilbert conduit ainsi à un computationnalisme via Turing, où l'on voit la cohérence interne du dispositif qu'est l'écriture prendre la forme littérale (!) d'un mécanisme aveugle et automatique. La question se pose alors de savoir si cette autonomisation de la cohérence interne conduit à l'émergence d'un rapport nouveau au sens : y a-t-il une raison computationnelle venant s'ajouter à la raison graphique ? Pour étudier cette possibilité, on peut repartir des trois structures clés de la raison graphique et examiner si le computationnalisme amène à les dépasser ou à les transformer. Nous pensons que ces trois structures se dépassent respectivement en programme (*versus* liste pour la raison graphique), réseau (*versus* tableau) et enfin couche (*versus* formule).

Le programme est à la raison computationnelle ce que la liste est à la raison graphique. Autant la liste permet de catégoriser et de classer, d'offrir une synopsis spatiale, autant le programme permet de spécifier un parcours systématique : l'exécution du programme n'est alors que le déploiement temporel de la structure spatiale symbolique qu'est le programme.

Le réseau est à la raison computationnelle ce que le tableau est à la raison graphique. Alors que le tableau propose une structuration et une systématisme entre les contenus répartis dans les cases du tableau, le réseau propose un mode de communication et de répartition entre les cases du tableau. C'est un tableau dynamique.

Enfin, la couche est à la raison computationnelle ce que la formule est à la raison graphique. La formule permet en effet de considérer la forme abstraction faite du contenu : la couche permet de considérer des relations calculatoires entre des unités abstraction faite des calculs sous-jacents impliqués. La notion de couche en informatique², via celle d'implantation et de compilation, permet de représenter les structures formelles en faisant abstraction des calculs élémentaires induits, comme la formule permet de s'abstraire du sens (Table 1) : ces structures ne sont pas seulement des objets *sémiotiques* mais aussi et surtout des manières de penser, des modes d'organisation et de conceptualisation du monde.

¹ La référence originale pour l'exposé de la machine est l'article « On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem », *Proceedings of the Mathematical Society*, 2(42), p. 230-265. Il est repris et traduit dans (Turing 95).

² En informatique, on appelle « couche » un niveau d'abstraction de la machine qui permet d'interagir avec cette dernière sans avoir à se soucier de la manière dont elle le fait effectivement. Par exemple, quand on utilise un langage de programmation, on spécifie totalement ce qu'elle doit faire. Mais au final, la machine ne manipule pourtant que des 0 et des 1, et rien de physique ne correspond directement aux structures entités manipulées par le programme. Mais ce dernier est compilé, implémenté dira-t-on également, dans la mesure où il est traduit, converti en un langage qui correspond à la manipulation physique par la machine. Mais, c'est cela qui est remarquable, un tel programme de conversion peut être écrit une fois pour toutes pour le langage de programmation, et le programmeur n'a alors jamais à s'en soucier. Il peut en rester à la « couche » de la programmation sans avoir à s'occuper de ce qu'il a dessous. Les couches sont autonomes et autosuffisantes.

Raison graphique	Raison computationnelle
Liste	Programme
Tableau	Réseau
Formule	Couche
Schéma	Maquette numérique

Table 1. Les structures de la raison graphique et de la raison computationnelle.

Ces structures cognitives sont fondamentales et affectent désormais nos modes de penser. La raison graphique a produit la raison classificatoire, la raison computationnelle produit la pensée en réseau et la raison distribuée. Pour une raison graphique, le réseau n'est pas une structure de l'intelligible : le réseau, échappant à la synopsis spatiale de fait de sa complexité, est un *labyrinthe* où l'on se perd. C'est une figure de l'irrationnel, et non une manière de penser le monde. L'interaction et la communication selon la structure des réseaux sont devenues intelligibles car le calcul permet de réduire la complexité et de parcourir l'ensemble des possibles induit par les réseaux au moyen des programmes qui en spécifient le comportement. Cependant, elles le font en distribuant la rationalité, en permettant au local de déterminer le comportement sans qu'une instance globale vienne centraliser ni déterminer la décision. A la centralisation du système succède la distribution dans le réseau.

De même, la notion de couche est une manière également de réduire la complexité et de rapporter une masse quasi infinie de calculs formels à des structures plus intelligibles pour l'être humain. Les structures en réseau et en couche, via les programmes qui les réalisent et les rendent effectives, permettent d'aborder le réel non comme une structure hiérarchisée et organisée en classes, mais comme une dynamique déployant une rationalité et un ordre sous-jacents : le monde n'est que l'exécution de programmes qui temporalisent les relations qu'ils spécifient. Non pas qu'il faille sous-entendre qu'il y ait un seul programme sous-jacent, mais au contraire que plusieurs ordres interagissent. Si la taxinomie des espèces peut être une illustration de la pensée induite par la raison graphique, le code génétique est celle de la pensée induite par la raison computationnelle.

Enfin, le schéma. Curieusement, la raison graphique n'en parle pas, restant sans doute seulement concernée dans un premier temps par le rapport à la langue. Mais on peut cependant introduire le schéma dans l'horizon ouvert par le graphique et par sa reprise dans le numérique. Le schéma est une structure qui représente de manière matérielle un concept. De manière plus précise, le schéma est la représentation matérielle et spatio-temporelle *minimale* d'un concept. En effet, l'objectif est de montrer de manière perceptible et sensible le contenu d'un concept et de faire appréhender ce concept par l'intermédiaire de sa schématisation. Mais un schéma, pour être sensible, perceptible et matériel, n'en n'est pas pour autant un objet « naturel » de la perception ordinaire. On peut s'en rendre compte si on compare les schémas et les photos : autant pour un néophyte une photo anatomique (viscères par exemple) est généralement inintelligible, autant le schéma sera le moyen adéquat pour lui montrer les concepts qu'il doit maîtriser. Si la réalité virtuelle s'empare désormais des supports pédagogiques ou scientifiques, il est bien clair qu'il ne s'agit pas de réalité (on ne peut pas se laisser prendre un seconde par le fait que ce que l'on voit soit réel), mais de schématisation de la réalité au service d'un discours et d'un concept : ce que l'on voit, c'est la mise en scène d'un contenu conceptuel ou d'une idée. La maquette numérique³ reprend cette approche en lui ajoutant le calcul qui permet de simuler, par son comportement, l'objet visé. De même, on sait bien qu'il ne s'agit pas de réalité, puisque souvent elle n'existe pas encore, mais d'une simulation qui donne à voir et à sentir ce qu'il faut comprendre.

4.4 La puissance du formalisme : du signe au calcul

Mais il s'agit alors de s'interroger sur ce qui fait de l'écriture une écriture : quelles sont ces caractéristiques qui en feraient quelque chose de radicalement différent des autres types de médiation ? C'est ici que la notion de formalisme entre en jeu : le formalisme possède un sens du fait

³ Une maquette numérique est un objet informatique représentant l'objet que l'on est en train de concevoir. Les outils informatiques permettent d'interagir avec lui et de simuler son comportement. On peut ainsi le visualiser en 3 dimensions, tester sa résistance en appliquant un modèle de choc sur les données de la maquette, etc.

de sa forme graphique, indépendamment du sens dont il hériterait de la forme parlée. Il introduit une rupture et montre comment faire sens avec un graphique qui ne possède pas de contrepartie orale ou langagière.

4.4.1 Trois figures du sens

Après tout, dans ce débat, on ne fait que manipuler des signes, c'est-à-dire des éléments matériels que l'on mobilise pour leur signification. Mais il serait peut-être bon de déterminer si l'on a toujours affaire à la même sorte de signe, et donc de rapport à la signification et au sens. Il nous semble utile de distinguer trois types de signes ou de modes du signifier. Nous les appelons : le *signe*, la *représentation* et le *symbole*.

Pour présenter leurs différences, posons les considérations suivantes : la signification, la représentation et le symbole sont des relations. La signification articule un signifiant à un signifié. Le signifiant est parfois désigné comme un signe, le signifié comme une signification (par métonymie sur la relation). La représentation articule un représentant à un représenté. Le représentant est parfois désigné par le terme de représentation. Le symbole articule un symbole à un symbolisé, la terminologie flottant entre le symbole qui représente ou le symbolisé représenté. Reprenons-les dans cet ordre.

La fonction d'un signifiant est de rendre présent un signifié. Il fait venir à l'esprit ce qui n'était pas présent. Autrement dit, le signifiant, au contraire du représentant (voir *infra*), s'efface devant le signifié car il ne peut s'y substituer. C'est la raison pour laquelle la signification désigne davantage le signifié que le signifiant. Car l'essence de la relation de signification est d'aboutir au signifié, dont la présence rendue possible annule l'efficace du signifiant.

La relation entre le signifiant et le signifié est en général arbitraire. Il suffit que le signifiant ait une puissance d'évocation et d'association. En effet, à partir du moment où il est rendu présent, le signifié exhibe son propre comportement et ainsi ce que fait le signifiant passe au second plan. C'est ce que l'on voit dans la langue, où les relations entre les signifiés ne sont que très partiellement reproduites par les relations entre les signifiants. De même, la nature du signifiant est arbitraire par rapport à celle du signifié.

La fonction d'un représentant est d'être un objet qui possède une certaine partie des propriétés et attributs de ce qu'il représente ; son comportement manifeste alors le comportement qu'aurait son représenté s'il était présent. En politique, on a ainsi un représentant plénipotentiaire dans la mesure où il possède toute l'efficace causale de son représenté. Un modèle représente une réalité car son comportement reproduit celui de la réalité.

Le propre d'une représentation n'est donc pas de rendre présent le représenté, mais de s'y substituer en héritant de son efficace. La présence du représentant rend inutile celle du représenté. C'est donc la raison pour laquelle on appelle souvent le représentant par le terme de « représentation », car c'est le représentant qui capte l'essentiel de la relation de représentation.

La question est alors de savoir comment articuler représentation et signification. En effet, ces deux relations ne se superposent pas et ne s'impliquent pas pour autant :

- toute représentation n'est pas une signification. Un représentant peut reproduire le comportement d'un représenté sans pour autant le rendre présent. C'est le propre du modèle : le modèle représente le réel mais ne le signifie pas car il ne le rend pas présent. La simulation d'un modèle d'incendie ne brûle pas l'ordinateur : il reproduit certaines caractéristiques de son comportement, mais n'hérite pas du pouvoir causal matériel de la réalité représenté. De même, un mariage contracté par un représentant (dans la diplomatie royale de jadis) ne peut être consommé : le représentant ne peut se substituer au représenté que dans une certaine mesure, et il ne le rend pas présent.

- toute signification n'est pas une représentation : un signifiant n'est pas un représentant. Le signifiant linguistique n'est pas un représentant du signifié : il n'en n'a pas le comportement et ne peut s'y substituer. Par ailleurs il manifeste et rend présent le signifié qui seul souvent demeure après la manifestation du représentant, comme le suggère la perception sémantique.

Pourtant, ces deux relations sont articulées car elles peuvent se renforcer mutuellement : le signe qui représente également devient plus crédible dans son pouvoir de manifestation. Il rend d'autant plus présent qu'il reproduit mieux les relations du signifié. Par ailleurs, une représentation qui signifie renforce encore plus son efficace causale, car le pouvoir causal manifesté n'est plus alors porté au crédit du représentant, mais du représenté/signifié qui est manifesté.

Enfin, le symbole pose à part égale le symbole et le symbolisé. En revenant à l'étymologie du terme, on se souvient qu'il s'agit d'un objet brisé et séparé en deux : chaque partie ne pouvant s'unir qu'à l'autre pour reconstituer l'objet original, elle devient *ipso facto* un symbole de l'autre. Sa présence est la preuve même de l'existence de l'autre : elle le rend présent sans s'effacer mais en manifestant et en imposant sa propre présence. Ni représentation prenant le pas sur le représenté, ni signifiant s'effaçant devant le signifié, le symbole est la manifestation matérielle d'un symbolisé qui lui est consubstantiel.

4.4.2 Trois instances du sens, trois paradigmes

On trouvera ainsi que ces trois instances possèdent leur vecteur privilégié (Table 2) :

- le signe est de manière privilégiée le signe linguistique, le mot pour faire court. L'évanescence de la parole a souvent été soulignée pour rappeler que le signifiant vocal s'efface ou s'oublie pour laisser la place à son interprétation cognitive, la trace mnésique devenant l'horizon du terme linguistique, comme l'ont souvent suggéré les expériences portant sur la mémoire sémantique ;
- la représentation est de manière privilégiée le modèle scientifique, dont le fonctionnement représente et exprime la réalité visée ;
- le symbole est de manière privilégiée l'œuvre d'art, si on comprend l'esthétique comme l'étude des formes matérielles en tant qu'elles sont la manifestation d'un sens qui les transcende autant qu'elles le constituent. Conséquence de la formalité matérielle, le sens d'une œuvre d'art ne peut cependant s'y réduire.

Type de renvoi	Caractérisation	Paradigme
Signe	Le signifiant s'efface devant son signifié	Le mot
Représentation	Le représentant se substitue au représenté	Le modèle
Symbole	Le symbole manifeste le symbolisé	L'œuvre d'art La notation

Table 2. Les différents types de relation entre un objet et son sens

Mais on pourra également rapporter au symbole le symbole mathématique. Car, selon nous, il ne s'agit pas d'une polysémie, voire d'une homonymie, quand on parle d'un symbole esthétique ou d'un symbole mathématique. Le propre d'une notation est de suggérer par sa propre matérialité le sens ou la réalité visée. Comme l'a montré Peirce (Chauviré 95), la notation permet, par-delà la discursivité et la médiation conceptuelle, de voir et ressentir le sens exprimé. Ainsi, comme on peut souvent le remarquer, il est bien plus facile de montrer ce qu'est la commutativité par la notation $ab = ba$ que par une savante explication. Il y a donc une adhérence du sens à la notation, comme pour l'œuvre d'art.

4.5 Le numérique comme aboutissement et transformation.

Il est temps de revenir au numérique pour comprendre ses conséquences, muni des concepts que nous venons d'élaborer. On l'aura compris, il nous semble que le numérique introduit un décrochement entre le formel et le calcul, et fait passer la sémiose, l'interprétation du sens, du symbole à la représentation.

4.5.1 Du symbole à la représentation

Le numérique comme calculabilité se construit pourtant sur l'horizon de la formalité, compris ici comme une écriture ne possédant comme signification que celle ouverte par sa propre forme sensible. Mais alors que l'œuvre d'art ouvre l'infinie variation du sens ressenti à l'occasion de la forme sensible, la notation formelle introduit le contrôle de la forme sensible comme syntaxe. Autrement dit, la notation fonctionne autant qu'elle peut, par sa syntaxe, renvoyer à sa sémantique ou sa signification. Nous ne parlons pas ici de la théorie des modèles, qui est une théorie mathématique à part entière visant à décrire et rationaliser ce rapport. Nous parlons plutôt de la forme syntaxique en tant que telle qui montre la signification mais ne la démontre pas.

En mettant au premier plan la manipulabilité des symboles, pour en faire des signes concrets « symboliques physiques », le calcul supprime le sens associé au profit du résultat du calcul. Le calcul ne renvoie pas à un au-delà qu'il signifie ou manifeste, mais à un résultat auquel il conduit. Le numérique supprime la transcendance du renvoi propre au signe et au symbole pour les rapporter dans l'immanence de la manipulation. Nous avons en son temps proposé de parler d'autothéticité du

calcul (Bachimont 2000), en visant par cette notion le fait que le calcul ne pose (thèse) que lui-même (auto), indépendamment de toute autre relation.

L'autothéticité se constate de manière très banale avec les contenus numériques, qui se caractérisent par une double coupure avec la sémantique, c'est-à-dire le renvoi à une dimension autre :

- la coupure *matérielle* : le numérique, définissant son contenu uniquement en termes de symboles discrets et manipulables, ne dépend pas de son ancrage matériel et donc de la manière dont ces symboles sont réalisés. Si un symbole signifie par la matière qui le manifeste, il s'ensuit qu'ici il n'en est rien, puisque la réalisation matérielle de ces symboles numériques reste arbitraire vis-à-vis de la manipulation et du calcul qui sera effectué ;

- la coupure *interprétative* : le numérique n'a pas de signification propre. Par exemple, un contenu binaire peut être lu autant par un lecteur audio que par un lecteur vidéo : on entendra ou on verra quelque chose. Un contenu binaire n'est pas en soi un contenu audio ou vidéo, tout dépend de la manière de le décoder.

4.5.2 Sémantiques de la représentation numérique

Le passage du régime symbolique au régime représentationnel du formalisme quand il devient numérique ne fait que reprendre ce que nous avons dit plus haut : l'écriture comme dispositif voit sa cohérence interne s'autonomiser au point d'ignorer la cohérence externe. De ce fait, on voit dès lors se dégager de ce divorce entre les cohérences internes et externes deux tendances complémentaires mais contradictoires :

- une tendance calculatoire : le calcul prenant le pas sur la réalité qui l'environne, la positivité se réduit à l'obtention du résultat. Cela renvoie à la tendance qu'on constate tant dans les sciences expérimentales que dans les disciplines gestionnaires dans lesquelles la simulation et l'extrapolation, dans la mesure où elles donnent lieu à un résultat, remplacent l'expérimentation et l'interprétation (Varenne 2007). Non bien sûr que l'utilisation raisonnée et dialectique des données issues du calcul ne soit pas possible, mais elle passe de plus en plus au second plan, demandant aux praticiens un effort supplémentaire et explicite de rigueur alors qu'il était plus naturel auparavant, quand la réalité entretenait à la théorie un rapport symbolique (la réalité étant la contrepartie immédiate) et non représentationnel (la représentation calculante et calculée tenant lieu de réalité) ;

- une tendance interprétative : mais la plupart des calculs ne se font pas indépendamment de toute réalité ; seulement, ils n'en privilégient aucune. On voit dès lors une ouverture sans précédent des possibilités d'interprétation et d'esthétisation des contenus numériques calculés. Les arts numériques et médiatiques en sont bien sûr une illustration exemplaire, mais plus modestement le multimédia, les jeux vidéos sont eux-mêmes déjà le résultat et le fruit de ces possibilités de renégociation *ad libitum* de la signification.

Dit trivialement, le calcul ne voulant rien dire, il peut dire n'importe quoi. D'où le fait de s'en tenir à sa propre réalité, c'est le règne de la simulation et de la possibilité de remobiliser le calcul dans des registres sémantiques inédits.

4.6 Conclusion

Au-delà de la raison graphique, le formalisme introduit ainsi une pensée autre, tellement autre qu'il devient difficile d'ailleurs de se la réapproprier à travers d'autres médiations, comme la langue notamment. Si on accepte l'idée que le langage n'est pas seulement un outil technique mais aussi milieu cognitif, la langue naturelle possède une proximité pour la pensée que les autres médiations n'ont pas directement. Cela impliquerait de ce fait que le difficile retour du formalisme à la langue est le signe de sa radicale étrangeté et que son sens n'est accessible qu'au prix d'une reconstruction incessante et de traductions multiples.

Le numérique introduit finalement une idée supplémentaire au formalisme : un code arbitraire, qui rompt tout lien avec la sémantique. Le numérique est arbitraire en effet vis-à-vis de la manière de le réaliser physiquement, et de l'interpréter sémantiquement. Sémantiquement neutre, le numérique prolonge l'étrangeté du formalisme par un calcul qui manipule de manière aveugle les données. Quelle pensée le numérique instaure-t-il ? Quelle ouverture inaugure-t-il ? Si le mathématique est la promesse du formalisme, quelle est celle du numérique ? S'inscrit-il simplement dans son prolongement ? Introduit-il un autre rapport au formalisme, le calcul délégué à la machine venant compléter l'intelligibilité gagnée par l'interprétation, voire à se substituer à elle ?

Nous avons argumenté dans ce chapitre que si le numérique est sémantiquement neutre, notamment via la double coupure des symboles formels vis-à-vis de leur concrétisation physique d'une part, et de leur interprétation sémantique d'autre part, il ne l'est pas dans ses conséquences sémantiques. En effet, la manipulation permettant d'aborder des combinatoires de symboles construites selon des critères calculatoires et indépendamment de considérations sémantiques, on se retrouve devant des complexes symboliques pouvant être en rupture avec le concevable et le connu, conduisant ainsi à de nouveaux territoires du sens. Possibilité explorée depuis les perspectives ouvertes par l'écriture, première grammatisation du sens (Auroux 1995), où l'on peut combiner les lettres arbitrairement ou selon des règles lexicales arbitraires par rapport au sens (depuis Raymond Lulle à l'ouïpo), le numérique apporte l'effectivité du calcul qui élargit encore l'horizon des complexes symboliques et des relations qui les articulent.

C'est dans cette perspective qu'il convient sans doute d'envisager les glissements épistémologiques contemporains où la simulation remplace souvent l'expérimentation, et où la corrélation calculée tient lieu d'explication.

Références

- Auroux, S. (1995). *La révolution technologique de la grammatisation*. Liège : Mardaga.
- Bachimont, B. (2000). L'intelligence artificielle comme écriture dynamique : de la raison graphique à la raison computationnelle. In J. Petitot & P. Fabbri (dir.), *Au nom du sens* (pp. 290-319). Paris : Grasset.
- Bachimont, B. (2005). Ingénierie des connaissances, ingénierie de la contingence : la technique entre le nécessaire et le singulier. In P. Lorino & R. Teulier (dir.), *Connaissance, activité, organisation*. pp 93-114. Paris : La Découverte.
- Bachimont, B. (2009). Archivage audiovisuel et numérique: les enjeux de la longue durée. In C. Leblond (dir.), *Archivage et stockage pérennes*. Paris : Hermès.
- Cassirer, E. (1972). *La philosophie des formes symboliques ; Tome 3 : La phénoménologie de la connaissance*. Paris : Minuit.
- Chauviré, C. (1995). *Peirce et la signification, introduction à la logique du vague*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Goody, J. (1979). *La raison graphique, la domestication de la pensée sauvage*. Paris : Les Editions de Minuit.
- Goody, J. (1985). *La logique de l'écriture*. Paris : Armand Colin.
- Heidegger, M. (1958). *Essais et conférences* (A. Préau, Trans.). Paris : Gallimard.
- Hilbert, D. (1972). Sur l'infini. In J. Largeault (dir.), *Logique mathématique : textes*. Paris : Armand Colin.
- Illich, I. (1991). *Du lisible au visible : la naissance du texte. Sur l'art de lire de Hugues de Saint-Victor*. Paris : Le Cerf.
- Leroi-Gourhan, A. (1964). *Le geste et la parole*. Paris : Albin Michel.
- Turing, A. M. (1995). *Théorie des nombres calculables, suivi d'une application au problème de la décision*. In J.-Y. Girard (dir.), *La machine de Turing* (pp. 49-104). Paris : Seuil.
- Varenne, F. (2007). *Du modèle à la simulation informatique*. Paris : Vrin.

Chap. 5 - Un artefact comme instrument de médiation sémiotique : une ressource pour le professeur

Maria Alessandra Mariotti et Mirko Maracci

Les artefacts, en particulier numériques, sont en général considérés comme des ressources susceptibles d'améliorer aussi bien l'enseignement que l'apprentissage. Cependant, alors que les recherches ont largement pris en compte les potentialités de ces artefacts pour l'apprentissage, en particulier du point de vue des usages des élèves et des bénéfices qu'ils pourraient en tirer, elles ont eu tendance à sous-estimer la complexité du rôle du professeur dès lors qu'il veut exploiter ces potentialités. C'est ce que nous voulons étudier ici.

Nous commençons par la présentation de la théorie de la médiation sémiotique (TMS) élaborée par Bartolini Bussi et Mariotti (2008) dans l'objectif de décrire et modéliser les processus d'enseignement - apprentissage reposant sur l'utilisation d'un artefact spécifique. La TMS est centrée sur l'idée séminale de *médiation* introduite par Vygotsky (1978) et propose de décrire et de comprendre le processus qui commence avec l'utilisation par un élève d'un artefact et conduit à l'appropriation, par cet élève, d'un contenu mathématique particulier. Cette perspective prend en compte le rôle du professeur, et fournit la base pour un modèle explicite de ce qui est attendu de celui-ci. Nous voulons préciser ce modèle, avec l'objectif d'éclairer la manière dont le professeur peut utiliser l'artefact pour accomplir ses tâches didactiques. Il s'agit donc d'analyser le rôle spécifique joué par l'artefact comme ressource pour le professeur. Dans le fil de l'approche instrumentale (Rabardel 1995), en exploitant la notion de *schème d'utilisation*, nous analysons le développement, par le professeur, de cet artefact en *instrument de médiation sémiotique*. Plus particulièrement, nous nous centrons sur les actions du professeur médiées par l'artefact, concernant *l'orchestration de la discussion de classe*.

5.1 Médiation, apprentissage et enseignement selon l'approche sémiotique

C'est certainement en relation avec l'utilisation des artefacts, spécialement pour l'intégration scolaire des nouvelles technologies, que le terme *médiation* a été le plus exploité dans la littérature de recherche sur l'enseignement mathématique (Meira 1995 ; Radford 2003 ; Noss & Hoyles 1996 ; Borba & Villarreal 2005). L'idée de médiation est alors employée pour désigner les potentialités qu'a un artefact de favoriser les processus d'apprentissage. La participation d'un expert dans le processus de médiation est rarement prise en compte : le *potentiel de médiation* se rapporte en général à l'accomplissement d'une tâche à travers l'utilisation d'un artefact. La relation entre l'accomplissement de cette tâche appuyée sur l'artefact et l'apprentissage demeure souvent implicite. Beaucoup d'enseignants, mais aussi de chercheurs, semblent croire que les significations mathématiques liées à l'usage d'un artefact sont transparentes pour les élèves et que, en conséquence, la situation ne justifie pas une médiation du professeur.

La TMS prend en compte cette question. Elle combine des perspectives sémiotique et didactique, et développe la notion de médiation en prenant en compte le rôle crucial de la *médiation humaine* (Kozulin 2003, p.19) dans les processus d'enseignement et d'apprentissage. Adopter une perspective sémiotique suppose d'interpréter l'enseignement et l'apprentissage en reconnaissant le rôle central des signes¹, à la fois comme produits et moyens de construction du savoir. Comme encourager ou guider ce processus est une question cruciale. Dans les sections suivantes, nous décrivons comment il est possible, dans cette perspective, d'organiser une séquence d'enseignement intégrant un artefact donné. Cette description s'appuie sur les notions clés de *potentiel sémiotique d'un artefact* et de *cycle didactique*.

5.2 Le potentiel sémiotique d'un artefact

En suivant Hoyles (1993), on peut désigner la relation entre un artefact et le savoir comme *savoir évoqué*. Par exemple, un boulier (Figure 1) peut évoquer la notation positionnelle des nombres ; de même, un logiciel de géométrie dynamique peut évoquer la géométrie classique « règle et compas ». Cependant il est sans doute nécessaire de distinguer entre les significations émergent de l'utilisation d'un artefact et le savoir mathématique développé en

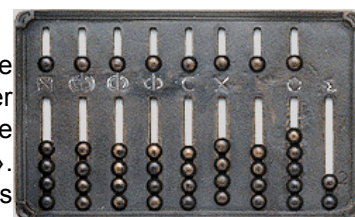


Figure 1. Copie d'un boulier romain (1^{er} siècle)

¹ L'utilisation du terme "signe" est inspiré de Pierce. Nous posons une relation consubstantielle entre signifié et signifiant. Avec d'autres chercheurs (Radford 2003; Arzarello 2006), nous développons l'idée que les significations proviennent d'interactions complexes entre des signes (Bartolini Bussi & Mariotti 2008).

relation avec cette utilisation. De ce point de vue, le cas des bouliers est paradigmatique : des siècles de pratique du calcul à l'aide du boulier n'ont pas été suffisants pour déclencher le passage à la notation positionnelle des nombres.

Nous introduisons la notion de *potentiel sémiotique* d'un artefact pour prendre en compte cette distinction. Le potentiel sémiotique d'un artefact représente le double lien qui peut s'établir entre i) un artefact et les significations personnelles émergeant de son utilisation finalisée ; ii) cet artefact et les significations mathématiques évoquées par son usage, reconnaissables comme mathématiques par un expert. La distinction entre significations personnelles et mathématiques peut être mise en relation avec la distinction que fait Brousseau (1997) entre *connaissance* et *savoir*. Même si elles ne sont pas contradictoires, les deux perspectives ne sont pas réductibles l'une à l'autre : la première insiste sur la dimension sémiotique des processus d'enseignement-apprentissage, qui reste dans l'ombre avec la seconde.

Dans le contexte de la classe de mathématiques, les élèves qui utilisent un artefact produisent des signes liés à l'activité avec l'artefact (signes-artefact) qui peuvent être mis en relation avec des signes mathématiques. Cependant la construction d'une telle relation n'est pas spontanée. Bien au contraire, elle doit être prise en charge, comme un objectif didactique, par l'enseignant, qui doit contribuer à faire évoluer les signes produits par les élèves, d'une relation entre artefact et tâches vers une relation entre artefact et savoir (Fig. 2). L'artefact constitue dans cette mesure une *ressource* pour l'action didactique du professeur (Gueudet & Trouche, Chap. 3).



Figure 2. Le potentiel sémiotique d'un artefact et la médiation de l'enseignant

Le potentiel sémiotique d'un artefact peut être identifié à partir d'une analyse impliquant à la fois des perspectives cognitive et épistémologique. Plus la description du potentiel sémiotique est riche, plus riche est la base pour la conception de séquences d'enseignement-apprentissage centrées sur l'utilisation d'un artefact donné. Cette question peut être inscrite dans la *problématique* plus vaste des relations entre les ressources disponibles pour un enseignant et les décisions didactiques qu'il prend dans la phase de conception. Dans le chapitre 15, Trgalova étudie aussi les décisions didactiques du professeur en situation de projet de séance, en relation avec les ressources auxquelles il a accès. Utilisant la terminologie de Winslow (2003, p. 275), la notion de potentiel sémiotique insiste sur le rôle d'un artefact peut avoir comme « véhicule d'apprentissage » et interroge explicitement les relations entre les questions pragmatiques et didactiques.

5.3 Les cycles didactiques

Comment peut-il advenir, en utilisant une terminologie inspirée de Leont'ev (1964/1976), que les significations personnelles émergeant de la réalisation d'une tâche médiée par un artefact deviennent des significations mathématiques ? Selon le modèle développé dans la TMS, l'évolution des significations personnelles vers les significations mathématiques peut être soutenue par une itération de *cycles didactiques* où différents types d'activité prennent place, chacun d'entre eux contribuant

diversement, mais de façon complémentaire, au développement du processus complexe de médiation sémiotique. Chaque cycle didactique comporte trois étapes :

- des activités avec l'artefact. Cette étape intègre les tâches à accomplir en utilisant un artefact. Les situations sont conçues pour favoriser l'émergence de signes reliés à l'utilisation de cet artefact ;
- des activités de rédaction individuelle. Les élèves sont impliqués individuellement dans différentes activités sémiotiques concernant des productions écrites. Par exemple, on peut demander aux élèves, comme travail à faire à la maison, d'écrire un rapport individuel sur l'activité réalisée avec un artefact, réfléchissant sur leur propre expérience, et en formulant des doutes possibles ou des questions. Ces productions écrites peuvent devenir des objets de discussion dans le travail collectif qui va suivre ;
- une discussion de classe. Les discussions jouent un rôle essentiel dans le processus d'enseignement-apprentissage et constituent le cœur du processus sémiotique, sur lequel enseignement et apprentissage sont fondés. Toute la classe peut être engagée dans cette discussion : par exemple, après une session de résolution de problèmes, les différentes résolutions peuvent être discutées collectivement, ou les textes écrits par les élèves, ou d'autres textes, peuvent être analysés et commentés. Dans une telle discussion, le principal objectif du professeur est de pousser la l'évolution vers des significations mathématiques, prenant en compte les contributions individuelles et exploitant les potentialités sémiotiques de l'utilisation de l'artefact.

Autrement dit, se situer dans une perspective de *médiation sémiotique* demande l'établissement, dans la pratique de l'enseignant, d'un *format d'activité* spécifique (Burns & Anderson 1987; Ruthven Chap. 10) consistant en l'itération de cycles didactiques. Quand l'enseignant réussit à exploiter ainsi les potentialités d'un artefact, on dit qu'il l'utilise comme un *outil de médiation sémiotique* (Bartolini Bussi & Mariotti 2008, p. 754).

5.4 Le rôle du professeur

L'action du professeur, à chaque étape d'un cycle didactique, est cruciale, en particulier au niveau des discussions de classe, qu'il a la responsabilité *d'orchestrer*. Cette métaphore d'orchestration est souvent empruntée, dans des sens variés, pour évoquer l'intégration d'outils dans la classe. Comme Bartolini Bussi (1998) nous utilisons le terme d'orchestration pour désigner la gestion par le professeur de la discussion de classe ; discussion qui est décrite comme « une polyphonie de voix articulées sur un objet mathématique, qui est une des raisons d'être de l'activité d'enseignement-apprentissage » (op.cit., p. 68). Trouche (2005, p. 126) définit pour sa part une *orchestration instrumentale* comme l'organisation intentionnelle des artefacts et des acteurs d'un environnement d'apprentissage pour assister les genèses instrumentales des élèves. Cette définition est complétée par (Drijvers *et al.* 2009), qui distinguent plusieurs composantes dans une orchestration. D'un côté, l'*orchestration d'une discussion de classe* peut être mise en relation avec ce que Drijvers appelle la *performance didactique*, composante d'une *orchestration instrumentale*. D'un autre côté, l'objectif d'une orchestration de discussion de classe n'est pas d'assister les genèses instrumentales des élèves, mais de développer des significations partagées, reposant sur des formulations explicites, décontextualisées par rapport à l'utilisation de l'artefact, reconnaissables et acceptables par la communauté des mathématiciens.

Comme Sensevy le met en évidence (Chap. 8), l'étude des *intentions didactiques* du professeur est cruciale pour la compréhension de son activité didactique. Pour décrire ces intentions, il propose un cadre articulant plusieurs dimensions. Deux d'entre elles semblent spécialement pertinentes pour notre étude : l'existence d'un lien entre intentions et ressources, et la possibilité de décrire les intentions à différents niveaux de granularité, en distinguant en particulier *intentions préalables* et *intentions en action*. On retrouve les premières dans le fait que l'analyse du potentiel sémiotique d'un artefact influence les intentions didactiques de l'enseignant. Quant aux intentions en action, nous verrons que l'activité du professeur ne peut être conçue complètement *a priori*. L'orchestration d'une discussion de classe suppose de prendre à chaud un grand nombre de décisions révélant les intentions didactiques *en action*, qui découlent d'une combinaison entre les intentions didactiques *préalables* et le développement courant de la discussion.

5.5 La notion de schème et l'approche instrumentale

L'*approche instrumentale* (Rabardel 1995 ; Trouche 2005 ; Gueudet & Trouche Chap. 3) permet d'articuler l'usage de l'artefact avec les tâches dans lesquelles il intervient. Elle distingue *artefact* et *instrument* : un artefact est un objet *in se*, symbolique ou matériel, conçu pour répondre à un besoin spécifique, alors qu'un instrument réfère à une entité mixte faite de composants type artefacts et de

composants cognitifs que nous appelons *schèmes d'utilisation*. Cette entité mixte est « le produit à la fois du sujet et de l'objet » (Rabardel & Samurçay 2001).

Vergnaud (1990, p. 159) redéfinit la notion piagétienne originale de schème, en le caractérisant comme une organisation invariante de l'activité pour une classe de situations², une « une totalité organisée, qui permet de générer une classe de conduites différentes en fonction des caractéristiques particulières de chacune des situations de la classe à laquelle il s'adresse », composée d'invariants opératoires, des anticipations du but à atteindre, de règles d'action et d'inférences. Les invariants opératoires ont un rôle éminent : composés des connaissances implicites qui structurent le schème tout entier, ils pilotent l'identification de la situation et de ses aspects pertinents, permettent de sélectionner les buts appropriés et d'inférer les règles générant les actions appropriées pour atteindre ces buts. Dans une perspective instrumentale, nous pouvons dire que l'enseignant développe, à partir d'un artefact, un instrument pour accomplir une tâche de médiation, i.e. un *instrument de médiation sémiotique*. Nous allons désormais préciser cela à travers des exemples, que nous avons collectés à travers un grand nombre d'expérimentation. Cette procédure soulève une question méthodologique cruciale : comment les schèmes, et, en particulier, les schèmes d'utilisation d'un artefact, peuvent être inférés de l'observation ? L'idée directrice est de rechercher des régularités dans le comportement d'un individu à travers un ensemble de situations : Bourmaud (2006, p.41), après Zanarelli (2003), soutient la nécessité de prendre en compte :

- « - des régularités de séquences d'activité ;
- l'existence de choix entre plusieurs possibilités ;
- la transformation de la situation, à savoir les effets de l'activité sur la situation ;
- l'opérationnalité, c'est-à-dire la performance de l'activité. »

Dès lors que l'on veut prendre en compte des artefacts, l'analyse, selon Bourmaud (op.cit. p.41), doit aussi considérer :

- « - les classes de situations dans lesquelles sont utilisés ces artefacts ;
- des organisations invariantes de l'activité, pour en inférer les schèmes sous-jacents ;
- des fonctions attribuées aux artefacts par les observateurs, par une approche fonctionnelle ;
- l'objet sur lequel l'artefact permet d'effectuer des modifications. »

Dans nos analyses, nous tentons, autant que faire se peut, d'explicitier ces différentes dimensions.

5.6 L'expérimentation

Nos exemples sont issus d'une expérience d'enseignement de deux mois, centrée sur l'utilisation de Cabri, impliquant des classes (10^{ème} grade) françaises et italiennes, réitérée pendant trois années successives (Falcade, Laborde & Mariotti 2007 ; Falcade 2006). L'objectif didactique était l'utilisation de l'artefact Cabri, logiciel de géométrie dynamique (Laborde & Bellemain 1995), comme un outil de médiation sémiotique pour introduire les élèves à l'idée de fonction comme co-variation. La séquence d'activité fut conçue en cohérence avec la structure de cycle didactique (§ 5.3). Les productions des élèves et l'enregistrement audio des activités de classe furent collectées et analysées.

Un système riche de significations émerge de l'utilisation de logiciels de géométrie dynamique, que l'on peut mettre en relation avec le système de significations relié à la notion mathématique de fonction, par exemple :

- le mouvement obtenu à partir de l'utilisation de l'outil de déplacement constitue la principale caractéristique d'un logiciel de géométrie dynamique. On doit considérer deux types de points : les *points de base* peuvent bouger après une action directe *via* l'outil de déplacement, alors que les *points construits* ne peuvent bouger que comme conséquence du mouvement de points de base, à travers une relation établie par construction. L'utilisation de l'outil de déplacement peut donc être considérée en relation avec l'idée de fonction comme co-variation entre une variable dépendante et une variable indépendante.
- l'outil de macro permet de réaliser une construction. Dès lors qu'il est appliqué aux « éléments initiaux » requis, la macro produit les « éléments finaux » correspondants. Cela évoque clairement l'idée de fonction comme relation entre une « entrée » et une « sortie ».

Nous nous centrons ici sur la première discussion de classe de la séquence. Elle survient après une

² Dans ce chapitre, nous utilisons le terme « situation » selon Vergnaud (1990, p.151), pour qui « toute situation peut être ramenée à une combinaison de relations de base avec des données connues et des inconnues, lesquelles correspondent à autant de questions possibles. ». Il compare aussi cette définition avec celle de Brousseau (1997).

activité avec Cabri, dédiée à l'exploration des effets d'une macro. Dans la séance précédente on avait demandé aux élèves, travaillant par binômes, d'appliquer à trois points donnés (A, B et P) une macro inconnue engendrant un quatrième point (H). Ils devaient ensuite explorer systématiquement les effets du déplacement d'un point et produire une description commune du mouvement des autres points. L'objectif de la discussion est d'introduire la notion de variation et de co-variation et de proposer une formulation partagée, dans des cadres géométriques, de la définition d'une fonction comme co-variation.

5.7 Schèmes d'utilisation d'un artefact pour l'orchestration d'une discussion de classe : soutenir l'émergence de signes personnels

Nous pouvons maintenant décrire des schèmes d'utilisation possibles, que le professeur devrait développer pour construire un instrument de médiation sémiotique. Ces schèmes sont identifiés à partir de l'observation de plusieurs exemples d'usages effectifs de l'artefact.

Nous considérons plusieurs classes de situations, liées à *la famille d'activité* des discussions de classe. Comme Bourmaud (2006, p.40), nous désignons par *famille d'activité* un « ensemble de classes de situations qui correspondent à un même type de finalité générale de l'action ». L'objectif général de la discussion de classe est de soutenir à la fois l'émergence de signes personnels pour les élèves et leur évolution vers les signes mathématiques visés. Cette évolution requiert un engagement actif des élèves : il ne suffit pas que le professeur explicite la connaissance mathématique visée et la relie à la solution des exercices. L'élément crucial est de relier les significations partagées émergent de l'expérience personnelle et les significations mathématiques qui, par nature, sont culturellement établies. Le processus sémiotique qui prend place dans une discussion de classe est au cœur du processus de médiation sémiotique : il implique le professeur et les élèves, l'usage de l'artefact et les mathématiques. On peut identifier dans une discussion de classe deux types d'objectifs distincts : la construction conjointe de signes partagés, et l'évolution de ces signes vers des signes mathématiques. L'analyse des schèmes d'utilisation du professeur est articulée selon ces deux objectifs.

La description des schèmes est faite en termes de classes de situations, d'ensembles d'objectifs, et de systèmes d'invariants opératoires, qui permettent de saisir l'essence du schème : « c'est le concept d'invariant opératoire qui permet de faire le lien entre la forme opératoire et la forme prédicative de la connaissance, justement parce qu'il s'agit de la composante épistémique du schème, celle qui soutient en dernier ressort l'organisation de l'activité » (Vergnaud 2005, p. 129). Comme le souligne Lagrange (1999, p.58) : « les schèmes étant des élaborations mentales adaptatives, ils ne peuvent pas être décrits sous une forme entièrement rationnelle ». Cependant on ne peut éviter de décrire les différents éléments d'un schème en recourant aux catégories de la connaissance explicite (Vergnaud 1990, p. 145). Ainsi, le risque existe d'entraîner, par cette formulation explicite, des répétitions et des redondances qui ne rendent pas compte des différentes fonctions cognitives et surchargent l'analyse.

Considérons d'abord l'objectif de soutenir l'émergence de signes personnels issus de l'expérience commune avec l'artefact. Deux schèmes d'utilisation peuvent être liés à cet objectif : le schème de « retour sur la tâche » et le schème de « focalisation ».

5.7.1 Le schème de « retour sur la tâche »

Dans une discussion de classe, le moment où commence la production de signes par les élèves est crucial, cette production doit être provoquée par l'intervention du professeur. Nous nommons **S1** la classe de situations caractérisée par la nécessité de démarrer, ou relancer (par exemple, lorsque les contributions des élèves se tarissent) la production de signes liés à l'activité avec l'artefact. Ces situations demandent une intervention explicite du professeur, dont les actions peuvent viser trois objectifs articulés :

- **Ob_1a** : provoquer la production, par les élèves, de signes liés à l'emploi effectif de l'artefact ;
- **Ob_1b** : construire un contexte partagé, lié à l'usage de l'artefact, pour ces signes ;
- **Ob_1c** : obtenir des élèves le plus grand nombre possible de contributions.

Les actions du professeur visent souvent tous ces objectifs simultanément, même si l'un d'eux peut être prééminent, en voici un premier exemple.

Extrait 1

12) Professeur : Bon, alors... voyons si, en revenant sur ce que nous avons fait, *nous pouvons trouver notre idée de ce qu'est une fonction...* alors.. qu'avez-vous fait ? Vous me le dites, et je fais pareil [le professeur est prêt à manipuler l'ordinateur] qui peut me dire ?

13) BA : Je vais vous dire... alors, nous avons dessiné des points A, B et P n'importe où et ensuite nous avons appliqué la macro construction aux points A, B et P dans cet ordre et nous avons obtenu un autre point que nous avons appelé H [pendant ce temps, le professeur fait la construction sur l'ordinateur, dont l'écran est projeté pour la classe entière].

Au début de la discussion, le professeur invite les élèves à revenir sur ce qu'ils ont fait et déclare explicitement ce qui doit être considéré comme le but didactique commun de l'activité : développer une idée partagée de fonction (12). Pour faire cela, il leur demande de rappeler la tâche rencontrée à la séance précédente et de décrire de quelle manière ils l'ont accomplie. Le professeur, grâce à un vidéoprojecteur disponible dans la classe, effectue pour toute la classe, la construction décrite par BA. Tout en gardant les mêmes objectifs, le professeur peut utiliser l'artefact encore plus indirectement : par exemple en référant explicitement aux textes écrits produits par les élèves après le travail avec l'artefact. Dans tous les cas, nous pouvons noter que le professeur « utilise l'artefact » pour accomplir ses tâches didactiques : soutenir la production d'un contexte social de signes liés à l'usage de l'artefact et construire un contexte commun pour développer des significations partagées pour ces signes.

Comme nous l'avons signalé, la nécessité d'amener la production de signes peut advenir à différents moments. L'extrait suivant montre ainsi une intervention ultérieure du professeur, visant toujours à diriger la discussion vers un retour sur la tâche.

Extrait 2

21) Professeur : oui, parce que maintenant vous avez été conduits à découvrir cette construction... Pourquoi ? Qu'est-ce qu'on avait dit ? Je veux dire, *qu'est-ce qui vous était demandé ?*

22) BA : Nous devons dire... d'abord si nous bougions le point A, quels étaient les points qui bougeaient ou qui ne bougeaient pas...

Ces interventions ne sont qu'en partie prévues à l'avance ; elles sont, la plupart du temps, des réactions aux comportements des élèves. Le professeur a recours à ce type d'interventions lorsqu'il ressent le besoin de revenir à l'expérience vécue en contexte avec l'artefact. Même si elles semblent redondantes, leur caractère répétitif sert à construire un riche réseau de significations reliées à un signe spécifique (dans ce cas, par exemple, les expressions utilisant « point » et « déplacer »), et à accroître la participation des élèves pour une construction partagée de significations.

Les extraits ci-dessus illustrent différentes instances d'un même schème. Face au même type de situation (S1), le professeur identifie et retient le même type d'objectif (Ob1 et ses différentes composantes) et « utilise l'artefact » de manière cohérente : il demande aux élèves de revenir sur la tâche et d'expliquer comment ils ont utilisé l'artefact pour l'accomplir. Par cette demande, le professeur accompagne la reconstruction du contexte de la tâche et de l'usage de l'artefact dans ce contexte. L'observation de ces régularités dans l'organisation de l'activité du professeur nous conduit à inférer l'existence d'une classe d'invariants opératoires qui la pilotent, en particulier :

- **InvOp_1a** : des signes liés à l'emploi effectif de l'artefact peuvent émerger à la suite d'une demande explicite de description de l'activité avec l'artefact (en se référant à l'expérience commune de la classe) ;

- **InvOp_1b** : une demande explicite de description de l'activité avec l'artefact (se référant à l'expérience partagée en classe) contribue à la re-construction d'un contexte commun partagé ;

- **InvOp_1c** : l'effort de communication commun soutient la production de signes partagés.

5.7.2 Le schème de « focalisation »

Une intervention productive du type *retour sur la tâche* peut amener un grand nombre de contributions, certaines inappropriées. Ceci amène une deuxième classe de situations, **S2** : lorsque la discussion a amené l'émergence et la mise en partage d'un riche réseau de signes liés à l'usage de l'artefact, il faut alors sélectionner les aspects pertinents de leurs significations partagées, du point de vue du développement des signes mathématiques qui constituent l'objectif d'enseignement visé. Les actions du professeur visent alors les objectifs suivants :

- **Ob_2a** : souligner les signes spécifiques (partagés) produits jusque là ;

- **Ob_2b** : sélectionner des aspects pertinents des significations de ces signes ;

- **Ob_2c** : circonscrire la référence à certains signes à des aspects spécifiques de l'usage de l'artefact ;

- **Ob_2d** : attirer l'attention des élèves sur ces aspects-clés.

L'extrait suivant montre le professeur dans une situation de ce type, résultant précisément d'une intervention du type *retour sur la tâche* (12, extrait 1). Le professeur attire l'attention des élèves sur « l'effet 1 » de la macro et leur demande de proposer une interprétation de cette macro (14).

Extrait 3

14) Professeur : OK, arrêtons nous là... il y a quelque chose... je veux dire si je dois voir cet effet 1... *Qu'est ce qu'est l'effet 1 de la macro, selon vous ?*

15) BA : je veux dire, c'est la construction qui... *il y a une construction cachée derrière qui nous permet de dessiner le point H en partant des points A,B et P.*

16) Professeur : l'effet 1 intègre, en la dissimulant, une construction que vous avez découverte... et que fait cette construction ?

17) BA : elle construit un point, elle construit le point H... parce que nous avons...

18) Professeur : *elle construit le point H en partant ?*

19) Les élèves : *Des trois points.*

En se référant à la construction cachée (15), BA explique les caractéristiques du fonctionnement d'une macro, induisant une relation de dépendance entre des éléments initiaux et des éléments finaux. Le professeur reformule partiellement l'explication et pousse les élèves à exprimer ce que fait la construction, jusqu'à ce que les éléments centraux deviennent clairs pour tous - « elle construit le point H à partir des trois points ». L'intervention du professeur initie le processus qui permet de (a) partager des aspects-clés des signes liés à l'usage de l'artefact et (b) attirer l'attention des élèves sur ces aspects ; de plus il alimente en continu ce processus en reprenant les contributions des élèves (16 et 18).

L'extrait suivant (qui inclut l'extrait 2) se situe immédiatement après le précédent. Après une intervention de *retour sur la tâche* (21), le professeur demande aux élèves de rappeler comment ils ont fait, en utilisant l'outil de déplacement, l'expérience de la dépendance du mouvement d'un point à celui d'un autre point.

Extrait 4

21) Professeur : oui, parce que maintenant vous avez été conduits à découvrir cette construction... Pourquoi ? Qu'est-ce qu'on avait dit ? Je veux dire, *qu'est-ce qui vous était demandé ?*

22) BA : nous devons dire... d'abord si nous bougions le point A, quels étaient les points qui bougeaient ou qui ne bougeaient pas...

23) Professeur : OK, alors... par exemple, *en bougeant P, je vois que seulement H bouge et pas seulement... Je vois aussi que quoi bouge... ?*

Le professeur veut attirer l'attention des élèves sur les aspects de leur expérience pertinents pour le développement des significations mathématiques qu'il vise. Il intervient donc pour que les élèves soient attentifs aux aspects clés de cette expérience. Il limite donc le champ sémantique des signes spécifiques et isole les aspects qui sont pertinents pour le développement des signes mathématiques. Dans une situation S2, pour accomplir les objectifs Ob2, le professeur « utilise l'artefact » pour *focaliser* l'attention des élèves sur certains aspects de leur propre utilisation de l'artefact.

Les extraits ci-dessus peuvent donner une idée des actions que le professeur réalise pour attirer l'attention des élèves sur des éléments spécifiques de leur expérience. Ces actions ne comportent pas que du discours : des gestes, ou des changements dans le ton de la voix sont souvent observés, montrant l'intention de focalisation.

A partir de l'observation de ces régularités, on peut supposer la présence des invariants opératoires suivants :

- **InvOp_2a** : il est possible de diriger l'attention des élèves vers des aspects spécifiques de l'utilisation de l'artefact, par des formes spécifiques de discours ;

- **InvOp_2b** : Se centrer sur des aspects spécifiques de l'utilisation de l'artefact aide à circonscrire la signification de signes spécifiques ;

- **InvOp_2c** : dans un contexte social, l'effort d'explicitation d'aspects clés des signes partagés (par des formes spécifiques de discours) aide les élèves à prendre conscience de ces éléments et de la possibilité de les isoler parmi une multiplicité d'autres aspects.

Les deux schèmes (*retour sur la tâche* et *focalisation*) sont complémentaires, en interaction : l'un est orienté vers l'enrichissement du champ sémantique en référence à l'utilisation de l'artefact, alors que l'autre est orienté vers la sélection des aspects pertinents.

5.8 Schèmes d'utilisation d'un artefact pour l'orchestration d'une discussion de classe : vers des signes mathématiques

La mobilisation répétée de chacun des deux schèmes décrits ci-dessus peut amener à la construction de signes stables et partagés, qui d'une part sont liés à l'artefact effectif, et d'autre part retiennent les éléments clés des significations qui sont pertinents pour le développement des signes mathématiques visés. L'évolution vers les signes mathématiques requiert aussi une re-élaboration des signes produits et une décontextualisation de l'artefact et de son utilisation. Deux schèmes peuvent être engagés dans une mise en œuvre visant cette évolution.

5.8.1 Le schème de « demande d'une synthèse »

En conséquence des actions du professeur, la situation d'origine s'inscrit dans une nouvelle classe de situations, **S3**, qui correspond à un moment où la discussion a fait émerger des signes stables et partagés, concentrant les aspects clés de l'expérience commune avec l'artefact, et qu'il faut généraliser et décontextualiser. Ce processus ne peut pas se résumer seulement à remplacer des signes produits (par exemple « point mobile ») par les significations mathématiques appropriées (« variable indépendante ») : les signes doivent acquérir leur pleine signification mathématique et garder un lien avec les signes qui leur donnent une matière. Par exemple, la liberté d'un point mobile doit rester une instanciation possible de la notion de « variable indépendante ». Cette évolution prend ainsi nécessairement en compte les significations personnelles que les élèves attribuent aux signes partagés. C'est un processus sémiotique complexe qui demande au professeur d'intervenir pour :

- **Ob_3a** : soutenir la décontextualisation (le contexte étant celui de l'utilisation de l'artefact) par les élèves des significations reliées à l'utilisation de l'artefact ;
- **Ob_3b** : soutenir la généralisation (par rapport aux tâches spécifiques) par les élèves des significations reliées à l'utilisation de l'artefact ;
- **Ob_3c** : maintenir (au cours des processus de décontextualisation et de généralisation) les aspects des significations personnelles qui sont liés à l'utilisation de l'artefact mais sont identifiés comme pertinents pour viser les signes mathématiques.

Afin d'atteindre ces objectifs, le professeur encourage les élèves à synthétiser, c'est-à-dire à rendre compte d'une manière synthétique de ce qui a été fait et discuté en classe jusqu'à un moment donné.

Extrait 5

211) Professeur : *Qui voudrait synthétiser tout ce que j'ai dit ?* Mais je voudrais quelqu'un qui n'a jamais parlé... MA!

212) MA : ce que j'ai compris... ?

213) Professeur : OK, vas-y, qu'est-ce que tu as compris ?

214) MA : Je veux dire... il y a certaines choses que sont prises d'autres qui sont indépendantes... ce sont les points A, B et P, H est obtenu par une construction qui dérive de A, B et P, donc H dépend de la position...

215) Professeur : ... de la position de trois points A, B et P. *Donc la fonction... qu'est-ce que c'est [la fonction] pour toi ?*

216) MA : La fonction pour moi est... je veux dire que ça devrait être une construction qui en pratique ... est obtenue par différents moyens ... qui dérive de ...

217) Professeur : *De quels points ?*

218) MA : A, B, et P.

219) Professeur : OK

Le professeur demande explicitement une synthèse (211). MA, qui n'est pas intervenu avant, commence à clarifier son interprétation de la demande : expliciter ce qu'il a compris. Le tour de parole suivant (214) montre des traces du processus attendu de décontextualisation. MA utilise des termes génériques, tout en maintenant le lien avec le contexte de l'artefact. Le professeur suit l'élève quand il revient au contexte de l'artefact, mais relance immédiatement le processus de médiation et demande d'explicitation la signification personnelle du signe <fonction> (215). MA tente une formulation générale sans faire référence à l'artefact. Comme le lien avec l'artefact n'avait pas été coupé, il est possible d'y revenir dès que la formulation de la tâche devient trop difficile (217).

Comme le montre l'extrait 5, l'évolution des signes peut avancer par un mouvement alternatif : en s'éloignant et en se rapprochant du contexte de l'artefact ou du contexte mathématique. Des expressions comme « certaines choses » ou « dépend de » semblent jouer un rôle charnière pour l'articulation des deux contextes.

Les invariants opératoires suivants semblent fonder l'activité du professeur dans cette classe de situations.

- **InvOp_3a**: Une demande explicite de synthèse peut déclencher un processus de généralisation et de décontextualisation de significations au-delà de l'emploi effectif de l'artefact ;
- **InvOp_3b** : des synthèses peuvent aider à élaborer un environnement sémiotique partagé au sein duquel les signes mathématiques peuvent être produits et mis en relation avec les signes attachés à l'artefact ;
- **InvOp_3c** : une demande de synthèse peut aider à établir des connections entre le contexte de l'artefact et le contexte mathématique.

5.8.2 Le schème d' « apport d'une synthèse »

De manière générale, la mobilisation du schème de demande de synthèse doit contribuer au développement d'un environnement sémiotique partagé au sein duquel des signes mathématiques peuvent être produits et mis en relation avec les signes de l'artefact. Dans ce contexte, le professeur peut introduire le point de vue mathématique, et éventuellement une terminologie de référence. Nous nommons **S4** la classe de situations qui apparaît lorsque la discussion a amené à la décontextualisation et à la généralisation des significations, du contexte de l'artefact vers le contexte mathématique, et qu'il faut statuer sur l'acceptabilité et le statut d'un signe dans le contexte mathématique.

Des pas cruciaux ont déjà été accomplis en direction de l'élaboration des signes mathématiques visés, mais l'évolution ne peut pas encore être considérée comme complète. Il reste une nécessité d'explicitier le statut mathématique de certains signes, d'établir des connections explicites entre le contexte de l'artefact, les significations associées, et le contexte mathématique avec ses significations. Dans cette situation, les objectifs du professeur sont :

- **Ob_4a** : apporter une formulation mathématique qui introduit les signes mathématiques visés comme des évolutions des signes personnels qui ont émergé auparavant ;
- **Ob_4b** : de statuer sur l'acceptabilité et le statut mathématique d'un signe spécifique ;
- **Ob_4c** : de mettre en évidence le système de relations entre les significations mathématiques et les significations construites au cours de la discussion de classe.

L'exemple ci-dessous montre le professeur qui synthétise ce qui a émergé jusque là, et qui dans le même temps explique la relation entre variables indépendantes et dépendantes. Il est intéressant de noter que l'expérience avec l'artefact est toujours évoquée par le professeur.

Extrait 6

159) Professeur : Bon, alors, ce qui se passe c'est que en *général pour une fonction*, les *points dont je pars* sont appelés *variables indépendantes*, parce que je peux les bouger où je veux, tandis que ce que j'obtiens est nommé *variable dépendante*, parce que ça dépend... de quoi [est-ce que ça dépend] ?

160) MO: [ça dépend] des variables indépendantes.

Dans cet exemple d'intervention, le professeur détermine l'emploi de termes mathématiques comme « variable indépendante » et « variable dépendante ». Il explicite le lien entre les signes mathématiques et les significations qui ont émergé de l'activité avec l'artefact en s'appuyant sur des signes spécifiques au contexte de l'artefact : <les points dont je pars>, <je peux les bouger où je veux>. Il ouvre la voie pour les mathématiques. Clairement, viser les objectifs Ob4 demande au professeur une implication plus « directe » et évidente. Il a en fait la responsabilité d'amener dans le discours les éléments et le point de vue des mathématiques. Une intervention explicite doit ratifier la reconnaissance et l'acceptation, par la communauté mathématique. Ainsi, l'activité du professeur semble révéler la présence de différents invariants opératoires :

- **InvOp_4a** : Lorsque le processus de généralisation et de décontextualisation a été enclenché, il est possible d'introduire des signes mathématiques, en les reliant aux significations partagées qui ont été développées jusque-là ;
- **InvOp_4b** : Une synthèse explicite donnée par le professeur peut fournir une formulation mathématique des significations qui ont émergé ;
- **InvOp_4c** : Une orchestration de la discussion de classe reposant sur des allers-retour entre le contexte de l'artefact et le contexte mathématique peut amener le développement d'un ensemble riche de significations personnelles et de significations mathématiques.

La mobilisation des schèmes de « demande de synthèse » et d' « apport de synthèse » a une importance cruciale pour la production d'interventions du professeur visant à impliquer directement les

élèves dans des processus de généralisation et de décontextualisation, et leur donnant dans le même temps la possibilité de s'approprier les signes mathématiques qui sont introduits par le professeur.

5.9 Conclusion

Dans le cadre de la TMS, l'utilisation d'un artefact a une double nature : d'une part l'artefact est utilisé directement par les élèves pour accomplir une tâche ; d'autre part il est utilisé indirectement par le professeur pour des objectifs d'enseignement. En utilisant la terminologie de (Winslow 2003, p.275), nous pouvons dire que cet artefact spécifique peut jouer à la fois un rôle pragmatique et un rôle didactique. En ce sens, un artefact donné peut être considéré comme une *ressource* pour le professeur, c'est-à-dire un « moyen de soutenir » son action didactique. Dans ce chapitre, nous avons montré comment le professeur peut guider un processus sémiotique basé sur l'utilisation d'un artefact, en décrivant les schèmes d'utilisation susceptibles de se développer pour accompagner l'évolution des signes pendant une discussion collective. Selon l'analyse de nos données, ces schèmes se révèlent efficaces, c'est-à-dire qu'ils contribuent à assurer le développement d'un artefact en un *instrument de médiation sémiotique*.

Les schèmes décrits ici semblent ne pas être spécifiques à l'artefact ou au domaine mathématique considéré. Ceci est une conséquence du niveau de description retenu, qui est lui-même choisi dans l'objectif de présenter une analyse ayant la portée la plus générale possible. En retenant d'autres niveaux d'analyse, certains amèneraient à identifier des schèmes directement liés à l'utilisation de Cabri et aux notions en jeu.

Au-delà de l'illustration du processus de médiation sémiotique, la présentation ci-dessus vise à contribuer à un point clé concernant le processus de médiation, sémiotique en particulier. Il semble particulièrement important d'identifier d'une manière explicite les différentes formes de médiation (Kozulin 2003), afin de pouvoir les communiquer et les partager avec la communauté enseignante. Ainsi l'association d'un artefact et de schèmes de médiation sémiotique peut être considérée comme un instrument, développé à partir de ressources du professeur et qui peut se constituer en ressource pour d'autres professeurs.

L'étude du processus de développement d'un instrument de médiation sémiotique partage de nombreuses caractéristiques avec l'étude du processus de *genèse documentaire* (Gueudet & Trouche, Chap. 3). Il y a cependant des différences importantes, en tout cas au stade actuel de développement des deux approches. D'une part, dans notre analyse nous nous sommes centrés sur l'utilisation par le professeur d'un seul artefact et nous avons laissé de côté l'étude de l'utilisation d'autres ressources (les productions écrites des élèves ou d'autres artefacts) ; l'étude des genèses documentaires nous aurait demandé de prendre en compte dans la mesure du possible tout un système de ressources. D'autre part, notre analyse ne vise pas à classer ou à décrire tous les schèmes d'utilisation de l'artefact, pour le professeur : dans le cas d'un instrument de médiation sémiotique, nous retenons les schèmes qui prennent sens du point de vue de la médiation sémiotique.

Ce qui fait l'intérêt d'une telle analyse, selon nous, est le fait qu'elle fournit un modèle explicite des actions du professeur médiées par un artefact, éclairant ainsi des éléments spécifiques concernant l'orchestration de la discussion en classe, et clarifiant ce qui est attendu du professeur – ce que le celui-ci doit faire. Bien que le modèle présenté dans ce chapitre soit très spécifique, inscrit dans le cadre de la TMS, il contribue à l'étude générale des processus didactiques, centrée sur le professeur. Dans cette perspective, il est important de questionner la conscience que le professeur a de son propre rôle et particulièrement des choix qu'il doit effectuer. L'analyse et la description des actions du professeur est l'élément de départ qui permet à la recherche en éducation de contribuer à cet aspect du développement professionnel des enseignants. Notre étude vise un apport dans cette direction, d'une part en fournissant un cadre clair dans lequel l'utilisation de l'artefact comme ressource didactique peut être décrite, et d'autre part en proposant une description de schèmes d'utilisation efficaces qui pourraient être développés pour exploiter cette ressource en classe.

Références

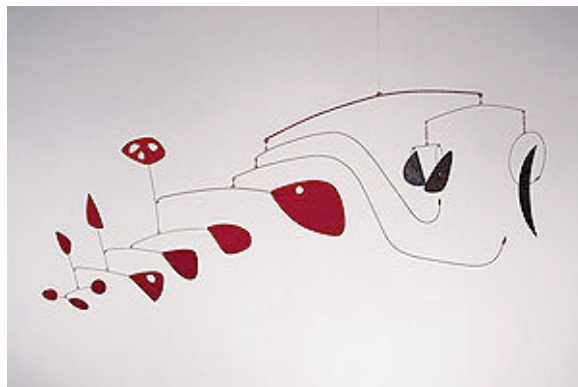
- Arzarello, F. (2006). *Semiosis as a multimodal process*, *Relime* Vo1 Especial, 267-299.
- Bartolini Bussi, M. G. (1998). Verbal interaction in mathematics classroom: A Vygotskian analysis. In H. Steinbring, M. G. Bartolini Bussi, & A. Sierpinska (Eds.), *Language and communication in mathematics classroom* (pp. 65–84). Reston, VA : NCTM.

- Bartolini Bussi M. G., Mariotti M. A. (2008). Semiotic Mediation in the Mathematics Classroom: Artefacts and Signs after a Vygotskian Perspective, In L. English *et al.* (Eds.), *Handbook of International Research in Mathematics Education*, LEA.
- Borba, M. C., Villarreal, M. E. (2005). *Humans-with-media and the reorganization of mathematical thinking: Information and communication technologies, modeling, visualization and experimentation*. New York: Springer.
- Bourmaud, G. (2006). *Les systèmes d'instruments : méthodes d'analyse et perspectives de conception*. Thèse de Doctorat de Psychologie Ergonomique, Université Paris VIII Saint-Denis.
- Brousseau, G. (1997). *Theory of Didactical Situations in Mathematics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Burns, R. B., Anderson, L. W. (1987). The activity structure of lesson segments. *Curriculum Inquiry*, 17(1), 31-53.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P. & van Gisbergen, S. (2009). Instrumental orchestration: theory and practice. *Intervention at CERME 6, Lyon, France, 2009*.
- Falcade, R. (2006). *Théorie des Situations, médiation sémiotique et discussions collective, dans des séquences d'enseignement avec Cabri- Géomètre pour la construction des notions de fonction et graphe de fonction*. Grenoble : Université J. Fourier, Unpublished doctoral dissertation.
- Falcade, R., Laborde, C., & Mariotti, M.A. (2007). Approaching functions: Cabri tools as instruments of semiotic mediation. *Educational Studies in Mathematics*, 66(3), 317-333.
- Hoyles, C. (1993). Microworlds/schoolworlds: The transformation of an innovation, in C. Keitel & K. Ruthven *Learning from computers: Mathematics Education and Technology* (NATO ASI Series F, vol.12). Berlin: Springer-Verlag. 1-17.
- Kozulin, A. (2003). Psychological tools and mediated learning. In A. Kozulin, B. Gindis, V.S. Ageyev, & S.M. Miller (Eds.), *Vygotsky's Educational Theory in Cultural Context*. Cambridge University Press. 15-38
- Laborde J.-M., Bellemain, F. (1995). *Cabri-géomètre II* and *Cabri-géomètre II plus* [computer program]. Dallas, USA: Texas Instruments and Grenoble, France: Cabrilog.
- Lagrange J.-B. (1999). Complex calculators in the classroom: theoretical and practical reflections on teaching pre-calculus. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 4(1), 51-81.
- Leont'ev, A.N. (1976, orig. ed. 1964). *Problemi dello sviluppo psichico*, Roma: Editori Riuniti and Mir.
- Meira, L. (1995). Mediation by Tools in the Mathematics Classroom. In L. Meira & D. Carraher (Eds.), *Proceedings of the 19th PME*. Recife, Brazil. Vol I, 102-111.
- Noss, R., & Hoyles, C. (1996). *Windows on mathematical meanings: learning cultures and computers*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies - Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Rabardel, P., Samurçay, R. (2001). From Artefact to Instrumented-Mediated Learning. *New Challenges to Research on Learning: An international symposium organized by the Center for Activity Theory and Developmental Work Research, University of Helsinki, March 21-23*.
- Radford, L. (2003). Gestures, Speech, and the Sprouting of Signs: A Semiotic-Cultural Approach to Students' Types of Generalization, *Mathematical Thinking and Learning*, 5(1), 37-70.
- Trouche, L. (2005). An instrumental approach to mathematics learning in symbolic calculator environments. In D. Guin, K. Ruthven, & L. Trouche (Eds.) *The Didactical Challenge of Symbolic Calculators Turning a Computational Device into a Mathematical Instrument*, Springer, 137-162.
- Vergnaud, G. (1990). La Théorie des champs Conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10 (2.3), 133-170.
- Vergnaud, G. (2005). Repères pour une théorie psychologique de la connaissance. In A. Mercier & C. Margolinas (dir.) *Balises pour la didactique des mathématiques*. La Pensée Sauvage Editions, 123-136.
- Vygotsky, L.S. (1978). Mind in Society. *The Development of Higher Psychological Processes*, Harvard: University Press.
- Winsløw, C. (2003). Semiotic and discursive variables in CAS-Based didactical engineering, *Educational Studies in Mathematics*, 52 (1), 271-288.

Zanarelli, C. (2003). *Caractérisation des stratégies instrumentales de gestion d'environnements dynamiques : analyse de l'activité de régulation du métro*. Thèse de Doctorat de Psychologie Ergonomique Université Paris 8.

Partie 2

Ressources des professeurs, dimensions collectives



Chap. 6 - Produire l'enseignement: entre individuel et collectif

Carl Winsløw

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord un modèle théorique qui permet de situer, par rapport aux objets « usuels » de recherche de la didactique, deux dynamiques clés dans le travail du professeur :

- entre travail avec des élèves (« en classe ») et hors classe (sans élèves),
- entre modalités collectives (avec des collègues) et individuelles (sans collègues).

Cela nous conduira à revenir aux fondements de la didactique afin de préciser ses objets théoriques.

Ensuite nous examinons deux cas dont l'intérêt relève en partie de l'organisation de ces deux dynamiques : l'étude collective d'une leçon au Japon, et l'encadrement de projets pluridisciplinaires dans la dernière année du lycée danois. Enfin, nous examinons les causes possibles des différences observées, et notre modèle théorique nous permet d'articuler des hypothèses qui vont bien au-delà des particularités culturelles des deux contextes.

6.1 Systèmes épistémiques : le modèle GOA

Il est banal d'affirmer que toute recherche porte sur quelque chose, l'*objet de recherche*. Pour un domaine de recherche empirique comme la didactique, les objets existent déjà d'une certaine manière, mais ne sont toutefois accessibles pour la recherche qu'au travers de *modèles* plus ou moins explicites, qui ne nous aident pas seulement à dégager, de la réalité, des éléments d'une pertinence particulière, mais aussi, en quelque sorte, à réduire et à reconstruire cette réalité en tant qu'objet susceptible d'être traité de façon systématique. Pour structurer la présentation du cadre qui nous servira à modéliser le travail « hors classe » des enseignants *en continuité avec* les phénomènes plus classiques de la didactique, quelques remarques préalables sur la modélisation scientifique seront utiles.

Les modèles ne sont pas simplement une « langue professionnelle » qui sert à décrire avec précision les objets et leurs propriétés. Nous considérons que toute modélisation implique au moins trois éléments :

(1) *L'identification des objets et de propriétés principales* du domaine d'observation qui sont censés être reconnus par la sémantique « établie » de l'usage usuel des langues naturelles (*notions premières*). Par exemple, en didactique, on peut vouloir supposer un sens commun pour des notions comme « garçon âgé de 7 ans », « parler », « question », « méthode », « pratique », « situation » etc., même si on va ensuite en préciser quelques-unes ; bref, il s'agit de faire état des hypothèses ontologiques minimales du modèle ;

(2) A partir de ces notions, des *définitions plus ou moins explicites, voire précises, de notions théoriques* (qui, parfois, peuvent considérablement modifier les notions premières), qui servent aussi à formuler les *relations mutuelles entre objets et propriétés* (souvent, c'est cette mise en relation qui apporte un sens théorique aux notions premières). On y fait normalement référence explicite à des théorisations antérieures. La précision de notions, à ce niveau, va d'ailleurs souvent au-delà de représentations en langue naturelle, pour introduire par exemple un usage de langues formelles ou diagrammatiques (la modélisation mathématique étant un exemple évident pour les objets mesurables, spatiaux, etc.).

(3) *La constitution d'une problématique*, à savoir un ensemble de *questions* paradigmatiques de recherche (formulées dans les termes des notions théoriques et de leurs relations), ainsi que de *méthodes* plus ou moins explicites qui permettent d'articuler l'observation empirique avec ces questions (Radford 2008, p. 320).

Souvent, on ne distingue pas de façon explicite (1) et (2), les définitions de notions théoriques restant seules explicites, et donc une partie du modèle reste implicite : l'exclusion d'objets « naturels » constitue en effet une *réduction* et une *idéalisations* de la réalité à étudier. La modélisation implique toujours une telle délimitation, mais elle n'est en rien innocente et doit être contrôlée.

Il va de soi que nous nous référons explicitement à la didactique dans son état actuel dès l'étape (2), notamment pour des modélisations plus spécifiques des objets que nous retenons (voir aussi Winsløw, à paraître).

6.1.1 Les notions premières

Que sont les objets de recherche en didactique ? Partons du constat que l'enseignement suppose un sujet, l'*enseignant*, et deux objets possibles du verbe enseigner : ceux qui sont enseignés (les *élèves*), et ce qui est enseigné. Les élèves et l'enseignant, qu'ils soient facilement distinguables les uns des

autres ou non, apparaissent en fait, au premier regard, comme des objets évidents de notre étude. Nous les avons donc comme premiers objets observables. On s'aperçoit également tout de suite que ceux-ci n'agissent pas « dans le vide », mais qu'ils utilisent un certain nombre d'objets matériels, également observables, que nous désignons librement de leurs noms usuels (salles de classes, tableaux, calculatrices, stylos, inscriptions...). Enfin, nous avons besoin d'une catégorie d'objets non-observables pour parler de la finalité et en quelque sorte du sens de l'interaction entre les observables déjà signalés, et en particulier des interactions avec « l'enseigné », désignant ce qui est enseigné. Dans la langue usuelle, on parle tantôt de *savoir*, *connaissances*, *compétences* etc.

6.1.2 Les notions théoriques

Nous retenons donc trois classes de notions premières : les *sujets humains*, enseignants ou enseignés ; des *artefacts* ; et un *savoir* qui s'observe à travers la relation des sujets à, et à travers, les artefacts. Avec ces éléments, nous allons maintenant proposer une modélisation théorique de nos objets.

Les sujets humains forment des *ensembles d'humains* (en général des sous-ensembles non vides de l'humanité) dont les membres sont situés les uns par rapport aux autres par des *rôles* (relations dans l'ensemble) et qui sont, chacun, dotés de connaissances, de convictions etc. par rapport aux savoirs en question. Par exemple, nous avons nommé les rôles possibles de professeur et d'élève, qui sont bien sûr supposés avoir des connaissances systématiquement différentes par rapport au savoir enseigné. On se servira librement de raccourcis symboliques comme *G* pour le groupe d'humains observé, *P* pour le sous-groupe de professeurs, etc.

Les artefacts à leur tour sont considérés comme un ensemble *A* d'objets matériels (non humains) que nous observons dans les usages de *G* et qui entrent comme un objet distinct de *G* dans notre modèle. On utilise en général les désignations courantes pour nommer les éléments de *A*. Les relations entre *G* et *A* sont en partie observables aussi, dans une situation donnée (qui écrit au tableau, etc.) – d'autres demandent une interprétation (qui a le droit d'écrire au tableau).

Le « savoir » est un objet d'intérêt particulier pour les théories didactiques (surtout pour celles d'origine francophone). Dans le langage commun, on parle bien sûr des « mathématiques » avec une grande familiarité, mais, dès les débuts des recherches en didactique, les chercheurs ont reconnu l'importance de se méfier de notions premières à cet égard, qui dissimulent parfois des simplifications assez grossières. En fait, cette conscience de la nécessité de vigilance épistémologique compte parmi les caractéristiques fondamentales de la didactique (Brousseau 1986, Artigue 1990) et notamment de la théorie de la transposition didactique (Chevallard 1991). Une théorie particulièrement développée pour l'analyse du lien entre pratiques et savoirs est celle des *organisations praxéologiques* (voir Chap. 2) ; un point principal y est de bien distinguer, et en même temps d'articuler :

- le « savoir-faire » (la connaissance pratique) i.e. la capacité d'un individu de s'acquitter d'un certain *type de tâche* par une *technique* plus ou moins commune pour les membres de *G* ;
- le « savoir explicité » (par des signes) qui peut servir à expliquer et justifier les techniques, notamment d'un point de vue théorique, mais qui n'est pas en soi nécessaire à leur pratique.

Le mot « organisation » reflète le fait que ces deux côtés du savoir sont *structurés* (les tâches se décomposent en sous-tâches ; les théories servent à unifier les explications ; etc.). Nous désignerons par le symbole *O* ces organisations.

L'étude de phénomènes didactiques en général a donc, pour objet, un triplet (*G*, *O*, *A*) que nous appelons *système épistémique* (SE), avec des relations internes de $G \cup O \cup A$ qui sont spécifiées selon le cadre théorique adopté (pour quatre exemples concrets, voir Winsløw 2009). Ses trois composants sont reliés entre eux au moins par les faits suivants :

- la finalité du système est la pratique (usage, acquisition, production...) de *O* par *G* ;
- *A* contient des éléments pertinents pour les pratiques de *G* relevant de *O*, y compris pour l'observer et pour l'interpréter ; *A* sert en particulier comme *médiation* entre *G* et *O* (nécessaire pour la pratique et la communication de *G* relevant de *O*) ;
- l'articulation de *A* et *O* est *construite dans le temps* par la pratique de *G* (exemples en fig. 2 et 4).

Dans le présent ouvrage, le dernier point est particulièrement important ; des aspects particuliers en sont modélisés par les théories de *sémiosis humaine* (Duval 1995), de *genèses instrumentales* (Trouche 2004) et de *genèses documentaires* (Chap. 3 et 7), avec bien sûr, dans les trois cas, des théorisations particulières pour *A* et *O* (par exemple, plutôt « cognitives » en ce qui concerne *O*). Plus particulièrement, la notion de *ressources* (au sens du Chap.1, repris en Chap. 3) peut être interprétée comme un type de *relations* entre une partie G_0 de *G* et des éléments du reste du système (membres

de G , artefacts et savoirs) constitué par la fonction que ces éléments ont dans l'activité de G_0 , par exemple en tant que source d'inspiration pour l'enseignement d'un groupe G_0 d'enseignants.

Le modèle GOA – qui est donc ouvert à des choix théoriques différents pour ses composants – est en même temps une solution minimale et maximale pour faire état des objets de la didactique : nous avons vu en 6.1.1 que les trois types d'objets sont bien indispensables pour étudier le phénomène « enseignement ». Mais c'est aussi un modèle qui recouvre tout le terrain rendu nécessaire par notre problématique spécifique, et bien plus. La portée du modèle se voit à travers quelques cas particuliers :

- un *système didactique* $SD = (G, O_D, A)$, où O_D est appelé organisation didactique (pour une théorie possible de celles-ci, voir Bosch et Gascon 2002, p. 31-33), et $G = P \cup E$ avec P un ensemble d'enseignants et E un ensemble d'élèves ;

- un *système professoral* $SP = (P, O, A)$, où P est un ensemble de professeurs (parfois aussi des enseignants-chercheurs) occupés à construire ou à étudier O_D ;

- plus généralement, un *système professionnel* (G, O, A) où O est une organisation de pratique et de savoir définie par des tâches relevant d'une profession ;

- un *système d'école* comportant toutes les praxéologies, personnes et artefacts présents dans une institution scolaire donnée (et donc ayant pour sous-systèmes les SD et les SP) ;

- un *système noosphérique* constitué par les acteurs, les organisations et les artefacts impliqués dans la définition des contraintes extérieures pesant sur un système d'école (Chap. 2 et Chevallard, 1991).

En fait, le modèle GOA vaut pour toute situation où des savoirs sont communiqués, mobilisés ou créés par un groupe de personnes se servant d'artefacts. Selon les spécificités de la situation, un ou plusieurs cadres théoriques peuvent être utilisés pour analyser les relations pertinentes sur $G \cup O \cup A$. Si l'on s'intéresse aux interactions entre plusieurs systèmes, comme on le fera ici, il faut bien sûr faire des choix compatibles.

6.1.3 Problématique

Le but de ce chapitre est de *modéliser l'interaction, dans le temps, entre SP et SD, en considérant le premier comme un lieu de « production » (conception, préparation, réalisation) et d'« évaluation » du dernier* ; et d'en étudier deux cas (voir §§ 6.2-6.3). Nous nous intéressons en particulier aux SP collectifs (c'est-à-dire avec le nombre d'éléments de P strictement supérieur à 1) ; dans les deux cas, de tels systèmes sont encouragés et même requis par les systèmes noosphériques. Les différences que nous observons entre les deux cas peuvent alors s'articuler par le caractère de l'interaction entre O_P, A_P (du SP collectif) et O_D, A_D (du système didactique correspondant). G

Considérant plus concrètement un $SP = (G_P, O_P, A_P)$ et un $SD = (G_D, O_D, A_D)$, nous avons, pour l'enseignement ordinaire d'un professeur p pour sa classe $C = \{e_1, \dots, e_n\}$: $G_P = \{p\}$ et $G_D = \{p, e_1, \dots, e_n\}$. La production du SD, et notamment de (O_D, A_D) , est la tâche principale de l' O_P . Le SP précède, en partie, le SD dans le temps, dans la mesure où le SD suppose que P a un projet d'enseignement plus ou moins précis. Bien sûr, pour des aspects plus locaux, le SD se construit « en route » aussi bien par les actions de C que par les décisions de P sur place (voir aussi Chap. 15). Dans un certain sens, le SP n'est donc jamais tout à fait disjoint, dans le temps, du SD.

Ceci dit, pour mieux comprendre l'interaction entre SP et SD correspondants, il ne suffit pas, bien sûr, d'observer (G_P, A_P) et (G_D, A_D) « en classe », mais il faut aussi observer (G_P, A_P) « hors classe ». Pour les SP, il s'agit de la mise en relation par G_P de textes et d'outils (A_P) avec un projet d'enseignement et des pratiques et savoirs professoraux correspondants (O_P). On retrouve dans SD non pas seulement G_P (ou une partie de G_P), mais aussi une partie de A_P , par exemple sous forme de fiches de travail pour les élèves. Pour étudier l'articulation entre O_P et O_D , nous passons donc, en partie, par les relations O_P-A_P, A_P-A_D et A_D-O_D . Dans la fig. 1, nous illustrons sommairement ces phénomènes d'interaction.

Le développement, dans le temps, d'un système épistémique peut être, dans un premier temps, décrit à travers les *phases* majeures de son évolution. Pour ce qui est des systèmes didactiques, différents outils permettent de distinguer de telles phases, aussi bien venant de modélisations théoriques (Brousseau 1986, §3, et Chevallard 1999, pp. 249-255) que d'analyses plus *ad hoc*, et donc plus liées aux contextes culturels étudiés (par exemple Stigler et Hiebert 1999, pp. 76-83). Pour l'interaction entre SP et SD (et notamment la production du SD par le SP), on est encore loin de modèles ou d'observations dotés de précision comparable. Nous avons par contre des études nombreuses de cas de SP à un seul professeur (par exemple Chap.13), ou de SP collectifs « virtuels », dans le cadre

d'une plateforme sur Internet (par exemple Chap. 7, sec. 3), où le lien à des SD « semblables » est parfois explicite, bien que ces SD ne soient pas en eux-mêmes partagés.

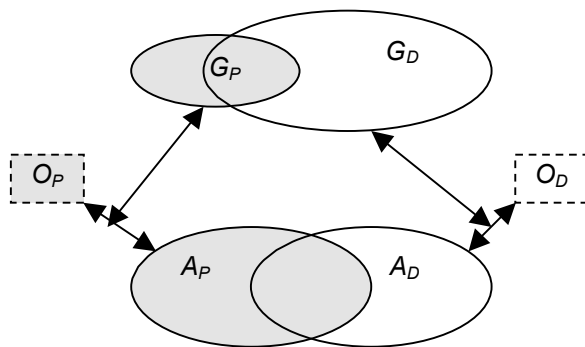


Figure. 1 L'interaction entre SP et SD (simultanées ou non) comme une double mise en relation d'artefacts et organisations praxéologiques, avec comme observables G_P , A_P , G_D , et A_D .

6.2 Premier cas : « étude à l'intérieur de l'école » (Japon)

Dans cette section, nous allons analyser une forme d'interaction entre SP et SD qui est tout à fait commune au Japon, et qui a fait l'objet de recherches internationales depuis 1990 environ.

6.2.1 Étude à l'intérieur de l'école

La pratique japonaise de *konaikenshu*, « étude à l'intérieur de l'école » (abrégée ici en EIE), est déjà bien documentée dans la littérature de recherche internationale (par exemple Fernandez & Yoshida 2004). Elle affecte tout le système scolaire au Japon, et la participation dans les EIE est considérée comme partie intégrante du travail d'un professeur. Elle est donc une forme particulière de SP.

Concrètement, une EIE est un travail de recherche et d'étude fait par un groupe G_P de professeurs (en japonais, appelé l'équivalent de *groupe de recherche* ou *d'étude*). Ce travail a pour but de développer la compréhension collective par G_P d'un ou plusieurs *objectifs* explicites, dont l'origine peut varier : ils peuvent être extraits des programmes nationaux, ou formulés localement par l'école, ou encore formulés par le groupe même. Ceux-ci sont parfois tout à fait généraux, parfois plus particulièrement liés à l'enseignement d'une discipline. Par exemple, Fernandez et Yoshida (2004, p. 12-13) ont étudié les objectifs pour les EIE dans 35 écoles d'Hiroshima, et estiment qu'un objectif donné est en moyenne retenu pendant quatre ans par un groupe donné ; parmi ces objectifs, ils citent par exemple : *développer chez les élèves la générosité et un sens fort de motivation en les guidant de manière à reconnaître leur individualité ; développer des leçons qui encouragent les élèves à apprendre les uns des autres*. Des objectifs semblables, stipulés par de nouveaux programmes nationaux, peuvent également devenir une matière de EIE.

Bien sûr, des thèmes aussi généraux appellent des questionnements plus spécifiques, et il s'agit donc pour G_P d'élaborer et d'explicitier les pratiques et savoirs partagés O_P par rapport à la réalisation de ces buts dans des contextes concrets, comme l'enseignement de la soustraction en deuxième année du primaire. Le groupe se sert d'artefacts textuels (programme, livres, articles, manuels) et il en produit, par exemple sous forme de rapports annuels du groupe ; A_P évolue donc avec O_P .

Une EIE inclut plusieurs activités de communication et de rédaction, y compris les discussions informelles et réunions régulières des membres de G_P et l'étude individuelle de textes (programme, manuels, productions d'autres enseignants etc.) par les membres. En effet, leur travail constitue un moyen important pour relier la pratique en SD avec les idées et les instructions du système noosphérique. Cette forme de travail a été proposée comme une explication majeure pour que les réformes demandées par la noosphère soient plus facilement intégrées sur le terrain (SD) au Japon que dans d'autres pays, ce qui entraîne aussi une homogénéité relativement forte des pratiques (en SD) au niveau national (Lewis & Tsuchida 1997). Cela limite les ruptures entre les niveaux de détermination didactique (Chap. 2 Sec. 1 ; Chevallard 2002, pp. 49-50).

6.2.2 Étude collective d'une leçon

La forme concrète la plus importante, du point de vue de notre problématique, est sans doute le *jogyokenkyu*, « étude collective d'une leçon » (que nous abrégions ici ECL, suivant Miyakawa & Winsløw 2009). Une ECL est une EIE dont l'objectif est l'élaboration d'une leçon (parfois plusieurs) selon des objectifs généraux de l'école et des objectifs plus spécifiques de la discipline enseignée. Une ECL implique la mise en place de plusieurs SD pour « tester » la leçon développée par G_P . Dans ces SD, l'enseignant est membre de G_P , tandis que les autres membres participent en tant qu'observateurs du SD. Ils n'interagissent pas avec l'enseignant ni avec les élèves pendant la leçon,

et donc on peut les considérer comme externes au SD (membres de $G_P \setminus G_D$, cf. Fig. 1). Selon Isoda *et al.* (2007, Chap. 1) l'observation commune de la réalisation de la leçon *in situ* (cf. Chap. 4, sec. 4) est au cœur de ce dispositif, aussi bien dans ses origines historiques que dans son usage aujourd'hui. Les phases d'une ECL sont décrites par plusieurs auteurs, par exemple Stigler et Hiebert (1999, pp. 112-114), souvent en vue de présenter le processus de l'ECL à des enseignants. Voici une description un peu sommaire par rapport à celles données dans ces références, mais d'une portée d'autant plus générale :

1. *Étude et planification*. Rencontres en G_P et étude individuelle de ses membres, en vue de :

- *choisir une leçon à développer* (en raison des intérêts et besoins des enseignants), que l'on appelle *la leçon en étude*, ainsi que les *objectifs généraux et spécifiques* à viser par cette leçon ;
- *faire l'étude* d'un ensemble (premier état de A_P) de documents pertinents, y compris de manuels, guides de manuels, plans de leçons, programmes ;
- *élaborer un plan pour la leçon en étude* qui comprend en particulier des hypothèses de G_P par rapport au travail des élèves dans le SD, et d'autres points à observer dans la réalisation de celui-ci (on en dira plus ci-dessous sur ce *plan de leçon* qui s'ajoute à A_P et devient son élément principal).

2. *Test et observation*. Un membre p_0 de G_P enseigne la leçon dans sa classe, selon le plan élaboré. Le SD est donc comme d'habitude, sauf que tout le G_P est présent. Les autres membres de G_P observent la leçon, mais n'y interviennent pas ; en effet tout se passe comme s'ils n'y étaient pas. Il y a pourtant deux formes principales de l'enseignement qui correspondent à deux comportements des observateurs :

- p_0 est devant le tableau noir et interagit avec toute la classe ; $G_P \setminus \{p_0\}$ sont alors posés en marge (souvent en arrière) de la classe, en prenant des notes selon une grille d'observation provenant du plan de leçon ;
- les élèves travaillent individuellement ou en groupes. Dans cette situation, tous les membres de G_P circulent dans la classe pour observer de plus près le travail des élèves, mais (sauf exceptions rares) c'est uniquement p_0 qui interagit avec les élèves, en répondant à des questions.

3. *Évaluation et révision*. Une ou plusieurs rencontres en G_P suivent la phase 2, normalement le même jour pour la première. Les réunions n'ont pas d'agenda fixe et elles sont, comme dans la phase 1, informelles, dans une ambiance amicale ; notons au passage qu'un observateur occidental peut être impressionné par l'effort que font les membres pour comprendre ce que disent les autres – et par l'absence de « violence rhétorique » pour imposer des points de vues personnels. La discussion inclut, à ce point, les éléments suivants :

- p_0 présente ses impressions et réflexions par rapport au déroulement de la leçon, prenant en compte sa connaissance plus intime de la classe, et ses expériences en SD antérieures à la leçon en étude ;
- les autres membres de G_P présentent leurs observations et leurs réflexions, surtout par rapport aux points identifiés dans le plan de la leçon (mais pas seulement) ;
- à partir des points soulevés, la discussion peut converger vers la révision de certains détails dans le plan de leçon, y compris des précautions à observer par l'enseignant. On peut donc revenir en phase 1.

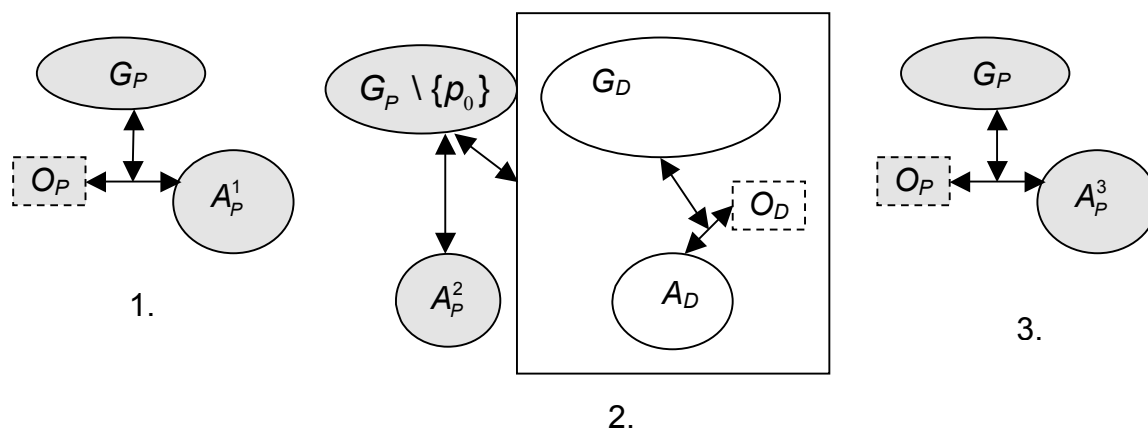


Figure. 2 Les phases (dans le temps) d'une ECL, montrant ici un seul cycle 1-2-3: 1. SP : Etude et planification ; 2. SP : observation et réalisation de SD ; 3. SP : Evaluation et révision. A noter que A_P évolue continument, et contribue à lier les trois phases.

Schématiquement, une ECL peut donc être représentée comme en Fig. 2, avec une chaîne possible de cycles (1-2-3) ; les ECL à plus de trois cycles paraissent rares (Fernandez & Yoshida 2004, p. 8).

6.2.3 Le plan de leçon en pratique

Miyakawa et Winsløw (à paraître) présentent en détail une ECL, visant une leçon sur la proportionnalité en 6^e. Nous reprenons ici l'analyse du plan de leçon et de sa fonction dans les différentes phases. Nous nous basons ici sur des vidéos et des notes prises en phases 1, 2 et 3, ainsi que sur des éléments de A_P .

Le plan (reproduit dans son intégralité dans l'article cité, extrait reproduit ici en Fig. 3) décrit en détail le contexte de la leçon en étude, constitué par une séquence de leçons intitulée *Réfléchir sur une expression pour la proportionnalité*. Il s'agit plus précisément de l'expression du type 2 : 3 (un « rapport »), introduit au Japon en 6^e et que l'on différencie du « taux » (expression du type 2/3) et d'autres représentations encore qui peuvent désigner une relation de proportionnalité. L'objectif de la leçon en étude (qui en même temps donne une première description de l' O_D) est formulé au début du plan : « Développer la compétence à réfléchir par une approche d'activité et de visualisation sur la proportionnalité entre la longueur et la largeur pour des figures de « même forme » dans le cas du rectangle ». Les grandes lignes de ce document sont par ailleurs les suivantes :

- description plus détaillée des objectifs et de la situation dans le programme, fortement inspirée du guide du manuel utilisé (élément de A_P qui paraît très important pour ce groupe comme pour beaucoup d'autres ; le guide est, en général, beaucoup plus volumineux que le manuel lui-même) ;
- discussion de « la situation des élèves » par rapport au sujet, surtout la tendance aux calculs mécaniques de taux de rapport sans un lien très sûr avec le sens des tâches proposées ;
- discussion de façons plus habituelles pour introduire l'idée de rapport, comme les activités avec les solutions diverses de vinaigre etc. (reflétant clairement la phase 1 d'étude) ;
- plan de la séquence (7 leçons) dont la leçon en étude est la deuxième ;
- plan détaillé de la leçon d'étude, structuré en trois colonnes intitulées « contenu et activité » (décrivant aussi bien des actes de l'enseignants qu'une variété de réactions d'élèves anticipées), « forme de l'activité » (individuel/collectif etc.), « soutien et évaluation » (contenant aussi des instructions pour l'observation, comme « faire attention aux mots lorsque les élèves commencent à parler et aux mots ayant une relation avec des idées de camarades ». Au Japon, un tel plan est toujours structuré en grille, avec les colonnes contenant des aspects proches à ceux que nous venons de nommer (Shimizu 1999, p. 113). Les lignes correspondent aux changements de phases ; le temps estimé pour chaque phase et normalement donné.

La leçon en question est basée sur la tâche suivante : *tracer deux rectangles, de dimensions 3cm × 5cm et 5cm × 7cm, et déterminer s'ils ont la même forme*. Dans la leçon précédente, il y a eu un travail de réflexion sur le(s) sens qu'on peut donner à la proposition « deux figures planes ont la même forme », mais on n'a pas institutionnalisé de définition ou critère précis ; c'est donc une tâche très ouverte, aussi bien par son sens, que par les techniques pertinentes. Une partie du plan correspond assez exactement à la présentation au tableau de la tâche, et fournit un lien crucial entre A_P et A_D qui peut se développer par la suite ; ainsi, dans la discussion suivant la leçon, les

enseignants ont ajouté au plan des instructions par rapport à la gestion du tableau pour noter les propositions des élèves.

Après avoir décidé d'utiliser deux rectangles pour la tâche, une discussion en G_P porte sur les dimensions à choisir, discussion où apparaît aussi bien l'état et le développement d' O_P , en soulevant les réactions probables de la part des élèves face à des possibilités concrètes, et leur pertinence pour l'objectif de la leçon. On s'arrête ensuite sur le choix de faire précéder la tâche choisie d'une tâche préparatoire : *tracer deux carrés, de dimensions 3cm x 3cm et 5cm x 5cm, et déterminer s'ils ont la même forme*. On suppose que les élèves décideront immédiatement d'une réponse affirmative à cette question.

(1) But : pouvoir reconnaître un rectangle du point de vue de « la même forme », trouver et exprimer d'une façon personnelle la proportionnalité entre les mesures de la longueur et la largeur qui est commune à la « même forme »

(2) Développement ♣ soutien pour orienter au sujet



Contenu et activité	Forme d'activité	Soutien et évaluation
<p>2. Se confronter au problème en s'appuyant sur une anticipation personnelle</p> <p>Idées prévues des élèves</p> <p>a. tracer des diagonales et voir que différents angles → différentes formes</p>  <p>b. Superposer deux figures et trouver la même différence de longueur des côtés → même forme</p>  <p>c. Superposer deux figures et trouver que les diagonales ne sont pas superposables → différente forme</p>	Individuel	<p>♣ Faire exprimer les idées avec des mots, des dessins, ou une opération, au choix des élèves. Même si l'idée incorrecte, ne répondre pas simplement par une remarque, mais apprécier si une idée personnelle est bien développée.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maximiser le partage d'idées dans le temps court. Même si la formulation d'une idée n'est pas complète, ou la compréhension ne suffit pas, faire comprendre dans le temps de discussion. - Pour l'élève qui a résolu par une méthode, insister en demandant de résoudre par d'autres moyens. <p>♣ Comme préparation de la communication à l'autrui, faire bien écrire sa propre idée dans le cahier, et faire comprendre que la rédaction permet de l'approfondir et de la mieux</p>

Figure. 3 Extrait du plan de leçon discuté ici, traduit et reproduit en entier dans (Miyakawa & Winsløw, à paraître). Notons que, dans cette version du plan, il n'y a pas d'indication de la durée des phases.

Dans les discussions à l'intérieur de G_P , l'enseignant p_0 (qui va tester la leçon dans sa classe) apparaît aussi comme un « leader » du groupe, qui compte 13 membres au total. Comme on n'a que les données d'un seul cycle, on peut uniquement confirmer que p_0 a un tel rôle dans celui-ci ; il est possible que ce soit différent lors d'expérimentations dans d'autres classes.

Il faut noter que la description du plan de la leçon en étude est loin d'être un « script complet » de ce qui est réalisé en classe. En effet, on trouve dans le SD plusieurs éléments qui ne figurent pas dans le plan, surtout une phase initiale d'environ 5 minutes où l'enseignant montre aux élèves une photo de la classe provenant d'une année antérieure, et cela dans différentes tailles d'agrandissement. Cette entrée très informelle amuse bien les élèves et on peut y reconnaître bien sûr un lien avec le thème de la leçon, mais aucune référence explicite n'y est faite par la suite. Nous mentionnons cette incidence, aussi bien pour nuancer l'image quelque peu « raide », que peut donner la notion de « plan de leçon » que pour dire que le travail de préparation de cette leçon n'est pas entièrement collectif.

La structure de la leçon est, par ailleurs, assez typique (Miyakawa et Winsløw, à paraître, sec. 2) : après l'activité sur les carrés, réalisée en quelques minutes, p_0 demande aux élèves de tracer les rectangles et d'écrire immédiatement leur réponse à la question « ont-ils la même forme ? ». Ensuite, les élèves sont invités à travailler pendant 10 minutes pour justifier leur réponse, en écrivant leurs raisonnements dans leur cahier ; p_0 (et les observateurs) circulent pour observer les différentes stratégies présentes. Et, pour le reste de la leçon, p_0 appelle les élèves à présenter leur travail, dans un ordre tout à fait réfléchi – d'abord ceux favorisant la même forme, et en prenant chaque fois des élèves avec des raisonnements différents. Il invite les autres à reprendre et à discuter chaque proposition, dans l'objectif de la faire comprendre par toute la classe.

Le plan a anticipé la plupart des stratégies qui apparaissent, mais pas toutes ; il y en a surtout une qui surprend même les enseignants par sa pertinence (en bref : en multipliant les plus petits côtés des rectangles par – Donc, par la discussion en phase 3 cette nouvelle stratégie enrichit le savoir O_P partagé (et sans doute le plan de leçon suivant), en conséquence de son *absence* de (O_P , A_P) en phase 1. Beaucoup d'autres points sont soulevés, y compris des observations de nature plus générale sur la capacité des élèves à saisir et à reformuler les idées des autres, qui est vue comme capitale pour une leçon où les élèves peuvent développer une diversité très large d'idées. On discute d'ailleurs surtout des points techniques de l' O_P (comme les possibilités d'améliorer la gestion du tableau, correspondant au lien A_D - A_P) et aussi des variations possibles de l' O_D (par exemple, passer directement à la tâche principale).

Le plan de leçon sert donc, en somme, à structurer la dynamique entre SP et SD à plusieurs niveaux : en phase 1, on discute les menus détails de SD aussi bien pour les actes de p_0 que pour les réactions des élèves, en les articulant en même temps avec les objectifs de la séquence et aussi avec des objectifs plus généraux. En phase 2, le plan sert de support pour les observateurs et, bien sûr, pour p_0 (quoiqu'il ne soit pas du tout limité au rôle d'un acteur qui suit son texte). Finalement, en phase 3, le rapprochement du plan avec l'observation de tous les membres de G_P sert à avancer des éléments aussi bien spécifiques que plus généraux de l'organisation O_P , en articulation étroite avec le SD et donc avec la pratique enseignante principale (gérer l' O_D). En plus, le développement de A_P (comme suggéré en fig. 2) sert à expliciter et donc à retenir l'expérience et la réflexion faite dans les trois phases, par l'élaboration du plan, la prise de notes lors des observations, et par la révision du plan liée à l'évaluation. L'élaboration de ce plan, avant, au cours et après les expériences, est sans doute un cas exemplaire de *genèse documentaire communautaire* (Chap. 7). Mais le fait que de tels plans peuvent même être partagés par des collègues ou publiés dans des revues ou des ouvrages pour enseignants montre que le plan de leçon a un potentiel qui va *au-delà* de la pratique professionnelle du groupe (communauté de pratique au sens du Chap. 7) qui l'a produit. Il y a donc un partage de documents (au sens du Chap. 3) reconnus et validés par une communauté *qui n'est pas confiné au système d'école où ils ont été produits*. Ce caractère *public et ouvert* de la construction du savoir professionnel (O_P) est pour nous la marque principale d'une profession, à la différence d'une « semi-profession » - notion utilisée en Chap. 2 pour décrire la situation dans d'autres pays. Et où, par ailleurs, son statut et son attraction pour les jeunes sont bien inférieurs à ce qui est le cas au Japon.

6.3 Deuxième cas : « équipes pluridisciplinaires » (Danemark)

Changeons maintenant de décor pour un contexte tout différent où la préparation d'un SD requiert, en principe et par demande officielle, l'organisation de SP à plusieurs professeurs : le cas de certains nouveaux dispositifs d'enseignement « pluridisciplinaire » au lycée danois. Par une réforme majeure en 2005, ses filières (littéraires et scientifiques) ont été supprimées, pour favoriser l'interaction et la cohérence des matières enseignées, en dépassant les frontières classiques entre sciences et humanités. Ceci impose la construction de SD et plus particulièrement d' O_D nouveaux. Nous en considérons deux :

- les modules dits de « préparation à l'étude » qui occupent 10% de la totalité des heures dans le nouveau lycée, et où les élèves doivent s'attaquer à des thèmes par des approches venant de plusieurs disciplines, relevant d'au moins deux des trois « facultés » principales du lycée (sciences naturelles, sciences humaines, sciences sociales) ;
- le projet final en troisième année du lycée (« terminale » en France), réunissant deux disciplines majeures de la filière de l'élève (par exemple, mathématiques et histoire, ou mathématiques et physique).

La nécessité de SP à plusieurs professeurs provient du fait que, même si les professeurs du lycée danois sont en général bi-disciplinaires, il est rare qu'un seul professeur soit formé dans la totalité des disciplines impliquées dans les modules ou projets de ces types. Notre présentation a pour sources principales une évaluation générale de ces réformes (EVA 2009) et des mémoires de master en cours, où des études plus approfondies ont été effectuées dans le contexte des mathématiques.

6.3.1. Préparation à l'étude

La « préparation à l'étude » occupe environ 90 heures de classe chaque année. Elle est organisée en modules d'entre 5 et 30 heures (10-15 heures étant le plus commun), caractérisés par un *thème* et par une *combinaison de disciplines* susceptibles à contribuer au travail sur ce thème. En voici trois exemples :

1. *Ambiances musicales* (mathématiques, physique, musique ; 1^{ère} année), composant mathématique : modèle $f(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$, interprétation des paramètres A , φ et ω ;
2. *La vérité* (mathématiques, danois, philosophie, physique, 2^e année), composant mathématique : démonstrations euclidiennes (somme des angles, théorème de Pythagore) ;
3. *La croissance, effets climatiques* (mathématiques, sociologie, géosciences, 3^e année), composant mathématique : construire et évaluer la pertinence de modèles, basés sur régression de types divers (linéaire, exponentielle, logistique, ...) et données empiriques.

Les examens jouent un rôle important dans le lycée danois – car les résultats sont, pour les lycéens, déterminants pour réaliser leurs choix d'études postsecondaires. Toute activité qui ne serait pas évaluée dans le cadre des examens risquerait donc de n'être pas prise au sérieux par les lycéens. Aussi, dans le cas des modules de préparation à l'étude, les élèves ont à passer un examen oral, chaque année. Les sentiments des élèves, comme des enseignants, par rapport aux examens de ces modules, sont plutôt négatifs (EVA 2009, pp. 90-91) – la raison pouvant être l'opacité perçue des critères d'évaluation- même si une minorité semble l'apprécier.

Comment alors mettre en place un SD de ce type ? Comme déjà dit, il faut un groupe G_P de professeurs représentant les disciplines impliquées, et cela pour chaque classe *et pour chaque module*. La planification au niveau du lycée s'impose donc déjà pour des raisons logistiques liées à la coordination des charges des enseignants sur l'année. Le ministère a laissé le soin de cette organisation à chaque établissement, et on voit en effet une certaine variation dans les organisations adoptées. Mais un modèle paraît très commun (EVA 2006, p. 18), c'est la désignation par la direction du lycée d'un groupe G^* de professeurs (parfois avec des représentants de la direction) chargé de coordonner la planification de ces modules, tout en désignant d'avance des G_P concrets pour chaque module (3 à 5 modules pour chaque classe dans l'année). En même temps, il y a des discussions quant aux types de thèmes envisageables pour ces modules. Ces discussions impliquent plus largement les enseignants de toute l'école, par exemple lors de « journées pédagogiques », donc dans des SP au niveau global du lycée, pourtant sans SD fixe apparent (mais plutôt focalisé sur des organisations de savoir et des documents sur les principes, et des exemples « paradigmatiques », de SD).

L'organisation des SD revient donc, dans un premier temps, à G^* . Les groupes d'enseignants pour chaque module, et les combinaisons de disciplines de ceux-ci, sont arrêtés par la direction, en collaboration étroite avec G^* ; en effet, la responsabilité d'assurer une large diversité de combinaisons de disciplines impliquées revient à la direction. Les enseignants de chaque module sont ensuite chargés de trouver un thème et de le réaliser en module, avec une marge d'autonomie laissée aux élèves (en principe et au moins pour les précisions et les choix plus locaux par rapport au travail à faire). Selon l'évaluation du dispositif de 2006, qui recouvre seulement les expériences de la première année de la réforme, il y a eu de nombreuses incertitudes parmi les enseignants par rapport à cette tâche, incertitude qui a été moins importante là où G^* a maintenu une activité de coordination et de consultation durant l'année, à la différence des cas où l'on s'est limité à organiser les G_P .

Il va sans dire qu'après trois années d'expérience avec ces modules, les enseignants ont trouvé des *modus vivendi* par rapport à ces modules. Ainsi, les G^* ont pu, plus récemment, baser la planification sur les expériences faites dans l'établissement et aussi plus largement, en puisant par exemple aux sites internet (artefacts en ligne - avant tout, le site national pour les enseignants de tous les niveaux, emu.dk). En fin de compte, et en généralisant nos observations et les évaluations officielles de ce dispositif, il semble juste de dire que celui-ci constitue une répartition de travail en SP qui est plutôt hiérarchique au niveau des groupes d'enseignants (la hiérarchie étant $G^* \rightarrow G_P \rightarrow$ enseignants individuellement responsables de « leur » composant).

6.3.2. Projets finaux bi-disciplinaires

Dans beaucoup d'aspects, les projets finaux des lycéens danois représentent, pour les professeurs, un défi semblable aux modules de préparation à l'étude. On retrouve pour ces projets la nécessité de l'interaction de plusieurs disciplines et donc, normalement, l'engagement de plusieurs professeurs. Or pour le SD il y a bien plusieurs enseignants, mais seulement un élève (car le projet est individuel). Deux autres différences principales : les deux disciplines peuvent être de la même faculté (par exemple, mathématiques et physique) ; et le travail se fait en gros dans une situation d'étude autonome. En effet, à partir du moment où le sujet de ce projet a été fixé par l'énoncé d'une problématique (celle-ci étant formulée par les professeurs responsables), l'élève a deux semaines pour la rédaction du rapport, sans autre obligation. Dans cette période, les interactions entre l'élève et les enseignants sont très limitées ; dans les premières années de la réforme, toute interaction était interdite, mais les règles ont été assouplies ensuite.

Le SD même est donc difficilement observable, tout comme les SP à un professeur. Pour étudier l'interaction entre SP et SD, on a quand même trois sources principales : ce qu'en disent élèves et enseignants ; les avis des enseignants sur le projet (souvent avec des questions pour orienter vers des problématiques précises) ; et les rapports d'élèves qui sont censés y répondre.

L'analyse des projets (formulation des tâches et rapports d'élèves) s'avère très intéressante. A Copenhague, notamment dans le cadre de plusieurs mémoires de masters (par exemple, Hansen 2009), nous avons analysé un grand nombre de ces rapports, pour des combinaisons de disciplines diverses avec les mathématiques. Le moins surprenant est que les combinaisons avec des sujets proches (comme la physique) donnent lieu à des formulations plus cohérentes. On sait d'ailleurs qu'au niveau national, les projets combinant mathématiques et physique ont des moyennes de notes nettement supérieures aux projets de combinaisons plus complexes, comme mathématiques et histoire. Cela correspond à une différence dans le moyen des notes des groupes d'élèves faisant ces choix (Hansen 2009), et s'explique peut-être par cette différence.

Ainsi, et surtout pour les projets plutôt faibles, on trouve un partage du travail très net entre les disciplines, en dépit d'un intitulé plus transversal – et cela aussi bien dans le travail des enseignants (SP_i) exprimé dans les formulations des projets, que dans les rapports des élèves. Cette situation, bien étudiée par les analyses plus fines de Hansen (2009), est résumée en Fig. 4.

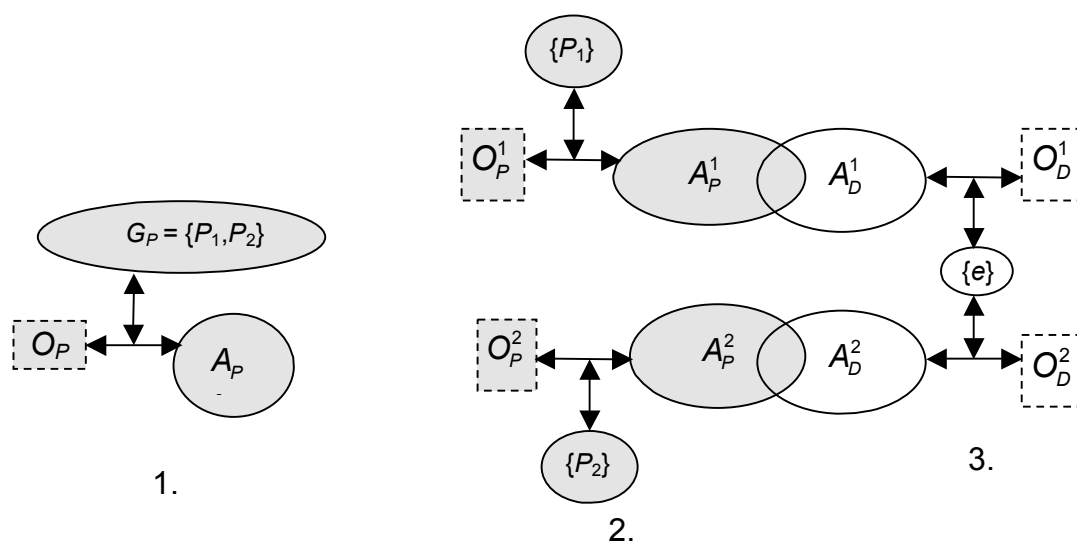


Figure. 4 Les phases (dans le temps) d'un projet bidisciplinaire qui se sépare en deux projets « parallèles » : 1. SP à deux professeurs : choix d'un thème commun ; 2. SP séparé en deux, élaboration de sous-problématiques monodisciplinaires ; 3. SD où l'élève, e, construit les deux parties du projet de façon indépendante, en répondant aux questions monodisciplinaires, sans d'ailleurs interagir avec les enseignants. Dans la mesure où l'élève réussit à réunir les deux parties de la problématique, il y aura pourtant des liens entre les deux parties du rapport (parties de A_D^1 et de A_D^2) et du savoir construit (O_D^1 et de O_D^2).

Par contre, dans d'autres projets, on trouve un vrai travail bi-disciplinaire, motivé par une problématique qui interpelle substantiellement les deux disciplines (comme un « parcours d'étude et de recherche », cf. Chevillard 2006). De tels projets semblent avoir lieu surtout dans les combinaisons avec la physique (plus rarement, biologie et sociologie), et dans le contexte d'élèves qui sont plutôt performants en général (EVA 2009, p. 87).

Considérons un exemple désigné par Hansen (2009) comme étant relativement réussi pour un projet combinant mathématiques et histoire, afin de montrer que la situation décrite en fig. 4 n'est pas générale même dans ce cas. Il s'agit dans ce projet d'analyser la « crise de Cuba » (1962) à l'aide de la théorie des jeux. Voici l'énoncé de la problématique (formulée par les deux enseignants) :

Il faut rendre compte de la motivation pour utiliser les jeux mathématiques comme modèle des processus de décision dans la crise de Cuba. [Note : cette phrase doit se comprendre comme la tâche générale pour l' O_D , les trois suivantes étant des sous-tâches]

On veut une présentation de notions pertinentes de la théorie des jeux, y compris les jeux à somme nulle, les jeux séquentiels et les équilibres de Nash. Les notions sont expliquées par des exemples concrets.

Rendre compte des événements qui ont mené à la crise de Cuba pendant la guerre froide, en exploitant les documents joints [Note: une lettre du président Kennedy au premier ministre Kroutchev, et une lettre dans le sens inverse ; au total 4 pages]

Construire le jeu « la crise de Cuba » et discuter si les acteurs de cette crise ont agi de façon rationnelle par rapport à la solution du jeu.

Nous n'avons pas eu un accès direct au SP (à deux professeurs) ayant produit ce germe de SD (à un élève) mais il est clair qu'il a fallu un réel travail interdisciplinaire, pour poser la dernière question relevant vraiment d'une O_D « transdisciplinaire ». D'autre part le choix des documents « sources historiques » est vraiment pertinent pour servir à cette dernière question et ce choix a sans aucun doute requis une vraie collaboration des enseignants directement pour construire cette partie de l' O_D . Dans le rapport rédigé par l'élève, il y a une bonne articulation entre les réponses aux premières deux questions (monodisciplinaires) et à la dernière et tandis que le traitement des bases de la théorie de jeux semble assez superficiel, l'élève arrive bien à construire un modèle adéquat du jeu stratégique impliqué dans la crise de Cuba, pour conclure qu'effectivement les deux parties ont fait des choix rationnels pour arriver à une solution optimale correspondant à un point-selle unique. Le projet est intégralement reproduit en annexe de (Hansen 2009).

Toujours est-il que la difficulté de construire les O_D de ce type a amené des débats nouveaux dans des SP inédits, dans les écoles, comme au niveau national ; des travaux comme celui de Hansen (2009) sont susceptibles de contribuer à développer le caractère public et théorique de l' O_P correspondant.

6.4. Perspectives.

Dans les deux sections précédentes, nous avons discuté deux contextes très différents, dont le trait commun est d'avoir des SP au moins en partie collectifs, avec une richesse d'artefacts A_P relativement grande en raison des nécessités d'un projet d'enseignement partagé (O_P).

Les différences sont aussi très nettes, bien sûr. Au Japon on a affaire à des dispositifs qui sont depuis longtemps solidement établis pour le travail de tous les enseignants de l'école primaire et du collège. Dans le cas danois, on s'est appuyé sur des pratiques émergentes des efforts des enseignants pour mettre en œuvre une réforme assez audacieuse, dans les toutes premières années suivant son entrée en vigueur. Mais la différence principale entre les deux contextes, selon notre point de vue, est dans l'interaction entre les SP collectifs et les SD correspondants, et cela pour tous les éléments du modèle de la Fig. 1. Dans le cas danois, l'interaction se situe, souvent, à un niveau supérieur à celui de la planification et de l'évaluation de l'enseignement concret, où elle sert souvent seulement à distribuer les tâches entre disciplines (et donc entre enseignants individuels) par rapport à une thématique commune (cf. par exemple Fig. 4). Ainsi, le SP collectif dévolue beaucoup de responsabilités à des sous-systèmes SP_i individuels (et mono-disciplinaires). Dans le cas japonais, le SP reste collectif même si les SD sont individuels ; aussi celui-ci est planifié et évalué en commun. A cette différence correspond évidemment une différence des O_P et des A_P partagés : du côté danois, surtout des expériences et des documents concernant la distribution de tâches didactiques par rapport à une thématique pluridisciplinaire donnée (par exemple, dans le cas des modules de préparation à l'étude, elle est fixée par G^*) ; du côté japonais, des expériences et des documents concernant concrètement comment enseigner une leçon selon des objectifs et des méthodes choisies par G_P .

L'analyse comparative de telles différences nous semble, plus généralement, cruciale pour comprendre les conditions institutionnelles d'une production collective de l'enseignement, et, en particulier, pour analyser les conditions de mise en œuvre de réformes comme celle introduite récemment au lycée danois. D'un point de vue théorique, le développement de savoirs professionnels (O_P) par rapport à l'organisation et l'interprétation des SD requiert déjà des SP au sein des institutions scolaires qui ne soient pas seulement « collectifs » et en communication directe avec les SD, mais qui fassent partie de systèmes professionnels qui vont au-delà de ces institutions. D'un point de vue pratique, il faudrait donc penser des dispositifs qui rendent cela possible. Et, de ce point de vue, le rapprochement du contexte japonais (ou de cas semblables) avec le contexte danois (ou autres contextes semblables) est loin d'être seulement une affaire théorique.

Références

- Artigue, M. (1990). Épistémologie et didactique. *Recherches en didactique des mathématiques* 10 (2-3), 241-286.
- Bosch, M., Chevillard, Y. (1999). La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. *Recherches en didactique des mathématiques* 19 (1), 77-124.
- Bosch, M., Gascón, J. (2002). Organiser l'étude. 2. Théorie et empiries. In J.-L. Dorier et al. (dir.), *Actes de la 11^e école de didactique des mathématiques*, pp. 23-40. Grenoble : La Pensée sauvage.

- Brousseau, G. (1986). Fondations et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques* 7 (2), 33-115.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné* (2^{ème} édition). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques* 19 (2), 221-266.
- Chevallard, Y. (2002). Organiser l'étude. 3. Ecologie et régulation. In J.-L. Dorier *et al.* (dir.), *Actes de la 11^e école de didactique des mathématiques*, pp. 41-56. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2006). Steps towards a new epistemology in mathematics education. In M. Bosch (ed.) *European Research in Mathematics Education IV. Proceedings of the Fourth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*, pp. 21-30. Barcelona: Universidad Ramon Llull.
- EVA (Institut Danois d'Evaluation) (2006). *Almen studieforbereidelse og studieområdet*. Copenhague: Danmarks Evalueringsinstitut.
- EVA (Institut Danois d'Evaluation) (2009). *Gymnasireformen på HHX, HTX og STX*. Copenhague: Danmarks Evalueringsinstitut.
- Fernandez, C., Yoshida, M. (2004). *Lesson study: A Japanese approach to improving mathematics learning and teaching*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Hansen, B. (2009). *Didaktik på tværs af matematik og historie*. Thèse master, Université de Copenhague. Accessible en ligne : <http://www.ind.ku.dk/publikationer/studenterserien/studenterserie10/>
- Isoda, M., Stephens, M., Ohara, Y., Miyakawa, T. (2007). *Japanese Lesson Study in Mathematics. Its impact, diversity and potential for educational improvement*. Singapore: World Scientific.
- Lewis, C., Tsuchida, I. (1997). Planned educational change in Japan: the case of elementary science instruction. *Journal of Educational Policy* 12 (5), 313-331.
- Miyakawa, T. et Winsløw, C. (2009). Un dispositif japonais pour le travail en équipe d'enseignants : étude collective d'une leçon. *Education et Didactique*.
- Miyakawa, T., Winsløw, C. (2009). Etude collective d'une leçon: un dispositif japonais pour la recherche en didactique des mathématiques. In I. Bloch, F. Conne, F. (dir), *Nouvelles perspectives en didactique des mathématiques*, cédérom. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Shimizu, Y. (1999). Aspects of mathematics teacher education in Japan: focusing on teachers' roles. *Journal of Mathematics Teacher Education* 2, 107-116.
- Stigler, J., Hiebert, J. (1999). *The teaching gap. Best ideas from the world's teachers for improving education in the classroom*. New York: The free press.
- Trouche, L. (2004). Environnements Informatisés et Mathématiques: quels usages pour quels apprentissages? *Educational Studies in Mathematics* 55, 181-197,
- Winsløw, C. (à paraître). Comparing theoretical frameworks in didactics of mathematics: the GOA model. *Proceedings of CERME 6*.

Chap. 7 – Genèses communautaires, genèses documentaires : histoires en miroir

Ghislaine Gueudet et Luc Trouche

Nous prolongeons dans ce chapitre la présentation d'une *approche documentaire du didactique* dont les principaux concepts ont déjà été exposés (Chap. 3). Le travail humain s'ancre toujours dans une *institution* (Chap. 2), une réalité culturelle, historique et sociale (Engeström 1999) : le professeur ne travaille pas que pour lui et il ne travaille pas seul. Son activité est fortement conditionnée par son *environnement de travail* (Chap. 10) et par des *ressources curriculaires* (Chap. 11). Dans certains cas, les aspects collectifs du travail du professeur apparaissent clairement : c'est le cas des *lesson studies* au Japon (Chap. 6). Même s'ils sont moins visibles, ces aspects sont toujours présents : tout professeur entretient des relations de travail avec des collègues (cf. les interactions entre Corinne et Valérie, Chap. 3) en lien avec son travail documentaire. Il est inscrit dans un ensemble de collectifs, institutionnels « obligés » (un professeur fait partie de l'équipe pédagogique d'une classe, d'une école) ou institutionnels choisis (par exemple un stage de formation continue), associatifs larges (en France, l'APMEP¹ a vocation à rassembler tous les professeurs de mathématiques de l'école publique) ou plus circonscrits : Sésamath (§ 7.2), par exemple, regroupe des professeurs de mathématiques qui partagent un certain projet.

Ce chapitre a pour objet d'initier l'étude des aspects collectifs de la documentation ; comme le chapitre 3, il considère avec une attention particulière les ressources numériques, qui modifient les dimensions collectives de la documentation, et éclairent certains phénomènes déjà existants. Le numérique suscite en effet différentes formes de collectif plus ou moins diffuses, comme le relève la synthèse de Pédaque (2006, p. 12) : « Voilà donc ce que change la numérisation : elle fabrique des communautés virtuelles, flottantes, illimitées, insaisissables, ». Ce phénomène est bien visible dans l'enseignement ; ainsi un rapport institutionnel français récent (Pochard 2008), voit, comme effet du numérique, une « dynamique du collectif ». Le numérique rend collectives, ou communes, des activités autrefois individualisées, très sensibles pour la documentation des professeurs :

- il suscite la création de collectifs larges là où les pratiques privées dominaient, comme le montre, pour la question des manuels scolaires (Chap. 12), l'émergence, avec Sésamath, de collectifs concepteurs ;

- il fait entrer du collectif dans des pratiques individuelles, comme le montre le cahier de texte numérique (cf. le travail avec le logiciel ProNote, Chap. 3) qui diffuse, vers un public large, des éléments initialement circonscrits à l'espace « privé » de la classe.

Nous nous intéressons ici, en lien avec le numérique mais aussi au-delà, aux conditions d'émergence de certains collectifs, aux liens entre collectifs de professeurs et travail documentaire, ainsi qu'aux articulations entre documentation individuelle et documentation collective.

7.1 Le collectif et le travail documentaire

Nous avons considéré (Chap. 3) la structure de l'activité du professeur en relation avec la structure de ses ressources. La prise en compte systématique des aspects collectifs du travail documentaire du professeur nous amène à considérer aussi la nature des collectifs dans lesquels il se situe et la structure des ressources communes. On mesure la complexité ajoutée de cette prise en compte : complexité des ensembles de ressources (pour un collectif donné, les ressources des professeurs impliqués sont plus ou moins communes), complexité des collectifs (un professeur donné est toujours partie prenante d'un ensemble de regroupements - ses classes, les équipes des professeurs de ses classes, etc.), complexité des temps (ils ne sont pas les mêmes, pour un professeur qui rencontre ses classes tous les jours, et pour des collectifs de professeurs qui se réunissent, en présence ou à distance, de façon moins réglée). Réduire cette complexité nous a amenés à faire des choix conceptuels et méthodologiques.

Du point de vue conceptuel, nous avons choisi, parmi un ensemble de cadres possibles (Gueudet & Trouche 2008, Sensevy Chap. 8), la théorie des *communautés de pratique* (Wenger 1998), qui semble bien adaptée à notre projet. Les communautés de pratique (CoP) sont en effet des collectifs souvent professionnels qui se caractérisent par un *engagement partagé* de leurs membres, *collaborant* à un projet commun. Cet engagement et cette *participation* active à une entreprise

¹ Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public

collective s'accompagnent de la production d'objets (qui *réifient* des éléments de pratique) et du développement d'un *répertoire partagé* (qui intègre les résultats de ce processus de réification). La dialectique *participation/réification* nous permet d'analyser les trajectoires de communautés de pratique regroupant des enseignants dont un des objectifs est le travail documentaire. Leur répertoire partagé intègre un *système de ressources* (Chap. 3) communes pour l'enseignement, dont il s'agira d'élucider la structure. L'opérationnalité du concept de réification suppose de considérer celle-ci non pas, au sens de chosification, comme une cristallisation d'objets aboutis, mais comme un engendrement d'entités vivantes, engagées en permanence dans de nouvelles genèses. Les communautés de pratique et les systèmes de ressources associés doivent en effet être saisis dans leur dynamique : il y a une *genèse d'une communauté* enseignante (les communautés naissent, se développent, se renforcent, se transforment, peuvent se déliter) ; cette genèse d'une communauté et la genèse de son système de ressources sont étroitement associées. Nous avons introduit la notion de *genèse documentaire* pour désigner le jeu entre un professeur et un ensemble de ressources. Nous la prolongeons ici en introduisant la notion de *genèse documentaire communautaire*, se référant cette fois au jeu entre une communauté de pratique et un système de ressources associé. Wenger (1998, p. 87) utilise plutôt la notion d'*histoires*, en relevant le caractère dual des histoires respectives de la participation à une communauté d'une part, de la réification de sa pratique d'autre part : nous traduisons ici cela par le caractère dual des *genèses* communautaires et documentaires, que nous illustrons plus loin.

Du point de vue méthodologique, nous avons choisi des terrains dans lesquels un collectif donné prend, pour ses membres, une place déterminante pour la documentation, soit parce qu'il correspond à un engagement personnel fort (c'est le cas de Sésamath, § 7.2), soit parce qu'il correspond à un cadre institutionnel dédié au travail documentaire (c'est le cas du programme Pairform@nce, § 7.3). Ce choix repose sur l'hypothèse que l'étude de collectifs bien délimités permet de mieux comprendre les processus en germe dans des collectifs plus flous ou émergents.

7.2 Sésamath, systèmes de ressources individuels et communautaire

Sésamath (Chap. 3), association créée en 2001 regroupant essentiellement des professeurs de mathématiques en exercice, « a pour but de diffuser gratuitement des documents et des logiciels éducatifs de mathématiques » ([http – Sésamath](http://www.sesamath.org)).

7.2.1 Sésamath, une association de professeurs concepteurs de ressources pour l'enseignement

Ses objectifs, précisés dans ses statuts, sont de promouvoir :

- l'utilisation des TICE dans l'enseignement des mathématiques ;
- le travail coopératif et la co-formation des professeurs ;
- une philosophie de service public ;
- des services d'accompagnement des élèves dans leur apprentissage.

Ce travail *coopératif* (Dillenbourg 1999) concerne essentiellement la documentation des professeurs, comme en témoignent les réalisations de l'association : des manuels scolaires (en ligne et sur papier), pour le collège, sous licence libre ; une plate-forme de travail collaborative (Sésaprof) qui rassemble des milliers de professeurs, une brique mathématique pour les Espaces Numériques de Travail (le projet LaboMeP), une base d'exercices en ligne (Mathenpoche - MeP), des logiciels, par exemple TracenPoche (TeP) et InstrumenPoche (IeP). Sésamath bénéficie d'une large audience : en moyenne, ses sites reçoivent plus d'un million de visites par mois. Le développement de Sésamath apparaît ainsi étroitement lié à l'essor du numérique et aux besoins en ressources qu'il suscite et appuie (Guedet & Trouche 2009).

L'association, au sens propre, est constituée par ses adhérents (une centaine). Sésamath constitue une CoP bien identifiée (engagement commun réifié par les statuts, participation réifiée par les nombreuses ressources produites et reconnues comme bien commun). Cette CoP fédère autour d'elle des groupes de projets (Figure 1), desquels peuvent émerger, au cours du temps, de nouvelles communautés de pratique périphériques à Sésamath.

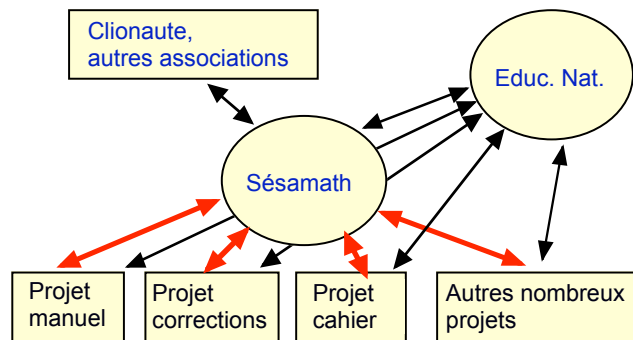


Figure 1. Une représentation de Sésamath, par un enseignant impliqué dans un de ses projets (Gueudet & Trouche 2009)

Pour analyser l'articulation entre documentation individuelle et documentation collective, nous avons fait le choix de suivre, avec notre méthodologie d'investigation réflexive (Chap. 3), Pierre, un adhérent de Sésamath.

7.2.2 Pierre : système documentaire et familles d'activité

Pierre, 35 ans, évoque un père passionné de sciences, une mère et des grands parents professeurs (ayant écrit des ouvrages scolaires). Il a une formation initiale de physicien et en a conservé une vision des mathématiques « outils nécessaires à la réalisation de modèles pour les sciences » ; il s'est tourné vers les mathématiques à cause de leur ambivalence : « un monde formel et onirique en même temps ». La résolution de problèmes constitue pour lui le cœur de l'enseignement des mathématiques. Il décrit le professeur de mathématiques comme un véritable homme-orchestre : « Artiste, acteur, gestionnaire de relations humaines, psychologie humaine des individus et des groupes de personnes, mathématicien, référent culturel... ».

Les familles d'activité (Chap. 3) que nous avons dégagées, à travers son journal de bord et des entretiens, nous permettent de repérer le caractère réduit de la famille d'activité [C/O Planification] et surtout le caractère hypertrophié des familles d'activités « sociales » [Vie établissement] et [Vie collectif] :

- [Vie établissement] : Pierre est PRETICE (personne ressource pour les TICE) dans son établissement (activité reconnue, mais faiblement, par l'institution qui le rétribue un quart d'heure par semaine pour cela) : il installe les logiciels sur les postes du collège, conseille ses collègues pour l'utilisation de tel ou tel site de ressources, monte des projets d'établissement permettant d'avoir de nouvelles dotations de matériel informatique. L'analyse de son journal de bord fait apparaître un temps important (5h30) consacré à cette famille d'activité en 3 semaines ;

- [Vie collectif] : il est membre du CA (conseil d'administration) de Sésamath ; le journal de bord ne donne pas d'indication sur cette activité, mais, dans un entretien, Pierre déclare que cette participation au CA suppose un travail d'au moins une heure par jour (en particulier pour lire les mails et participer aux forums qui engagent la vie de l'association). Il est l'un des auteurs du « manuel Sésamath » de la classe de 6^e (grade 6) et, dans cette perspective, il a demandé à n'enseigner, pendant le temps de la conception du manuel, qu'en classe de 6^e (il a donc réalisé l'essentiel de son service - 3 classes - en 6^e pendant 3 ans). Il y a ainsi construction conjointe des ressources individuelles et communautaires. Enfin, Pierre pilote l'un des projets de Sésamath (conception de fiches mathématiques pour les professeurs du premier degré).

Ces deux familles d'activité ont un rôle structurant pour Pierre. A la question « Qu'apporte l'investissement collectif sur le propre travail d'enseignement? », il répond : « Le travail m'apporte beaucoup dans mon travail personnel (source de motivation, de ressources, d'échange). Le temps passé dans le travail collectif est une composante de mon propre temps d'enseignement ».

7.2.3 Système de ressources individuel, système de ressources communautaire

Ce caractère structurant de la communauté apparaît bien si l'on analyse la représentation schématique du système de ressources (RSSR, Chap. 3) de Pierre. Les ressources de Sésamath (manuels, cahier MeP, logiciels MeP, TeP, leP et CeP) constituent le cœur de ce système (figure 2) : elles occupent la place la plus élevée, elles prennent toute la largeur de la feuille, la plupart des flèches en viennent ou y vont. Les ressources déclarées personnelles (dans le coin de la feuille, en

bas à droite) apparaissent marginales et figées (Pierre y place les « archives papiers ou sur disque dur » et les programmes scolaires).

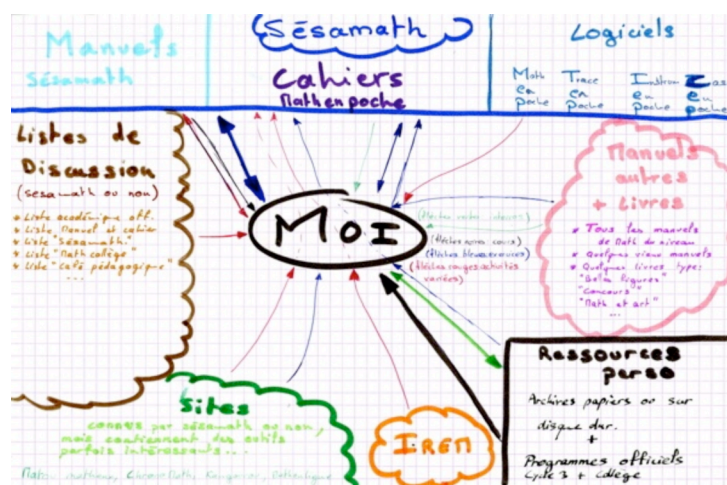


Figure 2. La représentation schématique du système de ressources de Pierre

La nature des flèches est intéressante à considérer : vertes pour les interrogations écrites, noires pour les cours, bleues pour les exercices et rouges pour des activités variées. Elles nous informent sur le système d'activités de Pierre et ses relations avec son système de ressources :

- les ressources personnelles ne sont alimentées que par « les interros », qui ne sont pas mises en partage pour l'association, liées à des besoins précis de l'enseignement ;
- il n'y a que deux flèches noires (conceptions de cours), elles partent des manuels, des archives et des programmes officiels et vont vers Pierre (« moi »). Apparemment, Pierre ne stocke pas dans ses archives de nouvelles ressources identifiées comme « cours », ce que confirme notre examen de ses ressources ;
- les flèches les plus nombreuses sont bleues ou rouges (exercices ou problèmes), elles partent des nuages « IREM », « sites », « listes de discussion », traversent « moi » en pointillés, et rejoignent les ressources de Sésamath, qui alimentent en retour plusieurs familles d'activité de Pierre, constituant bien, en ce sens, des *ressources pivot* (Chap. 3). Lors du premier entretien, Pierre évoque d'ailleurs un incident qui l'a marqué : Internet est tombé récemment en panne pendant la classe, il a du improviser et signale les difficultés qu'il a éprouvées, coupé de ce qui constitue à l'évidence des *ressources sine qua non*, quasi consubstantielles, de son activité, contribuant ainsi à donner un sens encore plus fort à la notion de ressource pivot.

Ce que dit Pierre de son activité de concepteur de ressources correspond tout à fait à cette représentation schématique :

- dans un sens, il « pioche » ce dont il a besoin dans le système de ressources Sésamath, et le met « à sa façon » (« en général, je prends un exercice, je garde l'idée et je reformule les questions »).
- dans l'autre sens (des ressources disponibles vers le système de ressources de l'association), Pierre agit, selon ses termes, comme un « brocanteur » : il « chine » des ressources (ressources numériques sur le Web mais aussi vieux livres de mathématiques achetés dans les marchés aux puces), saisit les références sur le disque dur de son ordinateur. Ce disque dur a une place importante dans ce dispositif. Pierre lui donne d'ailleurs un nom (« TafPi », pour « espace de travail de Pierre »). TafPi apparaît comme un atelier de « restauration de ressources » : les idées piochées, ici ou là, sont déposées en vrac sur le bureau de l'ordinateur (Pierre a parfois des difficultés à les retrouver). Il les met en forme quand l'opportunité d'un usage survient, les teste avec ses élèves. Elles suivent ainsi un parcours qui les amène, de phases de test en phases de révision, jusqu'à une forme jugée satisfaisante pour être déposée dans une ressource Sésamath.

Il ne s'agit pas seulement d'un jeu entre le système de ressources de Pierre et celui de Sésamath, mais d'un jeu plus complexe où les autres membres actifs de l'association interviennent aussi : Pierre peut mettre en discussion ses idées sur les listes de l'association, il critique aussi les ressources qu'il

trouve sur ces listes. Le système de ressources Sésamath apparaît ainsi à la fois comme le résultat ultime du travail documentaire de Pierre et comme une de ses sources essentielles. Cette situation constitue une forme d'aboutissement d'un processus de mise en partage des ressources au sein de l'association : ce n'est pas seulement le contenu mathématique des ressources qui est commun (« avoir les mêmes énoncés d'exercices »), ce ne sont pas seulement les types de ressources matérielles (« avoir les mêmes manuels scolaires »), mais ce sont, *physiquement*, les *mêmes* ressources qui sont communes, sur un même serveur distant.

7.2.4 Du système de ressources au système documentaire

Le web est une caractéristique partagée des ressources pivot de Pierre, et entre donc dans la composition de nombre de ses documents :

- pour le travail hors classe : il a conçu un site web collaboratif à usage des élèves, sur lequel il dépose régulièrement des énigmes, que les élèves travaillent sous la forme de forum ;
- pour le travail en classe, un ordinateur et un vidéo-projecteur permettent de poursuivre cette exploitation du web, par exemple : au début du cours, le professeur ouvre l'application ProNote, pour faire l'appel et situer la séance du jour dans son histoire ; il utilise Google pour avoir le résultat d'une opération arithmétique dépassant les possibilités de calcul mental de la classe, au lieu de poser l'opération ou d'avoir recours à des calculatrices (qui restent dans le cartable des élèves) ;

Ce sont les ressources Sésamath qui sont utilisées pendant toutes les séances et qui conditionnent ainsi, pour partie, le travail du professeur. Par exemple, la possibilité, donnée par leP, de repasser en boucle le film des constructions géométriques à réaliser contribue au développement d'un schème d'utilisation de cette ressource, où le film joue un rôle d'appui continu au travail individuel des élèves.

Pierre a développé, au sein de Sésamath, une connaissance professionnelle forte : « l'apprentissage est un processus collectif », qui a des conséquences pour l'orchestration (Chap. 3) des situations mathématiques :

- ce qui occupe le devant de la scène, dans la classe, ce sont deux tableaux (noir et blanc interactif). Le professeur combine en permanence l'usage de ces tableaux (essentiellement pour l'exploitation des ressources Sésamath), avec l'idée que « c'est toujours en comparant différentes ressources qu'on peut se faire sa propre idée » ;
- Pierre explique qu'il utilise souvent l'espace entre les élèves et les tableaux pour des mises en scène du savoir à construire, où chaque élève a un rôle à jouer. Par exemple, pour répondre à la question : « un segment est-il plus court si on enlève une extrémité ? », il fait aligner 10 élèves, l'un derrière l'autre, enlève l'un d'entre eux, et demande à la classe ce que l'on peut en déduire. Construction conjointe des ressources dans Sésamath et *construction conjointe du savoir* dans la classe (Sensevy & Mercier 2007) semblent aller de concert.

Ce sont les phases de construction commune (de figures, de conjectures) que Pierre valorise, plus que les phases de validation. La séance de cours observée en classe de 6^e est, par exemple, consacrée à l'étude du quadrilatère défini par les quatre milieux des côtés d'un quadrilatère quelconque. Les élèves, à ce niveau, n'ont pas les moyens de prouver que le quadrilatère obtenu est un parallélogramme, mais la validation vient de la discussion sur le caractère invariant par déplacement du résultat. On peut en inférer des éléments constitutifs du système documentaire de Pierre. Comme nous l'avons dit plus haut, la résolution de problèmes est pour Pierre au centre de l'enseignement des mathématiques. Nous retenons de plus ici que cette résolution de problèmes doit prendre pour Pierre la forme d'un travail conjoint du professeur et des élèves. Nous pouvons ainsi faire l'hypothèse qu'il perçoit l'apprentissage comme un processus d'usage et d'élaboration de ressources. Ainsi cette élaboration est dynamique, elle ne peut pas être entièrement planifiée et elle est collective.

Notons que Pierre et Corinne (Chap. 3), qui ont des ressources pivots communes (MeP, le manuel Sésamath) ont cependant des systèmes documentaires qui diffèrent profondément : Pierre planifie très peu son enseignement tandis que Corinne accorde à cette activité une place très importante. Pour Pierre, il est essentiel de proposer des énoncés qui vont permettre une démarche collective de résolution de problèmes (laquelle n'aboutira pas forcément à une solution experte) ; le souci essentiel de Corinne est de guider les élèves, pour qu'ils parviennent à une solution experte. Il y a, dans le cas de Pierre, une très forte interaction entre système de ressources communautaire et système de ressources individuel, entre travail documentaire pour l'association et travail documentaire pour ses propres classes. On pourrait parler de *symbiose* (Sabra 2008) entre deux systèmes de ressources.

Cette situation est très particulière, du fait du moment que nous avons saisi, où le travail documentaire de Pierre pour l'association (produire un manuel de 6^e) était en adéquation avec son travail documentaire pour lui-même (produire l'enseignement pour ses classes de sixième).

Comprendre les ressorts de la documentation au sein d'une association suppose sans doute de poursuivre l'étude, en suivant le travail documentaire de plusieurs membres de l'association engagés dans le même projet, et en suivant le travail documentaire de Pierre en classe de 6^{ème} sur plusieurs années, au delà de la conception initiale du manuel de cette classe.

7.3. Pairform@nce, parcours de formation et génèses documentaires

Le programme Pairform@nce ([http – Pairform@nce](http://Pairform@nce)) a pour ambition de développer en France un répertoire national de « parcours de formation » en ligne, l'objectif étant de promouvoir l'intégration des TICE dans l'enseignement (toutes les disciplines scolaires sont concernées). Ces parcours reposent sur 7 étapes (introduction, sélection des contenus et formation des équipes, autoformation et formation en présence et à distance, production collective d'une séquence pédagogique, mise en œuvre dans les classes, retour réflexif sur la mise en œuvre, évaluation de la formation). Un parcours sur un thème donné contient un ensemble de ressources permettant d'assister un formateur en charge d'un groupe de stagiaires engagés dans un travail spécifique sur ce thème. Ce programme mobilise donc plusieurs types d'acteurs et concerne le travail documentaire à trois niveaux : le niveau des concepteurs (ils doivent réaliser des parcours de formation), le niveau des formateurs (ils doivent se les approprier et les mettre en œuvre), enfin le niveau des stagiaires (ils doivent s'engager dans ces parcours, appuyés par les formateurs, et concevoir une ressource particulière, liée au thème de la formation, pour la mettre en œuvre dans leur propre classe).

7.3.1 Un projet de recherche sur le travail documentaire d'une diversité d'acteurs

Cette diversité de niveaux fait de Pairform@nce un terrain privilégié pour l'étude du travail documentaire. Dans le cadre d'une équipe de recherche (Gueudet *et al.* 2008), nous avons ainsi accompagné le développement de ce programme, un an après son démarrage, à un moment où il était encore en phase de test, donc sensible aux questionnements de la recherche. Pour ce faire, nous avons mis en place un dispositif complexe, sur une durée de trois ans, pour suivre la chaîne de conception, qui va des concepteurs initiaux de parcours jusqu'aux utilisateurs finaux des ressources, les professeurs stagiaires dans leurs classes. Nous ne considérerons ici que la première année (2007-2008), qui s'est intéressée principalement à la conception de parcours de formation continue :

- l'équipe de recherche a visé la conception d'un nombre limité de parcours (trois), en choisissant soigneusement des équipes de concepteurs initiaux dans des communautés de pratique existantes, équipes d'enseignants-chercheurs et de formateurs ayant une longue expérience de travail en commun, dans l'idée que cet engagement partagé, nourri d'une culture commune, faciliterait la conception de parcours de formation censés stimuler le travail collaboratif. Pour éviter que les concepteurs ne se contentent de retranscrire leur propre expérience, mais explicitent leurs choix sous une forme compréhensible au-delà de leur propre communauté, et les confrontent au sein du groupe de recherche, nous avons choisi des communautés de concepteurs différentes (établies dans des régions différentes, liées à des instituts différents – IUFM, INRP, ou IREM, dédiés à des disciplines différentes : deux parcours en mathématiques, un parcours en géomatique) ;

- nous avons privilégié la *conception dans l'usage* (Chap. 3) : les concepteurs de parcours initiaux n'ont pas réalisé leur travail *in abstracto*, mais ont articulé mise en chantier et mise en œuvre du parcours : chaque parcours a donné lieu à une première formation continue test, animée par les concepteurs de parcours eux-mêmes ou par d'autres formateurs. Les groupes de stagiaires n'étaient pas, au départ, des communautés de pratique, mais, dans la constitution des groupes de stagiaires et dans la mise en œuvre du stage lui-même, les formateurs ont été attentifs à mettre en place des conditions d'émergence de telles communautés. Pour ce faire nous sommes appuyés sur l'expérience d'un dispositif de formation continue antérieur : le SFoDEM.

7.3.2 Modèles de ressources : l'expérience du SFoDEM

Le SFoDEM (Guin *et al.* 2008) était un collectif appuyé sur l'IREM de Montpellier ([http – IREM de Montpellier](http://IREM de Montpellier)), regroupant une centaine de stagiaires, dans cinq groupes de formation, autour d'un objectif de travail documentaire intégrant les TICE. La durée longue de ce dispositif (5 ans) a permis la mise en évidence de processus conjoints : la genèse de communautés de pratique au sein de chacun des groupes de formation et la genèse de systèmes de ressources partagées. L'apparition, au

terme de ce processus, d'un CV (curriculum vitae) attaché à chaque ressource, donnant à voir les principales étapes d'évolution de la ressource à travers l'expérience de ses concepteurs initiaux et de ses *concepteurs dans l'usage* (Chap. 3) témoigne de cette imbrication de la participation et de la réification. Plus généralement, l'étude du SFoDEM a mis en évidence un élément crucial pour les genèses conjointes des communautés et de leurs ressources : la genèse du système de ressources d'une communauté nourrit, et est nourrie par, la genèse de *modèles communs* pour ces ressources partagées. Dans le cas du SFoDEM, le modèle consiste en une structure commune de chaque ressource, ensemble de fiches interreliées (dont le CV, cf. ci-dessus). Si l'on entre dans chacune des fiches qui compose le modèle, on trouve plus qu'une structure : un condensé d'expérience des acteurs de la communauté, qui renseigne les nouveaux utilisateurs des ressources qu'elle a conçues, et qui peut servir de canevas pour les membres de la communauté, appuyant l'écriture de nouvelles ressources. La genèse de modèles apparaît comme un résultat et une condition de la genèse d'un système de ressources de la communauté.

Prenant appui sur ces travaux, nous avons cherché, dans le cas de Pairform@nce, à suivre la genèse de modèles communs dans les collectifs impliqués, et à assister le travail des différents acteurs.

7.3.3 *Emergence conjointe d'un modèle de parcours et d'une communauté de concepteurs*

Le groupe de recherche réunit, initialement, trois ateliers de conception, partageant l'objectif de réaliser des parcours dans un même programme institutionnel. Il rassemble non seulement des personnes qui élaborent concrètement les parcours, mais également des chercheurs qui interagissent avec eux, jouant le rôle de pilotes. A partir de diverses ressources : le cahier des charges du concepteur (proposé par le programme Pairform@nce), l'expérience de projets antérieurs, les ressources élaborées pour l'un ou l'autre des trois parcours (proposées, discutées et adoptées par tous les concepteurs), un système de ressources du groupe de recherche s'est progressivement constitué. Plus précisément, l'engagement commun des membres du groupe (concevoir des parcours), la participation régulière à ses discussions, se réifient en des objets partagés, qui constituent des ressorts pour le travail de chacun (pour un bilan de cette recherche sur ce point, Gueudet *et al.* à paraître) :

- s'agissant de la conception de ressources (les parcours) destinées à d'autres utilisateurs que les concepteurs initiaux, une réflexion sur les conditions de leur appropriation était décisive : quels éléments de précision apporter sur la mise en œuvre des parcours, sur l'organisation et la répartition des tâches ou sur l'approfondissement possible du contenu de la formation ? Fallait-il penser ces aides pour les formateurs seulement ? Ou pour les formateurs et les stagiaires ? Fallait-il penser cette assistance sous la forme d'outils placés à des endroits clés du parcours, comme l'historique ou l'agenda, ou de façon plus continue ? Proposée systématiquement au formateur, ou disponible à la demande ? Cette discussion correspond exactement à ce que Wenger (*ibidem*) appelle la *négociation du sens* des objets partagés, constitutive du développement des communautés de pratique, au cœur de la dialectique participation/réification ;

- la discussion du groupe de recherche s'est focalisée sur les *modèles* des ressources incluses dans chaque étape des parcours, dans un mouvement d'instrumentalisation, parfois pour les enrichir (par exemple pour la fiche de « courte présentation d'un parcours de formation »), parfois pour ajouter une nouvelle ressource non prévue ; par exemple, ont été ajoutés un « calendrier » et un « historique » de formation » (restituant les germes à partir desquels le parcours avait été constitué et explicitant les choix des concepteurs, à l'instar du CV du SFoDEM).

La conception de ces modèles relève de ce que Fischer et Ostwald (2003) appellent *méta-design* ; on peut les considérer comme des *graines* (seeds, *ibidem*) pour la conception d'autres parcours. Au-delà de la réalisation des parcours de formation dont ils avaient la charge, les concepteurs ont été placés dans une situation où les questions posées étaient : quels sont les éléments structurants d'un parcours de formation, comment faciliter l'appropriation de ces parcours par des formateurs sans les contraindre, quels outils incorporer dans un parcours et sous quelle forme, etc. La capacité du groupe de recherche à construire des réponses communes à ces questions constitue la marque du développement d'une communauté de pratique. Plus qu'un système de ressources communes, ce sont des éléments de systèmes documentaires qui sont partagés dans cette communauté. Des connaissances professionnelles de formateur sont développées, en particulier : penser les contenus et l'organisation d'une formation comme un problème professionnel (Chap. 2), dont la solution n'est pas entièrement donnée par sa propre expérience, mais doit être construite avec un ensemble d'acteurs. Certaines de ces connaissances dépassent les spécificités disciplinaires ; elles contribuent au développement des systèmes documentaires de tous les concepteurs engagés dans le groupe de recherche.

7.3.4 Emergence de communautés de stagiaires et conception de ressources

Nous allons nous intéresser maintenant à la formation test de l'un des trois parcours conçus pendant la première année de la recherche. Il s'agit de l'un des deux parcours de mathématiques, consacré à l'individualisation, appuyé sur l'intégration de bases d'exercices en ligne, et conçu par une équipe conjointe IREM-IUFM de Bretagne.

Six équipes de stagiaires ont participé à cette formation ; chacune était constituée de 2 à 5 professeurs d'un même collège, qui élaboraient ensemble une séquence, et devaient, de plus, s'observer mutuellement lors de sa réalisation. Tous les fichiers relatifs à la préparation comme à l'observation étaient déposés sur la plate-forme de la formation. Nous disposons donc de ces fichiers, ainsi que d'un questionnaire rempli individuellement en fin de séquence. Nous avons assisté aussi à la réalisation d'une séance pour chacune des équipes. Clarisse et Chantal constituent l'une de ces équipes.

Clarisse et Chantal, une séquence sur angles inscrits, angles au centre

Clarisse, 39 ans, a un fort degré d'intégration des TICE (elle est titulaire d'un master d'informatique) ; elle est impliquée dans les activités de l'IREM. Chantal, 38 ans, a également un fort degré d'intégration des TICE ; elle est formatrice en formation continue. Clarisse et Chantal travaillent dans le même collège depuis la rentrée 2005. Elles ont l'habitude de collaborer pour élaborer des sujets de brevet blanc, mais elles n'avaient jamais conçu ensemble de séquence avant cette formation.

Clarisse et Chantal ont choisi d'élaborer une séquence sur le thème « Angles et Cercles » pour leurs élèves de 3^e (grade 9) qui disposent d'ordinateurs portables prêtés par le conseil général (nommés Ordi 35, nous utilisons ensuite cette appellation). Cette séquence comporte quatre séances de 55 minutes : S1, introduction du vocabulaire ; S2, conjecture et démonstration d'un premier théorème (relation entre angle inscrit et angle au centre) ; S3, démonstration d'un deuxième théorème (relation entre deux angles inscrits) et exercices d'application ; S4, problèmes.

Clarisse et Chantal ont toutes deux mis en œuvre cette séquence ; un décalage dans le temps a permis à Chantal de modifier la séance 2, qu'elle avait observée dans la classe de Clarisse avec le support d'une fiche d'observation proposée dans le parcours et qui ne s'était pas passée conformément aux attentes des enseignantes. Lors de cette séance, les élèves devaient manipuler une succession de figures animées de GeoGebra ([http – Geogebra](http://www.geogebra.org)) préparées par les enseignantes pour conjecturer, puis démontrer le théorème de l'angle au centre. Les élèves ont bien formulé la conjecture attendue, mais la grande majorité d'entre eux n'a pas réussi à avancer dans la démonstration.

Toutes les séances ont eu lieu dans une salle de classe ordinaire, équipée d'un vidéo-projecteur. Les élèves et l'enseignante étaient équipés d'Ordis 35, qui ont été utilisés pour les trois premières séances. Les élèves ont travaillé sur MeP en S1 et S3, et sur le logiciel de géométrie dynamique GeoGebra en S2 et S3. Des supports papiers complémentaires étaient fournis, certains étaient à renseigner avec des conjectures issues de l'observation de figures animées, les étapes de la démonstration des théorèmes, et les scores obtenus sur MeP.

Nous observons le recours, par les enseignantes, à de nombreuses ressources : les logiciels MeP et GeoGebra, les Ordis 35, le vidéo-projecteur. Dans leur travail de préparation, elles ont aussi fait appel aux instructions officielles et à différents sites Web. Nous avons relevé, en analysant les données collectées, de nombreux phénomènes liés aux genèses documentaires, nous allons en donner ici quelques exemples.

Clarisse a développé un ensemble de documents pour la famille d'activité [C/O technique] (Chap. 3), au fil de ses trois années de travail avec des élèves de 3^e équipés d'Ordis 35. Elle fait travailler ses élèves pendant quelques minutes sur des exercices MeP pendant une séance. C'est la présence des Ordis 35 qui permet cet emploi de MeP, proche de celui d'un manuel papier (effet d'un processus *d'instrumentation*, Chap. 3). Notons que ce dispositif ne permet pas à Clarisse d'accéder directement aux scores des élèves, que fournit uniquement la version réseau de MeP ; elle demande donc aux élèves de noter eux-mêmes leurs scores (effet d'un processus *d'instrumentalisation*, Chap 3). Ainsi le système documentaire de Clarisse comporte, pour le travail de la technique relatif à différents thèmes mathématiques, des documents ayant en commun une partie matérielle qui inclut les Ordis 35 et des extraits de MeP téléchargé ; une partie schème avec des règles d'action du type « l'introduction

d'un nouveau théorème doit être suivie d'exercices d'application immédiats ».

Ces éléments de documents, développés par Clarisse avant la formation, interviennent dans le travail documentaire commun. Chantal fait télécharger MeP à ses élèves sur leurs Ordi 35, met en œuvre cet emploi souple de MeP prévu dans la séquence commune ; ceci constitue l'amorce d'une genèse documentaire, susceptible de faire évoluer le système documentaire de Chantal, en y intégrant des documents issus du travail commun.

Chantal et Clarisse ont toutes deux développé, avant la formation, au cours de leur emploi de logiciels de géométrie dynamique, un document pour des classes de situations du type : « Concevoir et mettre en œuvre des moments de découverte d'un théorème de géométrie ». La partie matérielle de ce document inclut notamment un logiciel de géométrie et des ordinateurs. Pour la partie schème, on peut inférer qu'elle comporte une connaissance professionnelle du type : « un logiciel de géométrie dynamique est un support propice à la formulation de conjectures par les élèves ». Chantal et Clarisse tentent ici, de plus, d'utiliser le logiciel de géométrie pour faire trouver aux élèves les étapes de la démonstration, mais sans succès. On peut supposer que cet épisode a renforcé chez ces enseignantes la connaissance citée ci-dessus à propos de la conjecture. Il a pu aussi les amener à retenir qu'une succession de figures préparées avec un logiciel de géométrie dynamique n'est en revanche pas une aide suffisante pour que les élèves trouvent eux-mêmes les différentes étapes d'une démonstration.

Clarisse et Chantal n'ont pas utilisé, pour la préparation de leur séquence, le canevas de description de séquence proposé dans le parcours. Elles ont élaboré en commun une description de la séquence donnant la liste des séances, avec pour chacune un intitulé et la liste de fichiers (fiches élèves sur traitement de texte, ou fichier GeoGebra) utilisés. Elles ont déposé l'état final de cette description, ainsi que la fiche canevas remplie, sur la plate-forme de la formation pour préparer le bilan final. Les autres équipes ont souligné qu'il était plus simple d'appréhender la séquence, les choix faits, à partir de la fiche canevas remplie, plutôt qu'à partir du descriptif retenu par Clarisse et Chantal. Par ailleurs, Clarisse et Chantal ont utilisé pour leur observation le support de la fiche proposée dans le parcours, et ont trouvé que celle-ci avait joué un rôle important pour les modifications introduites entre les deux séquences, et pour celles envisagées ultérieurement. Ainsi une partie des ressources proposées dans le parcours n'ont pas été intégrées dans le travail documentaire de Clarisse et Chantal, c'est en particulier le cas de la fiche de description de séquence, mais également de la plate-forme distante à laquelle elles n'ont pas eu recours. Elles se sont, en revanche, approprié la fiche d'observation, et le dispositif d'observation croisée. Dans le questionnaire final, Clarisse et Chantal ont déclaré que la formation les avait amenées à développer un travail collaboratif, au-delà de cette séquence, expression de la genèse d'une communauté.

Nous retenons ici que les ressources proposées permettent un travail documentaire commun, et la genèse de communautés de stagiaires. Nous l'avons observé pour Clarisse et Chantal, comme pour les autres équipes de stagiaires, en particulier l'équipe à laquelle appartenait Corinne (Chap. 3) et sa collègue Valérie. Dans ce cas nous avons pu observer un travail commun nettement postérieur à la formation [Pairform@nce](#), à laquelle Corinne attribue un rôle déterminant dans ce travail commun : « On a travaillé ensemble là l'année dernière au stage Pairform@nce, bon on y a consacré quand même pas mal de temps, et on avait trouvé ça intéressant. Du coup on avait eu l'idée de se réunir une fois par mois un soir pour bosser sur un chapitre ».

Les recherches sur le programme Pairform@nce se poursuivent, en considérant en particulier les processus d'appropriation par les formateurs de parcours proposés dans un catalogue national. Ces processus dépendent sans doute des parcours eux-mêmes, de la distance qu'il y a entre les ressources propres des formateurs et celles qui constituent les parcours, enfin du contexte dans lequel les formateurs exercent leur activité de formateur. Nous faisons l'hypothèse que ce que nous avons observé pour les concepteurs et les stagiaires sera aussi valide : l'importance d'un collectif soutenant le travail documentaire des acteurs impliqués, la constitution d'un système de ressources communes produit et ressort des genèses documentaires de chacun des acteurs impliqués dans le collectif.

7.4. Discussion

Nous avons considéré, ici, deux communautés de pratique, la première de type associatif, la deuxième institutionnelle. La frontière n'est pas franche entre ces deux types :

- Sésamath conçoit nécessairement son développement en relation avec l'institution Education Nationale (Figure 1), son développement est pensé par un CA, par des interactions avec des chercheurs, régulé par des membres de l'association qui prennent des responsabilités particulières en pilotant un projet (par exemple, § 7.2, Pierre et les manuels scolaires de la classe de 6^e) ;
- des collectifs institutionnels, comme ceux constitués à l'occasion des stages Pairform@nce, se développent d'autant mieux en communautés de pratique qu'ils abritent des noyaux de professeurs se côtoyant de près, ou avec une expérience antérieure commune.

On peut dire que les communautés qui se développent ont toujours des frontières mouvantes ; leurs membres peuvent jouer différents rôles au cours du temps et selon le type d'activité. Dans le travail documentaire des communautés que nous avons suivies, il y a à la fois *travail documentaire partagé*, que l'on pourrait mettre en relation avec l'idée d'*action conjointe* dans la classe (Sensevy & Mercier 2007) et travail différencié suivant les positions dans la communauté, les modèles apparaissant comme le fruit de ces interactions « inégales » entre chercheurs et concepteurs, entre formateurs et stagiaires, entre membres de l'association en son cœur et à sa périphérie.

Nous avons parlé en introduction d'une dynamique du collectif, nous avons vu, à travers les exemples traités dans ce chapitre, que cette dynamique était entrelacée avec la dynamique des genèses professionnelles et des genèses documentaires.

La figure 3 représente le jeu entre le système de ressources et le système documentaire d'un individu : chaque individu dispose d'un système de ressources qu'il engage dans des familles d'activité. Cet engagement est le moteur de genèses documentaires. Les documents qui en résultent donnent matière à de nouvelles ressources. Des « frottements » se produisent entre documentations individuelle et communautaire, à quatre endroits :

- immergé dans un collectif, un individu bénéficie de nouvelles ressources qui enrichissent son système propre de ressources ;
- il met aussi en partage, au bénéfice du collectif, ses propres ressources, qui vont être utilisées par d'autres acteurs, donc révisées, ce qui se traduit par une évolution possible de ses ressources initiales ;
- dans la genèse d'une communauté de pratique, ce sont aussi les classes de situations qui sont discutées et qui peuvent évoluer (par exemple pour Clarisse et Chantal : comment concevoir et mettre en œuvre des moments de découverte), influant naturellement sur le développement des documents correspondant à ces familles ;

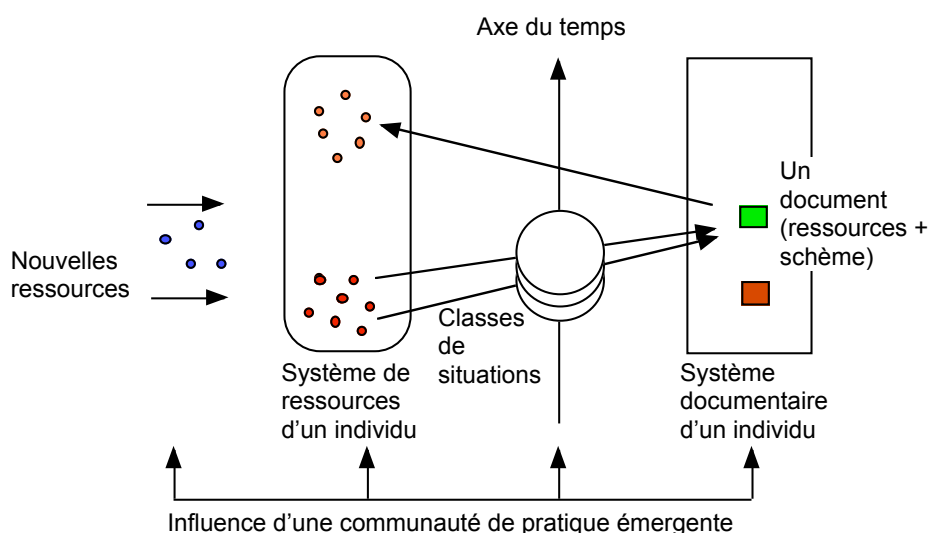


Figure 3. Représentation schématique des influences d'une documentation communautaire sur une documentation individuelle

- enfin ce sont les invariants opératoires, au cœur des systèmes documentaires, qui peuvent être influencés par le travail documentaire communautaire, comme nous l'avons évoqué dans le cas de Clarisse et Chantal, qui ont développé au cours de leur travail commun un invariant du type « une succession de figures construites avec un logiciel de géométrie dynamique n'est pas une aide suffisante pour que les élèves trouvent une démonstration ».

Dans ce chapitre, nous avons beaucoup évoqué les systèmes de ressources communautaires, et assez peu les systèmes de documents communautaires, même pour Pierre (§7.2), alors qu'il y a, dans ce cas, une forte imbrication des systèmes de ressources individuel et communautaire. Les systèmes documentaires sont en effet des structures profondes, qui engagent l'expérience d'un individu, qui ne sont que momentanément et partiellement communautaires. Il n'y a ainsi sans doute pas de systèmes documentaires communautaires, mais des objets qui concentrent des éléments de genèses documentaires communautaires, comme les modèles, qui sont de l'ordre du « langage ressource commun ». Nous avons aussi seulement effleuré (dans le cas de Pierre) l'efficacité du travail documentaire collectif des professeurs du point de vue de l'enseignement et du point de vue de la qualité des ressources. Cette étude, pour l'essentiel, reste à faire.

Revenons à l'idée de miroir qui donne son titre à ce chapitre. Ce titre a une première interprétation simple : le système de ressources d'une communauté donne une image de la communauté et réciproquement. Nous voulons aussi donner une deuxième interprétation, plus profonde, du miroir : parler de construction en miroir, c'est évoquer la nécessaire réflexivité des communautés. L'image de la communauté donnée par son système de ressources est utile au chercheur pour l'analyse ; elle est également essentielle à la communauté, qui peut appuyer son développement sur la compréhension que lui donne ce reflet d'elle-même. C'est ainsi en travaillant leur propre histoire que les concepteurs Pairform@nce (Gueudet *et al.* 2008) a pu mettre en évidence les ressorts de son développement, et des genèses professionnelles des professeurs impliqués.

Notre étude a procédé par « zooms out » successifs. Nous avons montré (Chap. 3) comment l'étude de l'activité du professeur supposait de la situer dans le cours d'une genèse documentaire qui l'embrasse hors et en classe, aux prises avec un ensemble de ressources qu'il *met au travail*. Ce point de vue « ressources » nous a conduits ensuite à situer le professeur dans un ensemble de collectifs où vivent ces ressources. Il serait sans doute nécessaire, cette fois-ci par un mouvement de « zoom in », de considérer plus précisément ce qui se joue à l'intérieur de ces collectifs, sur la durée, parmi les membres d'une liste de diffusion ou les professeurs de mathématiques d'un même établissement (ce que nous avons partiellement fait dans le chapitre 3). Nous nous sommes penchés ici sur des communautés extraordinaires, mais l'extraordinaire se joue aussi sous l'ordinaire apparent du travail professeur. C'est ce à quoi l'étude fine du travail documentaire, individuel et collectif, donne accès.

Références

Dillenbourg, P. (ed.) (1999). Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches. Advances in Learning and Instruction Series, New-York: Elsevier Science

Engeström, Y. (1999). Activity Theory and Individual and Social Transformation, in Y. Engeström, R. Miettinen, R.L. Punamäki (eds.), *Perspectives on Activity Theory (Learning in doing: Social, Cognitive, and Computational Perspectives)* (pp. 19-38). New York: Cambridge University Press.

Fischer G., Ostwald J. (2003). Knowledge Communication in Design Communities, in R. Bromme, F. Hesse, H. Spada (eds.), *Barriers and Biases in Computer-Mediated Knowledge Communication* (pp. 1-32). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Geogebra, logiciel libre et multi-plateformes, et dynamique de mathématiques réunissant géométrie, algèbre et calcul différentiel <http://www.geogebra.org/cms/index.php?lang=fr>

Gueudet, G., Soury-Lavergne, S., Trouche, L. (à paraître). Soutenir l'intégration des TICE : quels assistants méthodologiques pour le développement de la documentation collective des professeurs ? Exemples du SFoDEM et du dispositif Pairform@nce. *Colloque DIDIREM*, Paris.

Gueudet, G., Trouche, L. (2008). Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. Le cas des mathématiques. *Education et didactique*, 2.3, 7-33.

Gueudet, G., Trouche L. (2009). Conception et usages de ressources *pour et par* les professeurs : développement associatif et développement professionnel, *Dossiers de l'Ingénierie Educative*, 65, 78-82.

Guin, D., Joab, M., Trouche, L. (dir.). (2008). *Conception collaborative de ressources pour l'enseignement des mathématiques, l'expérience du SFoDEM: 2000-2006*, cédérom. INRP & IREM (Université Montpellier 2).

IREM, portail des Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, <http://www.univ-irem.fr>

Pairform@nce, répertoire de parcours de formation continue en ligne, ministère français de l'éducation nationale <http://www.pairformance.education.fr/>

Pastré, P. (2005). Genèse et identité, in P. Rabardel, P. Pastré (dir.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectique activités développement* (pp. 231-259). Toulouse : Octarès.

Pédauque, R. T. (coll.) (2006). *Le document à la lumière du numérique*. Caen : C & F éditions.

Pochard, M. (2008). *Livre vert sur l'évolution du métier d'enseignant*. Ministère de l'éducation nationale, en ligne à l'adresse <http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/084000061/0000.pdf>

Sabra, H. (2008). *Interaction entre systèmes documentaires individuels et communautaire. Etude dans le cadre du projet e-CoLab*. Mémoire de master HPDS, Université Lyon 1.

Sensevy, G., Mercier A. (2007). *Agir ensemble, l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*, Editions Presses Universitaires de Rennes.

Sésamath, portail de l'association du même nom, qui veut promouvoir des mathématiques pour tous, <http://www.sesamath.net/>

Wenger, E. (1998). *Communities of practice. Learning, meaning, identity*. New York: Cambridge University Press.

Chap. 8 - Formes de l'intention didactique, collectifs, et travail documentaire

Gérard Sensevy

Comprendre l'action de quelqu'un, cela signifie en particulier comprendre son *intention*. Comprendre cette intention, ou ce système d'intentions, ce n'est pas certes comprendre forcément toute son action (en particulier ses conséquences), mais c'est en comprendre une partie essentielle. Un tel énoncé, toutefois, pourrait laisser place à une forme de solipsisme (les intentions tiennent à l'individu propre), et de mentalisme (les intentions sont dans la tête). Tout au contraire ce texte défendra et illustrera une autre conception, dans laquelle les intentions sont considérées comme toujours plus ou moins *partagées* et toujours plus ou moins *externes* à l'individu. Dans une telle perspective, ce chapitre est consacré à la compréhension de la manière dont les intentions se forment dans un *système de ressources* (Gueudet & Trouche Chap. 3, Chap. 7), et sont donc appréhendées comme issues en grande partie du travail documentaire effectué par le professeur, la notion de travail documentaire étant définie comme suit :

« Le professeur cherche des ressources, les sélectionne ; celles-ci sont *travaillées* (adaptées, révisées, réorganisées...), au cours de processus articulant étroitement conception et mise en œuvre : c'est l'ensemble de ce travail que nous nommons *travail documentaire* » (Gueudet & Trouche Chap. 3).

8.1 Introduction

Cette contribution se situe dans le cadre de la *théorie de l'action conjointe en didactique* (notamment Sensevy & Mercier 2007, Schubauer-Leoni *et al.* 2007, Ligozat 2008, Amade-Escot & Venturini 2009). Au sein de cette théorie, le travail du professeur et des élèves peut se concevoir sous la description de deux moments articulés : l'activité didactique *in situ*, au sein de laquelle le professeur *fait jouer* le jeu didactique ; la préparation de cette activité, lorsque le professeur *construit* le jeu qu'il va mettre en œuvre (Assude Chap. 18). La morphogenèse des intentions, que nous pensons trouver dans le travail documentaire, constitue ainsi le trait d'union entre la construction du jeu et le jeu effectif que le professeur institue.

Nous nous appuyons dans ce chapitre sur la description de pratiques de professeurs particuliers, mais notre premier objectif est théorique, et vise à la proposition d'éléments conceptuels susceptibles de mieux rendre compte, à la fois, des relations entre intentions et action didactique, des relations entre préparation de la classe et mise en œuvre effective, et de la manière dont ces relations se déploient au sein d'un collectif qui peut dans certains cas produire un *style de pensée* (Fleck 2005, p.161), système de catégories partagées dans ce collectif qui produit finalement une « disposition pour une perception dirigée ».

Nous proposons alors une description du processus de construction du jeu qui repose sur trois assertions liées dont ce chapitre représente le travail : i) les documents issus du système de ressources que le professeur a mobilisé (au sein du processus conceptualisé par Gueudet & Trouche Chap. 3, Chap. 7) constituent une source essentielle de son action ; ii) les intentions didactiques *préalables* du professeur ne sont à rechercher ni « dans sa tête », ni « en situation », mais dans la relation dialectique entre la matière des ressources et documents, et son anticipation du déroulement *in situ* du jeu. Les intentions didactiques *en action* résultent de la relation dialectique entre les intentions didactiques préalables et le jeu *in situ* actualisé dans les transactions didactiques¹ ; iii) ce processus ternaire qui *connecte* documents, intentions préalables et intentions en action tient, à des degrés variables, qu'il faut théoriquement et empiriquement préciser, de l'inscription de l'action des individus dans une structure collective.

Dans une première partie de ce chapitre, à partir de Baxandall (1991), nous élaborons un cadre destiné à appréhender d'une manière générique les intentions, et la manière dont les intentions préalables fonctionnent comme des règles stratégiques qui vont conduire le jeu du professeur. La seconde partie du chapitre est consacrée à l'étude de trois exemples empiriques qui peuvent donner une certaine matière au cadre précité. Nous montrons en particulier comment les intentions préalables, en tant que règles stratégiques, sont puisées dans la matière des ressources dans lesquelles se déploie l'activité documentaire, et comment les stratégies qu'elles engendrent tiennent

¹ Pour une étude de la distinction intentions préalables/intentions en action, cf. Pacherie (2007), qui distingue au premier niveau (intentions préalables) les intentions dirigées vers le futur (par exemple celles du professeur au moment de la préparation de la classe), et au second niveau (intentions en action) les intentions dirigées vers le présent et les intentions motrices (par exemple celles du professeur au moment où il fait classe).

également à la structure des milieux propres à l'action didactique *in situ*. Dans la troisième partie du chapitre, nous revenons pour conclure sur la notion de *style de pensée*.

8.2 Les formes de l'intention didactique

Dans son livre (1991), Baxandall tente de construire un système de descriptions des intentions de certains artistes relativement à certains tableaux précis. Pour cela, il construit d'abord un cadre générique des formes de l'intention en étudiant comment un ingénieur anglais, Benjamin Baker, construit, dans l'est de l'Écosse, un pont sur le Forth. Pour résumer les conceptions de Baxandall, on peut retenir ceci :

« Lorsque je parle d'intentions, je ne parle ni d'un état psychologique assignable à un individu, ni même d'un ensemble d'événements qui auraient pu se produire, à un moment donné, dans le cerveau de Baker ou de Picasso et à partir desquels – s'il m'était possible de les connaître – je pourrais interpréter le pont sur la Forth ou le *Portrait de Kahnweiler*... L'intention, c'est l'aspect "projectif" des choses. Il ne s'agit donc pas de reconstituer l'état d'esprit dans lequel a pu se trouver, à un moment donné, tel ou tel individu, mais de comprendre *les conditions d'apparition d'un objet*. » (Baxandall 1991, p. 80). Notons dès à présent l'importance de « trois termes qui doivent me permettre de reconstituer une situation » (*the triangle of re-enactment*) : il y a une situation donnée (premier terme), un problème né de cette situation (second terme), et l'objet-solution (troisième terme). Donc, pour expliquer l'histoire d'un objet (le pont sur le Forth ou un tableau), « on peut tenter de voir en lui la solution d'un problème lié à une situation donnée, en tâchant de retrouver les liens logiques existant entre ces trois termes » (Baxandall 1991, p. 69).

Voici comment Baxandall résume son enquête à propos du pont sur le Forth : « nous sommes d'abord tombés sur un *mot d'ordre* [charge] de portée générale à laquelle un agent, Benjamin Baker, devait répondre, et nous avons noté que s'il pouvait tenir en une expression – Faire un pont ! – il traçait un cadre d'action qui nous livrait, en quelques termes généraux, plusieurs aspects du problème. De là, nous avons progressé vers des termes qui définissaient directement le problème, termes que j'ai appelé des directives [*the brief*]... L'important, c'est que les conditions locales de Queensferry venaient ainsi donner un contenu au *mot d'ordre général* du début, ce qui nous permettait enfin de le traiter comme un problème précis susceptible d'être résolu. Ce mot d'ordre et ces directives semblaient, une fois réunis, constituer le *problème* dont le pont était la solution. » (Baxandall 1991, p. 69).

Pour finir de rapporter le cadre fourni par Baxandall, je m'arrêterai un instant sur la question évoquée plus haut des « conditions d'apparition d'un objet » [the relation between an object and its circumstances], qui lui permet de préciser le rôle majeur que jouent, dans la production des intentions, les institutions productrices de « genres », et les savoir-faire [skills].

Nous pouvons maintenant retenir un premier cadre formel pour la description des intentions, que nous projeterons ensuite sur la description des intentions didactiques.

1. Les objets (et les actions) peuvent toujours se décrire en tant que solutions à un problème particulier. Pour comprendre un objet ou une action, il est donc utile de se poser la question du problème auquel ils sont censés répondre, et qui, d'une certaine manière, les a façonnés.

2. Les intentions sont inhérentes aux objets matériels et aux milieux dans lesquels ces objets (et les actions) sont situés. Pour comprendre l'intention d'un agent dans une situation, avant même que de l'interroger ou de simuler son raisonnement *ex abrupto*, on essaiera de comprendre en quoi les milieux symboliques et matériels au sein desquels il agit vont l'amener à telle ou telle intention. Dans cette perspective, les objets matériels eux-mêmes (par exemple les outils) sont pourvoyeurs d'intentions. Il semble important, alors, de reprendre et développer la notion d'« affordance », qui rend compte du fait que les objets peuvent être conçus comme instanciant des comportements et donc comme pourvoyeurs d'intention à travers l'attention qu'ils appellent² (Gibson, 1979, p. 134). Mais plus largement, c'est bien le milieu symbolique, et donc la connaissance du jeu que les agents sont amenés à jouer en situation qui peut donner accès aux intentions. L'un des aspects fondamentaux de ce milieu symbolique est qu'il ne se limite pas à l'action *in situ* et *hic et nunc*. Pour la plupart d'entre elles, nos actions sont *préparées*.

3. Il est utile et pertinent de considérer ces intentions à divers niveaux de granularité (spécificité). Baxandall distingue ainsi les « mots d'ordre » (*charge*) qui peuvent « résumer » l'intention générale propre à une action déterminée, des « directives » (*briefs*) qui caractérisent *localement* ces intentions.

² L'un des enjeux de la reprise de la notion d'affordance pourra résider alors dans la meilleure description de la dialectique instrumentation/instrumentalisation (notamment Gueudet & Trouche Chap. 3).

4. Les intentions sont donc à concevoir dans un cadre plus large que celui de l'épistémologie commune. Liant l'identification du jeu auquel jouent les agents et la prise en compte des diverses granularités de description des intentions, on lira donc les intentions à la fois dans les catégories de perception et d'action qui sont fournies par les institutions et les *styles de pensée* qu'elles actualisent, et dans les capacités inhérentes au « maniement » de tel ou tel objet. Ce faisant, on sera toujours amené à considérer comme primordial l'aspect *collectif* des intentions, en même temps que leur aspect *praxique*.

Les quatre dimensions du cadre qui précède (intentions liées à un problème ; intentions inhérentes aux milieux de l'action et de la préparation de l'action ; intentions à décrire à diverses granularités ; intentions trouvées à la fois dans les collectifs et dans les capacités) peuvent et doivent être spécifiées au didactique, et plus précisément à cette situation du professeur qui « prépare son cours » (Margolinas & Wozniak Chap. 13).

Il faut prendre conscience de la spécificité de cette situation. Dans le travail documentaire, le professeur tire des ressources d'un milieu donné pour les agencer en documents, qu'on peut considérer, en suivant Gueudet et Trouche (Chap. 3), comme des artefacts pris dans un schème d'utilisation. On voit la structure intentionnelle particulière propre au travail documentaire. Le professeur, en relation plus ou moins importante avec un collectif, sélectionne des ressources en fonction de certaines intentions, et l'agencement qu'il produit à partir de ces ressources redéfinit en retour ce système d'intentions, qui sera encore réorganisé dans le cours d'action effectif. Structure intentionnelle et structure actionnelle se co-déterminent ainsi dans le document qui constitue d'une certaine manière la condition et l'effet de cette co-détermination.

La seconde partie de ce chapitre sera consacrée à l'étude empirique de certains éléments de ce processus.

8.3 Les intentions didactiques : une étude empirique

La courte étude empirique qui suit va nous permettre un premier usage de la structure théorique qui précède. Pour cela, nous allons nous référer à trois exemples, dans trois disciplines différentes (mathématiques, découverte du monde, littérature) à l'école élémentaire. Chacun de ces exemples, nous le verrons, intègre la collectivité de l'intention d'une manière particulière.

8.3.1 Une intention préalable et son actualisation dans la course à 20 à l'école élémentaire

Dans des travaux antérieurs (notamment Sensevy *et al.* 2000, Sensevy *et al.* 2005) nous avons analysé des mises en œuvre de la course à 20, *situation adidactique* longuement travaillée par Brousseau (1998) comme paradigme possible d'étude des situations adidactiques. Nous avons produit ces analyses dans la perspective de mieux comprendre comment les professeurs, *in situ*, géraient la situation, et à quels phénomènes didactiques généraux cette régulation pouvait renvoyer. Nous allons nous attacher, en développant un travail antérieur (Sensevy 2002), à voir comment, pour un professeur particulier, le travail documentaire a pu produire certains effets.

Notons que, dans ce cas présent, ce travail documentaire a consisté, pour le professeur, à prendre connaissance de la situation simplement décrite³, avant de se prêter à un entretien portant sur la lecture qu'il avait faite de la description de cette situation, notamment du point de vue des anticipations qu'il pouvait produire du comportement des élèves. Dans le cas qui nous intéresse, le professeur explicite clairement, lorsqu'on lui demande de faire part de ce qu'il anticipe en tant que comportements d'élèves, le fait que les élèves vont se focaliser sur la parité. Il lui semble très probable que pour certains d'entre eux la « suite gagnante » à la course à 20 soit constituée de nombres pairs. Dans le vocabulaire précédemment ébauché, on pourrait dire donc qu'une intention a pris jour dans la lecture que le professeur a faite du document, liée à son entretien avec le chercheur. Cette intention est directement issue du problème que le professeur a cru pouvoir anticiper dans l'effectuation de la séance telle qu'elle est virtualisée dans le document. Cette intention préalable pourrait s'explicitier linguistiquement sous la forme « Attention à la parité ! ». On pourrait y voir une sorte de « directive », correspondant aux « conditions locales » de la course à 20 lorsqu'elle est travaillée avec des élèves de fin d'école primaire. Quoiqu'il en soit, cette intention préalable, née comme on l'a vu de la production d'un rapport professoral particulier à un document, va constituer une

³ La course à 20 oppose deux joueurs. Le premier dit 1 ou 2 ; le second ajoute 1 ou 2 au nombre produit par le premier et l'énonce. A son tour, le premier ajoute 1 ou 2 au nombre produit par le second et l'énonce. Ainsi de suite. Le premier qui a dit 20 a gagné. On peut modéliser cette situation au moyen de la division euclidienne. Pour des raisons liées à la logique de l'expérimentation, dans laquelle nous voulions observer le comportement « spontané » des professeurs dans cette situation, nous ne nous sommes pas engagés avec eux dans son étude.

potentialité de l'action conjointe. Le professeur s'attend à ce que la parité soit évoquée, ce qui peut, selon lui, être d'une certaine manière contre-productif dans la situation.

Que se passe-t-il dans l'action effective ?

i) Au début de la séance, dans l'un des groupes de quatre où travaillent les élèves, l'un d'entre eux conjecture que la suite gagnante est constituée de nombres pairs. Le professeur, qui assiste à ce moment-là au travail du groupe, ne réagit pas. ii) Plus tard dans la séance, de premiers « théorèmes » se sont décantés (17 est gagnant, 14 est gagnant). Retournant dans le groupe initial, le professeur exprime le fait que les élèves savent maintenant que 17 est gagnant, alors que l'un des élèves avait pourtant « conjecturé la parité ». Après avoir mis les élèves devant cette contradiction, il quitte le groupe. iii) Lors de la mise en commun institutionnalisante qui termine la séance, le professeur fait une rapide allusion au fait que le fait qu'un nombre soit pair ou pas n'est pas « opérant » pour la détermination de la suite gagnante.

On voit ici comment l'intention préalable (Attention à la parité !), issue du travail documentaire spécifique propre à la séance, a été productive d'intentions en action et de l'action elle-même. C'est le respect des équilibres didactiques (et en particulier l'équilibre chronogénétique) qui amène le professeur à ne pas réagir à la « conjecture parité » lorsqu'elle est émise pour la première fois par un élève. Notons ici que cette absence de réaction manifeste est une réaction effective. S'attendant à cette conjecture, le professeur choisit de la traiter par l'affectation d'ignorance. Sans doute ne veut-il pas cristalliser à cet instant du processus didactique une centration qu'il estime préjudiciable à l'avancée collective. Quand les choses ont progressé, et qu'il pourrait choisir de ne pas rappeler la conjecture fautive initialement proposée, le professeur la ravive au sein du groupe, puisqu'elle est maintenant susceptible d'être facilement réfutée. Ce comportement est consistant avec le sentiment professoral selon lequel la question de la parité est importante.

Pour comprendre le mode d'action de l'intention préalablement formée dans le travail documentaire du professeur, on peut se rendre conscient du fait que cette potentialité donne jour à un système stratégique particulier. On peut considérer « Attention à la parité ! », en tant qu'intention préalable, comme une *règle stratégique* (Hintikka & Sandu 2006). Cette règle stratégique, plongée dans le processus didactique effectif, amène à produire ici trois stratégies alimentées par le milieu transactionnel⁴ au sein duquel l'action conjointe se déroule : la première stratégie consiste à ignorer la conjecture proposée, pour des raisons à la fois chronogénétiques (elle vient trop tôt et n'est pas vraiment réfutable), mésogénétiques (le professeur pourrait la réfuter lui-même sans autre forme de procès mais l'attention qu'il accorde à la parité comme conception problématique importante chez les élèves ne peut que l'en dissuader), et aussi pour des raisons qui tiennent vraisemblablement à l'épistémologie pratique, « constructiviste », censée accompagner une telle situation ; la seconde stratégie consiste à revivifier la conjecture dans le groupe lorsqu'elle est réfutable ; la troisième stratégie tient au retour rapide sur la parité, en grand groupe, pour souligner sa non-pertinence dans la compréhension de la situation.

Dans son travail documentaire (en partie imposé par le dispositif de recherche), le professeur a produit une intention préalable (Attention à la parité !) qui a fonctionné pour lui comme une règle stratégique au sein du jeu didactique. Cette règle stratégique a engendré un système stratégique articulant trois stratégies. Identifier cette intention préalable, telle qu'elle est plongée sous forme de règle stratégique dans le milieu transactionnel, est rigoureusement nécessaire à la compréhension de l'action. L'exemple rapidement explicité ci-dessus montre qu'elle n'est nullement suffisante, puisque la *préfiguration de l'action* (Ligozat Chap. 16), qui constitue une part fondamentale du travail documentaire, appelle l'*accommodation in situ*. La manière dont le professeur « construit le jeu » (dans l'intention préalable et la règle stratégique qu'elle suscite) détermine en grande partie la manière dont il le « fait jouer » (on ne peut saisir la manière dont le professeur régule l'action des élèves si l'on ignore cette intention préalable), mais l'action concrète qu'il met en œuvre suppose le passage de la règle stratégique, déclarative et détemporalisée, à des stratégies qui reposent sur le « sens du jeu » qu'il est capable d'actualiser. Ce sens du jeu réside dans la perception chronogénétique et mésogénétique du professeur, et, plus localement encore, dans les techniques, les capacités, qu'il est capable de mettre en œuvre pour actualiser les stratégies qu'il produit. Par exemple, le fait de mettre le groupe devant une contradiction (17 est gagnant/les nombres pairs sont gagnants) suppose une habileté technique (*skill*) porteuse d'une intention en action qu'on ne peut bien

⁴ J'appelle *milieu transactionnel* le milieu constitué par les transactions professeur-élèves, qui détermine en partie la manière dont les élèves et le professeur reçoivent et perçoivent les éléments du milieu matériel ou objectif. Ici, par exemple, c'est bien parce que les transactions prennent une *certaine forme* que le professeur « convertit » la règle stratégique « Attention à la parité ! » en stratégie effective.

saisir que si on la pense enchâssée dans la structure intentionnelle dont le document, pour ce professeur, est virtuellement porteur.

On saisit sur cet exemple que la collectivité des intentions ne réside pas ici dans leur partage conscient ou leur distribution. La collectivité y est plutôt celle de l'arrière-plan constitué par une institution, qui produit par exemple une épistémologie pratique « constructiviste ». Cela ne signifie pas pour autant qu'elle en soit moindre : le style de pensée à l'œuvre, dans cette séance, impose des manières de faire et d'appréhender probablement aussi prégnantes qu'une production consciente d'intention. Un second exemple permettra maintenant d'aborder d'autres aspects de cette relation entre travail documentaire, action *in situ*, et collectivité.

8.3.2 Une intention préalable et son actualisation en sciences à l'école élémentaire

L'étude empirique a porté sur une séance de sciences (découverte du monde) à l'école primaire (Marlot 2008). Il s'agit d'une séance au cours de laquelle les élèves, en CE1 (deuxième primaire), étudient le lombric. Lors de la séance précédente, la classe a conçu le dispositif d'observation qui devrait permettre de répondre à la question suivante : « comment le lombric rentre-t-il dans la terre ? », dispositif qui consiste en un tas de terre disposé sur du papier journal et des lombrics.

En début de séance les élèves ont produit trois hypothèses explicatives du mode d'enfouissement du lombric : il pousse la terre ; il s'enfonce grâce à sa tête pointue ; il mange la terre.

À la différence de l'exemple précédent, cette situation ne repose pas sur un texte du savoir communiqué par l'équipe de recherche au professeur. Les trois professeurs enquêtés dans la recherche ont décidé, d'un commun accord avec le chercheur, de travailler sur le lombric, chacun à sa façon, et la recherche a consisté en partie à comparer les dispositifs élaborés par chaque professeur. Il existe, parmi d'autres, un point commun entre cette recherche et la précédente, c'est que les professeurs se sont prêtés, avant la mise en œuvre de la séance, à un entretien ante-séance, dans lequel ils ont retracé les grandes lignes du dispositif prévu, et, d'une manière analogue à l'exemple précédent, explicité certaines de leurs anticipations.

Lors de cet entretien, le professeur étudié dans cet exemple explique que l'un des objectifs de la séance consiste à faire en sorte que les élèves abandonnent la conception selon laquelle pour s'enfouir, le lombric avale la terre (« conception Pac-Man⁵ », selon Marlot (2008)). L'entretien permet donc de mettre au jour une intention préalable du professeur, qu'on pourrait labelliser sous la forme « Attention à la conception Pac-Man ». Comme dans le cas précédent, on peut reprendre ici le cadre formel ébauché pour comprendre que cette intention préalable naît d'un problème potentiellement issu du document qui préfigure la séance (le dispositif général d'étude des lombrics, tel qu'il a été adopté par les professeurs étudiés dans la recherche). Il est utile de comparer la genèse de cette intention préalable à celle décrite dans le paragraphe précédent. Dans les deux cas, le professeur effectue une anticipation sur un comportement d'élève enraciné dans une conception problématique (conception « parité » ; conception « Pac-Man⁶ ») ; dans les deux cas, cette anticipation s'effectue à partir de la situation pourvoyeuse à la fois de conception et d'action, le professeur produisant cette intention préalable à partir de la ressource que constitue la situation (la course à 20 ; la situation d'observation du comportement du lombric) ; enfin, dans les deux cas, l'intention préalable (Attention à la parité ! Attention à la conception Pac-Man !) est mise au jour dans un entretien, qui peut avoir renforcé sa prégnance.

L'analyse effective de la séance montre comment le professeur actualise cette intention préalable.

Lors de l'observation, les élèves sont répartis en cinq groupes. Quatre groupes sur cinq relèvent que les « lombrics poussent (dans) la terre », alors qu'un groupe précise que « les vers de terre avalent la terre et la recrachent ». Durant la phase d'échange argumenté qui suit l'observation, le professeur met alors en concurrence la proposition de ce dernier groupe avec la proposition des autres groupes. L'analyse précise de cette partie de la séance (Marlot 2008) montre alors les faits suivants. i) Le dispositif d'observation ne permet pas aux élèves d'étayer leurs propositions, qui résultent plutôt du choix quasiment *a priori* de l'une des « hypothèses ». ii) Le professeur actualise son intention préalable (Attention à la conception Pac-Man !) en incitant les élèves à réfuter la proposition du

⁵ Pac-Man, figure emblématique d'un jeu vidéo, est un personnage en forme de rond jaune doté d'une bouche, qui doit dévorer des « pac-gums » pour avancer au sein d'un labyrinthe.

⁶ On peut noter que cette « conception fautive » que le professeur veut éradiquer est en fait scientifiquement attestée. Dans certaines conditions, l'ingestion de la terre constitue, pour le lombric, un mode d'enfouissement, en lien avec des déterminants biomécaniques (squelette hydrostatique, et présence de soies). On peut donc dire scientifiquement que le lombric avale de la terre pour avancer dans le sous-sol, sa progression étant également facilitée par la nature de son squelette flexible et par les soies et leurs propriétés d'adhérence.

groupe « dissident », ce qui n'est pas très difficile, puisque, pas plus que les autres, les élèves de ce groupe ne disposent d'observables susceptibles d'attester leur proposition.

Contrairement au cas précédent, la situation ici jouée n'a pas la robustesse de la « course à 20 », puisqu'elle ne permet pas réellement la corroboration ou la réfutation des « hypothèses » fournies par les élèves. On perçoit cependant que comme dans le cas précédent, l'intention préalable du professeur s'actualise en un système stratégique (plus simple ici que dans la gestion de la course à 20), qui consiste à faire préférentiellement réfuter l'hypothèse conçue comme fautive en espérant déraciner ainsi la conception « impropre ».

Le contraste avec le cas précédent permet également de différencier la manière dont le travail documentaire a produit l'intention préalable. Dans l'étude du lombric, la genèse documentaire ne repose pas sur un texte du savoir bien identifié, mais sur un « dispositif » dont l'élaboration, si elle a certes été fortement guidée par le professeur, est pour une part due aux élèves. Le milieu (« la ressource-artefact ») du jeu professoral sur le jeu de l'élève suppose alors, d'une manière très voisine de ce qui se passe pour la course à 20, l'identification d'une « conception-obstacle », mais on voit que cette conception-obstacle joue un rôle considérablement différent dans les deux cas. En mathématiques, la robustesse de la situation fait que les élèves construisent les « observables » qui leur permettent d'avancer (par exemple, chaque fois que l'on joue 17, on gagne, et l'on va pouvoir « démontrer » pourquoi les choses se passent de cette façon). En sciences, ce n'est pas le cas : il n'existe pas de milieu *tiers* entre le professeur et les élèves, et la régulation du professeur se fait entièrement en fonction de son intention préalable, qui emplit tout l'espace didactique – le milieu qui pourrait *accommoder* cette intention n'existe pas. L'intention, d'une certaine manière, s'autonomise de l'action matérielle. Cette autonomisation nous semble rendue possible par sa nature même. En effet, dans la course à 20, la règle stratégique « Attention à la parité ! » a une indéniable pertinence mathématique et pragmatique, et la préoccupation dont elle témoigne ne suppose pas *a priori* une conception générale de l'enseignement : elle naît dans la considération concrète de la situation effective liée à ce que le professeur sait de la manière dont peuvent se comporter des élèves dans cette situation-là. Dans l'étude du lombric, en revanche, l'attention portée à l'idée selon laquelle le lombric mange la terre est solidaire d'une conception bien précise de l'enseignement, fréquente en « découverte du monde » à l'école élémentaire, selon laquelle il faut repérer les conceptions des élèves, les « faire émerger », et ensuite « faire avec pour aller contre ». Le genre d'activité que l'épisode « lombric » révèle montre ainsi un travail documentaire fortement dirigé par une épistémologie pratique professorale du « travail sur les conceptions », bien plus prégnante que dans l'épisode précédent.

Les intentions préalables et le travail documentaire qui leur donne naissance sont réellement surdéterminés par le style de pensée, qui recoupe ce que Baxandall nomme « la logique interne des pratiques institutionnelles ». Cette logique (celle du « travail sur les conceptions ») va jusqu'à s'indurer en un système assez imperméable à deux orientations pourtant majeures de l'action didactique conjointe : la manière dont le milieu effectif (mathématique, ou ici biologique) permet la rencontre et le travail des savoirs ; la façon dont le milieu transactionnel propre à l'action conjointe favorise ou non le rapport des élèves à ce milieu effectif.

8.3.3 Intentions préalables, travail du savoir, et collectif didactique

Un troisième et dernier exemple nous permettra d'aborder certaines dimensions du travail documentaire ignorées ou seulement effleurées au sein des deux cas précédents.

Nous allons voir que cet exemple, bien que produit dans une discipline différente, présente de nombreux traits communs avec le premier. Dans les deux cas, on peut identifier clairement une intention préalable qui s'actualise selon un système stratégique dont la détermination est essentiellement chronogénétique et mésogénétique. Mais nous verrons que les moyens de production de cette intention au sein du travail documentaire sont largement différents.

Le dispositif de recherche (Lefevre 2008) prend place en cours moyen deuxième année (grade 5). Il a été élaboré dans l'analyse d'une fable de La Fontaine, « Les animaux malades de la peste ». Le choix de cet objet s'est fait suite à une étude épistémologique menée sur le genre « Fable » (Sensevy *et al.* 2008). Dans la tradition germanique des Lumières (Wolf, Lessing, Herder), une fable présente la très intéressante particularité de mettre en relation l'intelligence « symbolique » nécessaire pour appréhender la morale (par exemple, pour « Les animaux malades de la peste » : « Selon que vous serez puissant ou misérable, les jugements de cour vous feront blanc ou noir »), et l'intelligence « intuitive » qui permet de « contextualiser » cette morale à la narration, à la « fable » proprement dite, c'est-à-dire à l'intrigue, celle-ci permettant en retour de saisir « sur le vif » ce que la morale signifie. De ce point de vue, la fable peut donc être conçue comme une machine à mettre en relation l'abstrait (intelligence « symbolique ») et le concret (intelligence « intuitive »). Cette particularité de la fable a

été relevée par les épistémologues des sciences, en particulier Haller (1981) et Cartwright (1996). Nancy Cartwright peut affirmer ainsi : « Les fables transforment l'abstrait en concret, en faisant cela, je prétends qu'elles fonctionnent comme des modèles en physique. La thèse que je veux défendre est que la relation entre la morale et la fable est la même que celle existant entre une loi scientifique et un modèle » (Cartwright 1996, p. 37).

Le dispositif de recherche s'est donc focalisé sur « Les animaux malades de la peste », au sein d'une ingénierie inspirée des "Lesson Studies" japonaises et américaines notamment (Miyakawa & Winsløw 2009, Winsløw Chap. 6). Le travail s'est déroulé selon les étapes suivantes.

(a) Travail épistémique en soi, par les membres du groupe de recherche⁷, sur la fable en tant que genre, et sur la fable spécifique « Les animaux malades de la peste » ; (b) Détermination collective, à partir du travail effectué en (a), de la « substantifique moelle du savoir » que les élèves devront s'approprier ; (c) Travail collectif de production d'une séance organisée autour de dispositifs et gestes d'enseignement associés censés permettre l'appropriation, par les élèves, des savoirs déterminés en (b) ; (d) Mise en œuvre effective, dans une première classe, de la séance produite collectivement, par un premier professeur ; (e) Évaluation collective de la séance vers l'élaboration d'une « deuxième version » de la séance (dispositifs et gestes associés) ; (f) Mise en œuvre effective de la « deuxième version » de la séance dans une seconde classe, par un second professeur.

On le voit, ce type de dispositif suppose une grande attention portée non seulement au travail documentaire du professeur, mais encore à la liaison entre ce travail documentaire et l'effectuation dans la classe. Même si ce que nous analysons dans la classe se place en (f), il faut comprendre que les étapes précédentes ont joué un rôle majeur dans la production collective des intentions, jusqu'à la production d'un « style de pensée sur la Fable ». En effet, le travail épistémique initial a permis de « sélectionner » un certain nombre de significations fondamentales dans cette Fable. Centrées autour du jeu entre « morale » et « corps de la fable » dans le travail systématique de la relation concret/abstrait, ces significations vont des plus génériques (éprouver la poésie de la langue, dégager une signification-noyau du récit des animaux, voir l'homme comme un animal, etc.) à celles qui sont spécifiques de cette fable-ci (expliquer l'opposition puissant /misérable ; clarifier l'expression « noir ou blanc » ; repérer la coalition des puissants ; repérer la désignation d'un bouc émissaire ; distinguer le jugement de cours de la justice ; expliquer le chiasme de la morale, etc.). L'un des moyens didactiques d'appropriation de ces significations consiste en particulier dans la paraphrase du récit des animaux à travers l'identification des voix énonciatives du texte, technique ici spécifique du style de pensée développé.

On voit que ces significations, obtenues par l'essentialisation⁸ (Lefevre 2008), effectuée collectivement, des analyses initialement produites, peuvent être considérées d'une certaine manière, pour reprendre la terminologie de Baxandall, comme des directives, comme des intentions préalables. C'est le système collectivement construit de ces intentions qui va permettre au professeur de s'orienter et dans la production de dispositifs, et dans celle des gestes qui lui seront associés.

Au moment où nous commençons l'analyse *in situ* (au temps (f), donc), une première séance a été mise en œuvre par un premier professeur, dont on peut résumer l'évaluation de la manière suivante : l'opposition noir/blanc (noir = coupable ; blanc = innocent) de la morale n'a pas été identifiée correctement par les élèves ; la morale n'a pu être mise suffisamment en relation avec le corps de la fable. Le travail du groupe a donc notamment consisté à mettre en évidence l'importance du traitement spécifique de l'opposition noir/blanc, qui devient pour le coup l'une des intentions préalables collectivement portée, et à élaborer un dispositif de trois séances dans lequel les élèves 1) travaillent le texte de La Fontaine sans la morale ; 2) composent ensuite une morale individuellement ; 3) étudient collectivement certaines de ces morales « individuelles » ; 4) se regroupent par trois pour construire une morale commune ; 5) voient ensuite leurs morales confrontées à la morale de La Fontaine.

On comprend ici la nature spécifique du travail documentaire mis en œuvre par le groupe, en particulier sur la base de l'effectuation de la première séance par un premier professeur, et dont le second professeur qui va mener la séance peut bénéficier. On peut décrire ses constituants de la

⁷ Il s'agit d'un groupe pluricatégoriel, réunissant des formateurs d'IUFM spécialistes d'une discipline, des maîtres-formateurs, et des enseignants-chercheurs. Au sein de la recherche, la séance a été mise en œuvre par quatre professeurs différents, et par deux d'entre eux au moment étudié. Le collectif réunit une trentaine de personnes, il en est à sa troisième année de travail commun à la publication de ces lignes. Plusieurs masters 1, masters 2, et thèses en sciences de l'éducation ont été ou sont accomplis dans ce cadre.

⁸ L'essentialisation réfère au processus didactique fondamental de « détermination de l'essentiel » lorsqu'on est amené à communiquer un savoir.

manière suivante : le texte de l'ensemble des significations-noyaux « essentielles » élaborées par le groupe, qu'il peut mettre en relation avec son propre travail épistémique initial ; le film et le transcript de la première séance mise en œuvre du premier professeur⁹ ; les réactions orale et écrite à sa propre performance du premier professeur ayant mis en œuvre cette première séance (avec, en particulier, la narration des difficultés éprouvées par ce professeur à gérer celles des élèves face au sens de l'opposition noir/blanc) ; l'évaluation de cette séance par le groupe, dont nous avons donné plus haut deux constituants essentiels ; la préparation collective de la deuxième séance, par l'intermédiaire de quatre versions successives discutées dans le groupe sur une dizaine de jours avant l'effectuation proprement dite. Cette préparation collective intégrant notamment le choix des morales individuelles étudiées collectivement.

Lorsque le professeur met en œuvre la deuxième séance, il se présente donc avec un système d'intentions préalables « à mémoire », fruit de l'intégration du collectif dans l'enquête documentaire (Assude Chap. 18). Au sein de ce système, l'intention préalable « Clarifier Noir/Blanc » joue un rôle particulier. Ce rôle s'actualise dans la séance effective comme suit.

Dans un premier temps, il s'avère, par l'un de ces accidents didactiques souvent difficiles à gérer, que l'un des élèves a produit une morale (peut-être par réminiscence plus ou moins consciente) dans laquelle figure l'opposition noir/blanc : « Peu importe ce que vous avez fait, la justice vous verra toujours bon ou mauvais, blanc ou noir ». Cette morale individuelle est étudiée collectivement en début de séance, mais, alors qu'on pourrait s'attendre à ce que le professeur « saute sur l'occasion » d'anticiper l'une des difficultés de la morale (encore à venir), il n'intervient pas dans ce sens. Il laisse l'élève simplement s'exprimer et rechercher dans la narration de la fable des éléments qui permettent de donner sens à la morale qu'il a écrite. L'ambiguïté portée par blanc/noir = bon/mauvais n'est pas traitée. Tout porte à penser¹⁰, en effet, que le professeur se concentre à ce moment-là sur d'autres significations fondamentales (en particulier « dégager le juste de l'injuste » et « distinguer le "jugement de cour" du "jugement de justice" en tant qu'institution ») jugées nécessaires à la compréhension de la fable à cet instant.

Puis le temps didactique avance dans la classe. Les élèves se réunissent par groupe de trois, et produisent leurs « morales communes ». Le professeur a prévu d'examiner ces morales pendant la récréation, de façon à réguler le travail immédiatement postérieur de mise en commun, destiné à la production d'une « morale de la classe » à confronter à celle de La Fontaine. La lecture des morales élaborées en groupe montre que désormais trois groupes ont intégré dans leur morale l'opposition noir/blanc. Au retour de la récréation, dans la mise en commun, le professeur aborde maintenant de front la signification noir/blanc, en demandant aux élèves de substituer à cette opposition une opposition identique, mais dans « le vocabulaire de la justice ». Le couple innocent/coupable émerge, il est institutionnalisé, et la morale-synthèse de la classe, avant confrontation à celle de La Fontaine, devient celle-ci : « Peu importe ce que les puissants ont fait, la justice ne les accusera pas. Mais si les plus faibles font la moindre faute, la justice les condamnera et les punira. De toute façon, pour la justice les faibles sont noirs donc coupables et les puissants sont blancs donc innocents. Ainsi les puissants se protègent quelle que soit leur faute. Cela est injuste. »

D'une manière parente à ce que l'on a constaté dans l'exemple de la course à 20, se dessine ici une dialectique entre l'intention préalable (Clarifier Noir/Blanc !) qu'on peut considérer comme une règle stratégique issue du travail documentaire, et le milieu effectif, épistémique et transactionnel, de l'action conjointe. C'est bien le « sens du jeu » du professeur qui l'incite à ne pas potentialiser cette intention lorsqu'elle risquerait d'être contre-productive. On saisit donc la parenté temporelle avec l'action professorale dans la course à 20. Mais à l'inverse de ce qui se passe dans cette dernière situation, le risque ne serait pas de donner une importance indue à une conception fautive (la parité dans la course à 20), mais de détourner l'attention d'autres significations-noyaux plus essentielles parce que premières dans la compréhension. Le système stratégique engendré par la règle « Clarifier Noir/Blanc ! » dépend, on l'a vu, de la mésogénèse (comme production d'un contexte cognitif commun) en cours (le fait que la signification noir-blanc a commencé de disséminer dans les groupes d'élèves est pour le professeur un indicateur qu'il peut la traiter collectivement), et c'est la gestion de ces équilibres – à la fois transactionnels et épistémiques – complexes qui révèle le sens du jeu professoral.

⁹ Cette ressource et la précédente ressortissent au genre mis en évidence par Forest & Mercier (Chap. 17).

¹⁰ Cela sera vérifié au sein du travail collectif d'après séance intégrant le professeur.

8.4 En matière de conclusion : intentions, milieu institutionnel, style de pensée

Nous voudrions utiliser la petite étude empirique qui précède pour souligner l'aspect suivant. Nous cherchons à concevoir l'action conjointe du professeur et des élèves dans la classe d'une manière la plus proche possible de son effectuation matérielle concrète. Faire cela, c'est comprendre de quelle manière la genèse documentaire (Gueudet & Trouche Chap. 3, Chap. 7) conditionne, notamment à travers les intentions préalables et règles stratégiques qu'elle active, l'action *in situ*. L'attention portée à cette genèse déplace donc considérablement la centration : parler de la matérialité de l'action, c'est aussi nécessairement parler de son immatérialité, ou plutôt d'une autre immatérialité, celles des documents qui préfigurent l'action, sont reconfigurées par elle, et la préfigurent autrement en retour (Ligozat Chap.16). Ainsi, les genèses fondamentales de l'action didactique (chronogénèse, topogénèse, mésogénèse) ne doivent pas être conçues seulement en tant qu'ajustements plus ou moins subtils *in situ*, elles pourraient constituer elles-mêmes des catégories descriptives de ces mouvements de préfiguration (de l'action par les documents), de reconfiguration (des documents par l'action), et de repréfiguration (des « nouveaux » documents vers l'action réorganisée).

Mais il semble que les quelques éléments empiriques que nous avons versés à cette étude montrent autre chose : invoquer l'effectuation matérielle concrète de l'action, ce n'est pas placer au second plan les phénomènes de conceptualisation, c'est penser la nécessaire dialectique entre action et conceptualisation, entre documents et conceptualisation. C'est comprendre que l'appréhension d'un document n'est pas seulement produite dans une sorte d'anticipation uniquement centrée sur l'action à venir, elle est en grande partie le fruit, j'ai tenté de le montrer plus haut, d'un *style de pensée*, notion que Fleck précise comme suit :

« La perception visuelle directe d'une forme (*gestalt*) demande d'être expérimentée dans un domaine de pensée particulier : ce n'est qu'après de nombreuses expériences, éventuellement après avoir reçu une formation, que l'on acquiert la capacité de remarquer directement des sens, des formes, et des unités fermées sur elles-mêmes. Il est vrai que dans le même temps on perd la capacité de voir ce qui est en contradiction avec ces formes. Une telle disposition pour une perception dirigée constitue cependant l'élément principal du style de pensée. » (Fleck 2005, p. 161)

Les lignes qui précèdent nous semblent capitales pour quiconque veut saisir l'essence de « l'économie cognitive » de nos actions. Une ressource donnée (dans nos exemples précédents le texte de la course à 20 ; le dispositif d'observation des lombrics ; le système complexe fourni par l'ingénierie sur la fable) peut ainsi se concevoir comme un réservoir de « formes », dont la perception, pour *immédiate* qu'elle soit, ne l'est qu'à l'intérieur d'un style de pensée donné. Ce n'est que parce qu'un professeur est formé et se forme dans l'attention aux problèmes didactiques potentiellement soulevés chez les élèves par une ressource donnée qu'il peut en venir, ainsi que l'explique Fleck, à percevoir celle-ci quasi-uniquement dans cette perspective, ce processus supposant dans le même temps la scotomisation de ce qui ne relève pas de cet ordre de chose. C'est bien parce que « l'attention aux conceptions des élèves » fonctionne comme un style de pensée, que la documentation de l'action et l'action elle-même vont se référer aux traitements des conceptions, et cela d'une certaine manière, pour le cas que nous avons présenté, au préjudice de l'enseignement et de l'apprentissage¹¹. C'est aussi parce que le dispositif d'étude de la fable met au premier plan la centration sur des significations fortes qu'on veut voir appropriées par les élèves, et sur la relation concret-abstrait entre récit et morale, que certaines choses sont faites et d'autres mises au second plan, comme par exemple, dans le dispositif présenté, l'attention à la poésie et à la poétique de la fable étudiée.

Dans cette perspective, un style de pensée émane d'un collectif de pensée. Dans les cas étudiés, ce collectif est respectivement à trouver dans celui des professeurs (dimension générique de l'anticipation des comportements d'élèves pour la course à 20), dans celui d'une certaine didactique des sciences, et dans le petit nombre de personnes qui travaillent autour de la fable de La Fontaine. Ces collectifs sont bien souvent virtuels (les deux premiers ci-dessus), dans le sens où ils ne présupposent pas l'interconnaissance, ni dans certains cas même l'interrelation des membres du collectif. Ces collectifs peuvent alors être considérés comme des *institutions instables*. *Institutions* parce que leurs effets sur les individus consistent bien à produire des catégories perceptives, affectives, et cognitives légitimes (Douglas 1999). *Instables*, dans le sens où les rites d'institution qui produisent et reproduisent les institutions comme telles peuvent manquer en grande partie ou revêtir certains aspects inédits. Quoiqu'il en soit, penser le travail documentaire comme accompli au sein d'institutions (même relativement instables) amène à rendre attentif aux rôles qu'elles jouent dans la production d'un document. Si, comme le proposent Gueudet et Trouche (Chap. 3), un document est

¹¹ Il s'agit alors d'un cas particulier du dysfonctionnement documentaire dont Chevallard et Cirade (Chap. 2) analysent la nature.

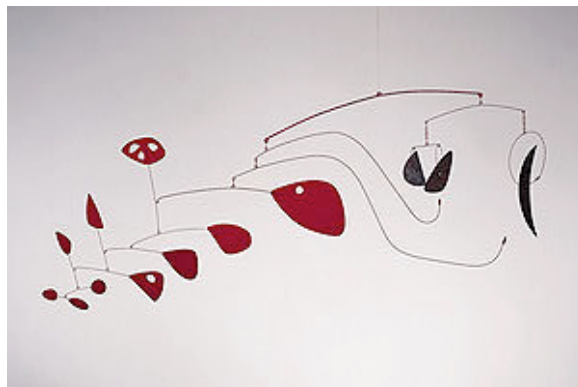
produit par la recombinaison de ressources à laquelle un schème d'utilisation est associé, il faut penser à la fois ces ressources et ce(s) schème(s) au sein des possibles que les institutions autorisent, en prenant conscience d'autres possibles que ces institutions, parce qu'elles fonctionnent comme des styles de pensée, ne prennent pas en compte. Il y a bien une matérialité première des ressources, des documents, et donc de l'action, mais cette matérialité première n'a de sens que dans un style de pensée en tant que « disposition pour une perception dirigée ».

Références

- Amade-Escot, C., & Venturini, P. (2009). Analyse de situations didactiques : perspectives comparatistes. *Dossiers des Sciences de L'éducation. Numéro Spécial*, 20.
- Baxandall, M. (1991). *Les Formes de l'intention*. Nîmes : Jacqueline Chambon.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Cartwright, N. (1999). *The dappled world. A Study of the Boundaries of Sciences*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Douglas, M. (1999). *Comment pensent les institutions*. Paris : La Découverte.
- Fleck, L. (2005). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris : Les Belles Lettres.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- Haller, R. (Ed.). (1981). *Science and Ethics*. Amsterdam : Rodopi.
- Hintikka, J., & Sandu, G. (2006). What is logic? In D. Gabbay, P. Thagard, & P. Woods, *Handbook of the Philosophy of Science. Volume 5 : Philosophy of Logic*. London : Elsevier.
- Lefevre, L. (2008). *Savoirs, Dispositifs d'actualisation de savoirs, et Gestes d'enseignement*. Mémoire de Master 2, Université Rennes 2.
- Ligozat, F. (2008). *Un point de vue de didactique comparée sur la classe de mathématiques. Etude de l'action conjointe du professeur et des élèves à propos de l'enseignement/apprentissage de la mesure des grandeurs dans des classes françaises et suisses romandes*. Thèse de Sciences de l'Education, Université de Genève et Université d'Aix-Marseille.
- Marlot, C. (2008). *Caractérisation des transactions didactiques : deux études de cas en Découverte Du Monde Vivant au cycle II de l'école élémentaire*. Thèse de Science de l'Education, Université Rennes 2.
- Miyakama, T., & Winsløw, C. (2009). Un dispositif japonais pour le travail en équipe d'enseignants : étude collective d'une leçon. *Education & Didactique*, 3 (1), 77-90.
- Pacherie, E. (2007). Is collective intentionality really primitive? Dans M. Beaney, C. Penco, & M. Vignolo, *Mental processes : representing and inferring* (pp. 153-175). Cambridge : Cambridge Scholars Press.
- Schubauer-Leoni, M.-L., Leutenegger, F., Ligozat, F., & Flückiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves : les phénomènes qu'il peut/doit traiter. Dans G. Sensevy, & A. Mercier, *Agir Ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves dans la classe* (pp. 52-91). Rennes : PUR.
- Sensevy, G. (2002). Représentations et action didactique. *L'année des sciences de l'Education 2002*, 67-90.
- Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : PUR.
- Sensevy, G., Mercier, A., & Schubauer-Leoni, M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. A propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20 (3), 263-304.
- Sensevy, G., Mercier, A., Schubauer-Leoni, M.-L., Ligozat, F., & Perrot, G. (2005). An attempt to model the teacher's action in mathematics. *Educational Studies in mathematics*, 59 (1), 153-181.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S., & Griggs, P. (2008). Modelling, an epistemological approach: cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92 (3), 424-446.

Partie 3

Ressources pour et par le curriculum



Chap. 9 - Ecrits d'élèves et écrits de maîtres : la documentation scolaire en Mésopotamie

Christine Proust

Les sources qui nous renseignent sur les activités d'enseignement en Mésopotamie sont abondantes. Ce sont des milliers de tablettes d'argile de diverses formes sur lesquelles de jeunes apprentis scribes ont noté, il y a environ 4000 ans, des exercices d'écriture, de vocabulaire sumérien et de mathématiques. Les jeunes auteurs de ces brouillons fréquentaient des écoles qui les préparaient à devenir des scribes professionnels, et à assumer la charge de l'administration des institutions publiques et privées des grands centres urbains. La conservation de ces écrits balbutiants est en quelque sorte accidentelle. Elle est due tout d'abord à la nature du support de l'écriture, l'argile, matériau presque indestructible. Elle résulte également de la réutilisation des tablettes usagées et desséchées comme matériau de construction. Piégées dans les murs, les sols ou les fondations des maisons, les tablettes scolaires mises au rebut ont échappé à toutes les formes de destruction.

Bien que très éloignées de nous, ces sources témoignent de phénomènes abordés dans plusieurs chapitres de l'ouvrage : un changement de support de la connaissance (Bachimont Chap. 4), qui passe d'une forme mémorisée à une forme essentiellement écrite ; des processus de standardisation (Bruillard Chap. 12), qui touchent en particulier la métrologie et l'écriture, et dans lesquels les écoles jouent un rôle clé ; le caractère normatif du curriculum (Remillard Chap. 11) ; l'émergence d'un ensemble de références idéologiques spécifiquement liées à des milieux de savoir et d'enseignement ; la dimension collective de l'entreprise de création et de transmission des savoirs (Winslow Chap. 6). Cette contribution s'appuiera sur les sources scolaires, notamment mathématiques, pour préciser certains aspects de ces phénomènes dans leurs manifestations les plus anciennes. Elle s'attachera en particulier à identifier les auteurs, les usagers, la fonction et le statut des différents types d'écrits mathématiques produits dans le cadre des écoles de scribes ou en relation avec elles.

Avant d'aborder cette étude, précisons quelques choix terminologiques. Le mot de « documentation » est utilisé dans des sens différents par les historiens et par des auteurs du présent ouvrage. Pour les historiens, la documentation est un ensemble de sources, généralement épigraphiques, apportant des informations sur un problème donné. Dans des chapitres de cet ouvrage (par exemple, Gueudet et Trouche, Chap. 3 et Chap. 7), il s'agit de processus d'appropriation par lesquels des professeurs transforment des ressources disponibles en documents de leur enseignement. Pour la clarté du propos, j'utiliserai les termes « source » pour désigner l'objet du travail de l'historien, et le terme « ressource » pour désigner l'objet du travail des enseignants dont il est question dans cet article, à savoir les maîtres des écoles de scribes et je préciserai à chaque fois que cela sera nécessaire le sens du mot documentation.

9.1 Brève présentation des sources et du contexte historique

Des tablettes scolaires ont été trouvées, en de nombreux endroits, dans une très vaste aire géographique couvrant tout ou partie de ce que sont aujourd'hui l'Irak, l'Iran, la Syrie et le Liban. Le cadre dans lequel se déroulait l'enseignement n'est pas toujours connu avec certitude, et il n'a sans doute pas été le même partout, ni de tout temps. Selon les sources sur lesquelles ils s'appuient, les historiens soulignent que le contexte de la formation était institutionnel, familial, professionnel ou religieux. A Ur, cité du sud de la Mésopotamie, la maison d'un membre du clergé semble avoir abrité d'importantes activités d'enseignement à l'époque paléo-babylonienne (Charpin 2008). A Sippar, plus au nord, c'est dans le cadre familial que, selon Michel Tanret (2002), se déroulait l'enseignement à la même époque. Plus au nord encore, et toujours à l'époque paléo-babylonienne, les marchands qui développaient un négoce sur de très longues distances, entre l'Assyrie et l'Anatolie, transmettaient les rudiments de l'écriture et du calcul à leurs enfants par la pratique du métier, selon des méthodes qui s'apparentent à ce que nous appelons aujourd'hui l'apprentissage professionnel (Michel 2008). A Nippur, capitale culturelle et culturelle de Mésopotamie située à une centaine de kilomètres au sud de la Bagdad actuelle, le contexte scolaire semble avoir été institutionnel et laïc. Les enjeux de la formation y étaient particulièrement importants en raison de la présence d'un grand tribunal, du développement d'une importante tradition médicale, et du rôle politique des scribes de Nippur dans la légitimation de la royauté. Si on considère la situation mille ans plus tard en Mésopotamie, le contexte a complètement changé. La pratique de l'écriture cunéiforme a régressé au profit de l'écriture alphabétique sur des supports périssables, aujourd'hui disparus (parchemin et papyrus), et elle est

devenue limitée à des cercles d'érudits appartenant aux hautes sphères du clergé des grands temples. L'enseignement de l'écriture cunéiforme est alors une sorte de spécialisation réservée à un public de jeunes lettrés déjà alphabétisés en grec et en araméen. On voit apparaître dans les époques tardives des phénomènes d'ésotérisme et des injonctions au secret qui n'existaient pas dans les traditions plus anciennes (Beaulieu 1992).

Cette brève présentation historique souligne la diversité des contextes d'enseignement, et des types de sources qui les documentent. Chacun de ces contextes mériterait des développements que l'espace limité du présent article ne permet pas. Je me concentrerai sur les sources de Nippur d'époque paléo-babylonienne, d'une part parce que ce sont les plus abondantes, et, d'autre part, parce que le modèle d'enseignement de Nippur a été influent dans tout le Proche Orient cunéiforme.

Les tablettes scolaires nous livrent des informations relativement complètes et précises sur ce qu'étaient les activités des élèves dans les écoles, mais ne renseignent qu'indirectement sur les activités des maîtres et sur la façon dont ils ont transformé leur propre savoir en ressources pour l'enseignement. Des témoignages sur les pratiques des maîtres ne sont néanmoins pas absents. On les trouve d'une part dans des textes littéraires utilisés dans l'apprentissage du sumérien, d'autre part dans certains écrits à caractère « pédagogique » produits par les maîtres eux-mêmes.

Dans ce qui suit, je vais présenter des sources littéraires (9.2) et des écrits d'écoliers (9.3) et des écrits de maîtres (9.4), en précisant en quoi elles nous informent sur la nature des documents utilisés pour l'enseignement dans les écoles de scribes.

Les tablettes mathématiques provenant de Nippur d'époque paléo-babylonienne, qui fournissent la majorité des textes examinés dans cet article, ont en partie été publiées dans mon étude des tablettes conservées à Istanbul et à Iéna (Proust 2007, 2008). Pour ce qui concerne l'apprentissage de l'écriture cunéiforme et du sumérien, je me suis appuyée sur la thèse de Niek Veldhuis, et sur les références bibliographiques données dans cette étude (Veldhuis 1997), ainsi que sur les travaux d'Eleanor Robson sur la « Maison F » de Nippur (Robson 2001).

9.2 Sources littéraires

Les sources littéraires qui contiennent des informations sur les écoles de scribes sont des compositions qui étaient utilisées pour l'apprentissage de la grammaire et du vocabulaire sumériens. A Nippur comme ailleurs, on enseignait et on pratiquait le sumérien dans les écoles à une époque où il s'agissait déjà d'une langue morte. L'akkadien, langue sémitique, s'est répandu en Mésopotamie au cours du troisième millénaire au détriment du sumérien, qui a probablement disparu des usages courants au début du deuxième millénaire. Le sumérien est néanmoins resté une langue savante et liturgique jusqu'à la disparition de la pratique de l'écriture cunéiforme au début de notre ère.

Les textes littéraires utilisés dans les écoles ont-ils été écrits spécifiquement pour l'enseignement ? Il est probable que les maîtres des écoles ont créé des compositions originales, mais qu'ils ont en même temps réutilisé du matériel ancien, transmis par la tradition écrite ou orale. Certains hymnes royaux vantant les performances des rois néo-sumériens (fin du III^e millénaire) et de leurs premiers successeurs paléo-babyloniens (tout début du II^e millénaire) sont peut-être issus d'une littérature hagiographique non scolaire. D'autres compositions littéraires semblent être de purs produits des écoles. Herman Vanstiphout a par exemple montré que le premier texte littéraire étudié dans le cursus scolaire, « La Prière à Lipit-Eštar », qui se présente comme un hymne à ce roi d'Isin (1934-1924), possède toutes les caractéristiques d'un texte construit spécifiquement pour l'enseignement de la grammaire sumérienne (Vanstiphout 1978, 1979). Pour cet auteur, derrière la composition littéraire se cache une sorte d'exposé des principaux paradigmes verbaux : les douze premières lignes du texte contiennent un répertoire assez complet des formes verbales simples. Les lignes suivantes introduisent trois formes conjuguées différentes. Dans le reste du texte, les constructions verbales sont très variées, et on ne rencontre pas deux formes identiques. Les lignes sont écrites en deux parties, qui font clairement apparaître les phrases nominales et les phrases verbales. Le texte permet ainsi l'apprentissage d'un large répertoire de signes cunéiformes, de constructions grammaticales et de figures de style.

L'analyse de « La Prière à Lipit-Eštar » par Vanstiphout met en évidence d'autres aspects importants de la littérature scolaire, en particulier ceux qui témoignent de la fonction sociale de l'école au sein d'une cité comme Nippur. L'hymne fait apparaître les liens entre les activités des écoles et celles des scribes professionnels, notamment dans les domaines de la comptabilité, du droit et de l'arpentage. Vanstiphout a aussi montré comment on perçoit les intentions idéologiques véhiculées par le texte,

dont un tiers est en fait consacré aux scribes et à leurs extraordinaires performances. Sous couvert d'une ode au roi, cet hymne est en réalité une ode à Nisaba, la divinité des scribes. Voici quelques extraits :

Lignes 18-24¹ :

- 18- Nisaba, femme rayonnante de joie,
- 19- la véritable femme scribe, la dame qui sait toutes choses,
- 20- elle a guidé tes doigts sur l'argile ;
- 21- elle a magnifié l'écriture sur la tablette,
- 22- elle a fait resplendir la main au calame d'or.
- 23- La canne à mesurer, la corde d'arpenteur brillante,
- 24- la corde à mesurer, la planche à écrire, qui donnent la science,
- 25- Nisaba te les a données d'une main généreuse.

Lignes 40-41

- 40- Ô Lipit-Ištar, tu es le roi d'Isin, le roi de Sumer et d'Akkad,
- 41- tu es un scribe pour Nippur.

Lignes 59-62

- 59- Que grâce à l'argile, ta gloire ne disparaisse jamais dans l'Eduba².
- 60- Puissent les scribes y trouver l'épanouissement,
- 61- puissent-ils te glorifier immensément,
- 62- que jamais ne cessent tes louanges dans l'Eduba.

Ces extraits mettent en lumière quelques caractéristiques de l'idéologie scribale. On y perçoit la place éminente occupée dans la société par la caste des arpenteurs, ainsi que le rôle des écoles de Nippur dans la légitimation de la royauté. Parmi les titres prestigieux attribués au roi figure celui d'être un maître scribe de Nippur, ce qui témoigne de la haute estime portée à « l'art du scribe » par les scribes eux-mêmes. Sans doute le roi Lipit-Ištar était-il un lettré, mais le texte témoigne avant tout de la fierté des scribes de Nippur envers leurs propres « Eduba » (écoles). Piotr Michalowski a montré plus généralement le rôle idéologique des hymnes dans la formation des scribes. Pour cet auteur, l'école est le moule d'une caste dévouée au roi (Michalowski 1987, p. 63).

Un autre genre de texte évoque plus directement la vie dans les écoles : ce sont les textes appelés « Eduba » par les sumérologues³. Samuel Noah Kramer a traduit du sumérien le texte dit « Eduba A » à partir d'une vingtaine de fragments trouvés à Nippur (Kramer 1949). Voici quelques extraits⁴ :

(l'écolier parle à son père)

¹ Traduction personnelle, d'après Vanstiphout 1978, p. 36.

² « Eduba », mot à mot « maison des tablettes », est le nom sumérien des écoles.

³ On connaît à ce jour six textes « Eduba ». La base de données des textes littéraires sumériens ETCSL (<http://etcs1.orinst.ox.ac.uk/>) donne la liste suivante : Eduba A ou « Schooldays » (Kramer 1949), voir ci-dessous ; Eduba B ou « A scribe and his perverse son » (Sjöberg 1973) ; Eduba C ou « The advice of a supervisor to a younger scribe » (Vanstiphout 1996, Vanstiphout 1997) ; Eduba D ou « Scribal activities » (Civil 1985), voir ci-dessous ; Eduba E ou « Instructions of the ummia » ; Eduba R ou « Regulations of the Eduba ».

⁴ Je donne ici une traduction en français que j'ai établie d'après celle de Kramer (1949). Pascal Attinger vient de mettre à la disposition du public sur le site de l'Université de Berne une traduction incomparablement plus fiable que la mienne, avec notes philologiques, sous le nom « Edubbâ 1 (5.1.1) »

http://www.arch.unibe.ch/content/e8254/e8548/e8549/index_ger.html?preview=preview&lang=ger&manage_lang=ger

“ Réveille moi tôt le matin,
je ne dois pas être en retard, sinon mon maître me battra. ”

Quand je me suis réveillé le matin,
j'ai vu ma mère et je lui ai dit : “ donne-moi mon déjeuner, je veux aller à l'école ”.

Ma mère m'a donné deux gâteaux et je l'ai laissée.

Ma mère m'a donné deux gâteaux et je suis allé à l'école.

Dans la maison des tablettes, le moniteur m'a dit : “ pourquoi es-tu en retard ? ” J'étais effrayé, mon cœur battait vite.

Je suis entré avant mon maître et j'ai pris ma place.

Mon “ père d'école ” m'a lu ma tablette,
et il a dit : “ la [tablette] est cassée ”, il m'a battu. [...]

Le maître qui dirige les études de l'école
a regardé dans la maison et dans la rue pour interpeller quelqu'un [...], il m'a battu

Mon “ père d'école ” m'a apporté ma tablette.

Celui qui est responsable de la cour m'a dit : “ écris ”. [...]

Celui qui est responsable de [la surveillance] m'a dit : “ pourquoi as-tu parlé quand je n'étais pas là ? ”, il m'a battu.

Celui qui est responsable de [l'écriture] m'a dit : “ pourquoi n'as-tu pas tenu la tête droite quand je n'étais pas là ? ”, il m'a battu.

Celui qui est responsable du dessin m'a dit : “ pourquoi t'es-tu levé quand je n'étais pas là ? ”, il m'a battu.

Celui qui est responsable de la porte m'a dit : “ pourquoi es-tu sorti quand je n'étais pas là ? ”, il m'a battu.

Celui qui est responsable de [...] m'a dit : “ pourquoi as-tu pris [...] quand je n'étais pas là ? ”, il m'a battu.

Celui qui est responsable du sumérien m'a dit : “ tu as bavardé ”, il m'a battu.

Mon maître m'a dit : “ ta main n'est pas correcte ”, il m'a battu.

J'ai négligé l'art du scribe, j'ai abandonné l'art du scribe. [...]

Le père a prêté une grande attention à ce qu'a dit l'écolier.

On est allé chercher le maître à l'école.

Quand il est entré dans la maison, on l'a assis à la place d'honneur.

L'écolier a pris place en face de lui. [...]

Le père a servi au maître [...] un bon vin de datte,
il a fait couler de la bonne huile [...] comme de l'eau,
il l'a habillé d'un nouveau vêtement, il lui a fait un cadeau, il lui a mis un ruban autour de sa main.

Le maître, de bon cœur, a fait un discours :

“ Jeune homme, puisque tu n'as pas négligé mes paroles, que tu ne les a pas ignorées,
puisses-tu atteindre les sommets de l'art du scribe, le terminer complètement.

Parce que tu m'as donné ce que tu n'étais pas obligé de me donner,

que tu m'as donné un cadeau en plus de mon salaire, que tu m'as manifesté un grand respect,
 puisse Nisaba, la reine des déesses gardiennes, être ta divinité protectrice, qu'elle te donne sa faveur pour ta méthode de
 lecture,
 qu'elle éloigne tous les démons de tes copies à la main. [...]
 Jeune homme, tu as un père, je suis un second père pour toi. [...]
 Tu as réussi tes études, tu es devenu un homme d'étude.
 Nisaba, la reine de l'étude, tu as élevé [le savoir de ce jeune homme].
 O Nisaba, louange à toi !

L'image des écoles de Nippur qui émane de ce texte est celle d'un lieu spécialisé, dédié à l'enseignement, doté d'un nombreux personnel, où règne une discipline sévère. Le maître est visiblement un professionnel salarié ; sa bienveillance envers les élèves semble directement liée aux largesses dont il bénéficie de la part des parents, lesquels n'appartiennent pas au personnel de l'école. Cette description n'évoque pas le cadre familial mis en évidence par les historiens qui ont étudié les sources d'Ur ou de Sippar (Charpin 1986, 1989, 1990), (Tanret 2002), (George 2005), mais un lieu à caractère institutionnel, ou tout au moins une entreprise collective séparée de la sphère domestique.

Miguel Civil a traduit du sumérien le texte dit « Eduba D » à partir de 11 tablettes trouvées à Nippur, une tablette trouvée à Ur et un fragment d'origine inconnue (Civil 1985). Ce texte donne un autre éclairage, en évoquant plus précisément le contenu de la formation. Il s'agit d'un dialogue où deux écoliers s'exercent à manier le sumérien. Chacun vante ses talents scolaires au moyen de tirades d'insultes. Dans le premier quart du texte, dont voici un extrait, un des protagonistes décrit l'apprentissage de la langue et de l'écriture (traduction Civil 1985, p. 71-72) :

1. Jeune homme, [es-tu un écolier? – Oui, je suis un écolier]
2. Si tu es un écolier,
3. connais-tu le sumérien ?
4. Oui, je peux parler le sumérien.
5. [Tu] es si jeune, comment peux-tu t'exprimer (si bien) ?
6. J'ai écouté maintes fois les explications du maître,
7. je vais te répondre.
8. Soit, tu peux me répondre, (mais) qu'est-ce que tu écris ?
9. Si tu examines ce que j'écris, (tu verras que)
10. le [temps] que je dois passer (encore) à l'école est moins de trois mois.
12. J'ai (déjà) récité et écrit
11. les mots sumériens et akkadiens, depuis (le syllabaire) a-a me-me jusqu'à [...].
13. J'ai écrit toutes les lignes depuis (la liste de noms propres) Inanna-teš₂,
14. jusqu'à (la série) lu₂ = shū, même les formes désuètes.
15. Je peux montrer les signes,
16. leur écriture et leur solution, c'est ainsi que je m'exprime.
17. Suis-moi !
18. Je ne ferai rien de trop compliqué pour toi.
19. Même si l'on m'assigne (la série) lu₂ = shū, dans ma « tablette de main »,
20. Je peux donner l'ordre de six cents lignes avec lu₂.
21. Le bilan des jours que je passe à l'école a été établi (ainsi) :
22. mes jours de vacance sont trois par mois,
23. les différentes fêtes sont trois jours par mois ;
24. avec ça, ce sont vingt-quatre jours par mois
25. que je passe à l'école. Le temps n'est pas long.
26. En un seul jour le maître a donné quatre fois ma section.
27. Le compte (des jours) fait, ma connaissance de l'art de l'écriture ne disparaîtra pas.

28. Désormais, je peux m'appliquer aux tablettes, aux multiplications et aux bilans.
29. L'art de l'écriture, le placement des lignes, éviter les coupures, [...]
30. Mon maître a corrigé les belles paroles.
31. On doit se réjouir de la compagnie (des collègues) !
32. Je connais parfaitement mon art de l'écriture,
33. j'ai de la facilité pour tout.
34. Mon maître montre un signe,
35. j'en y ajoute plus d'un de mémoire.
36. Après avoir été à l'école jusqu'au temps prévu,
37. je suis à la hauteur du sumérien, de l'art de l'écriture, de la lecture des tablettes, du calcul des bilans.
38. Je peux parler sumérien !
39. Soit, (mais) le (sens du) sumérien t'est caché !
40. Je veux écrire des tablettes :
41. la tablette (des mesures) d'un gur d'orge jusqu'à six cents gur,
42. la tablette (des poids) d'un sicle jusqu'à vingt mines d'argent,
43. avec les contrats de mariage que l'on peut m'apporter,
44. les contrats de société, je peux choisir les poids contrôlés d'un talent,
45. la vente de maisons, de champs, d'esclaves,
46. les cautions en argent, les contrats de location de champs,
47. les contrats de culture des palmeraies, les [...],
48. même les contrats d'adoption, je sais écrire tout cela.
- [...]
70. Nous hurlerons insulte pour insulte,
71. L'un échangeera des imprécations avec l'autre.

Ce texte révèle plusieurs détails intéressants. Les premières lignes montrent que le sumérien n'est pas la langue maternelle des écoliers. Les jeunes scribes doivent cependant apprendre à écrire et à parler couramment cette langue, qui est du reste celle du texte lui-même. On note des allusions au travail de mémorisation (ligne 36), au fait que les textes n'étaient pas seulement écrits, mais récités (ligne 12), et à la place de l'oralité (ligne 30). La liste des tâches scolaires énumérées dans le texte correspond assez bien au cursus qui a pu être reconstitué par ailleurs à partir des brouillons d'écolier trouvés à Nippur, notamment par Veldhuis (1997). Le texte fait, en effet, référence à l'apprentissage des listes scolaires standard, dans l'ordre qui est précisément celui du cursus (voir § 9.3, tableaux 1 et 2) :

- syllabaires « a-a-me-me » (ligne 11) ;
- liste de noms propres (ligne 12) ;
- listes de vocabulaire sumérien (lignes 13, 19-20) ;
- liste de mesures de capacités (ligne 41) ;
- liste de mesures de poids (ligne 42) ;
- modèles de contrats (lignes 43-48).

Notons également l'importance accordée aux aspects matériels du travail de réalisation d'une tablette (lignes 19, 26, 29). Façonner sa tablette, tracer les traits de séparation des lignes et des colonnes, disposer correctement les signes en introduisant les césures aux bons endroits constituaient un savoir faire technique qui occupait toute sa place dans la formation du scribe. Et, naturellement, le problème des vacances (lignes 21-25) n'est pas négligé !

Comme indiqué plus haut, il convient de garder à l'esprit que ces textes étaient utilisés dans un but éducatif, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une littérature édifiante, livrant une image idéalisée de l'école. Plusieurs historiens ont insisté sur le fait que ce genre de littérature nous renseigne plus sur l'idéologie des scribes que sur les réalités de l'enseignement (George 2005). Certains détails décrits dans les textes « Eduba » sont néanmoins corroborés par d'autres sources, et ces compositions restent des sources d'information d'une grande valeur pour l'historien.

Les extraits littéraires que nous venons de présenter montrent que le matériau documentaire sur lequel s'appuie l'enseignement du sumérien est composite. Une grande part de ce matériau nous échappe à jamais : il s'agit de toute la tradition orale. Pour sa part écrite, on y trouve des compositions spécifiquement élaborées pour l'enseignement, des bribes de patrimoine littéraire antérieur aux

écoles, probablement recomposés, et sans doute toute une gamme de textes relevant à la fois de la création et de la réécriture, comme par exemple les collections de proverbes. Une fois inscrit dans un cursus qui s'est peu à peu standardisé, cet ensemble de textes a acquis une certaine stabilité et s'est transmis sans grand changement d'une génération à l'autre pendant la période paléo-babylonienne et en partie au delà. Le corpus de textes littéraires utilisé dans l'enseignement s'est constitué au terme d'un processus complexe mêlant création originale, réutilisation sélective d'un savoir d'origine ancienne, et pratiques poussant à la standardisation. Je reviendrai plus en détail sur ces processus dans le cas des mathématiques.

9.3 Écrits d'élèves

Examinons maintenant les écrits des écoliers eux-mêmes. La seule cité de Nippur a livré plusieurs milliers de tablettes scolaires, dont plus de 900 contiennent des textes mathématiques. Pour l'historien qui cherche à saisir ce qu'étaient les pratiques anciennes, plusieurs aspects doivent être examinés : le contenu des textes, bien sûr, mais aussi la façon dont ces textes sont inscrits sur les tablettes d'argile (disposition, structuration, ordonnancement), la typologie des tablettes (forme, dimensions, état physique), et quelques données quantitatives. L'ensemble de ces observations permet de reconstituer d'une façon relativement précise le cursus de formation, les méthodes pédagogiques, les notions enseignées, notamment en matière de conception des nombres et de pratiques de calcul. Il n'est pas question d'entrer ici dans tous les détails d'une telle reconstitution (voir pour cela Veldhuis 1997, Robson 2001 et Proust 2007). Je me limiterai à un résumé succinct de ces études, en insistant sur les informations que ces sources nous livrent quant à la *documentation des enseignants* (Gueudet et Trouche Chap. 3).

Dès le premier coup d'œil sur les tablettes scolaires, on est frappé par leur aspect matériel. Les tablettes appartiennent à 4 « types » très nettement définis (voir planche 1) :

- de grandes tablettes contenant, sur la face et le revers un texte long, continu et densément inscrit (type I) ; ce texte consiste en général en une liste complète de vocabulaire, de métrologie ou de tables numériques ;
- des tablettes contenant sur la face un modèle de maître, recopié une ou deux fois par l'élève et, sur le revers, un texte plus dense écrit de mémoire par l'élève (type II) ;
- des petites tablettes rectangulaires contenant un extrait court, souvent une table de multiplication (type III, appelées « tablette allongée » ou « im-gid₂-da » en sumérien)
- des petites tablettes carrées ou rondes, contenant un petit exercice, généralement inscrites seulement sur la face (type IV, appelées « tablettes de main » ou « im-šu » en sumérien⁵).

Les tablettes de type I, II et III étaient utilisées dans une première phase de l'enseignement, appelée « niveau élémentaire » par les historiens ; les tablettes de type IV dans une deuxième phase intermédiaire entre ce premier niveau et un niveau plus avancé. Les types I à III sont les plus fréquents, mais ils ne sont pas également répartis : la grande majorité sont des tablettes de type II, qui constituent ce qu'on pourrait appeler le « cahier du jour ». Elles sont donc particulièrement intéressantes à examiner de près. Sur la face, on trouve une première colonne contenant un court texte, composé de signes grands et bien formés, souvent de style archaïsant, et une ou deux colonnes de signes reproduisant ce modèle, parfois écrits de façon maladroite ; les copies étaient tracées et effacées à plusieurs reprises⁶. Sur le revers, un texte plus long est réparti sur plusieurs colonnes. Les tablettes de type II contiennent très souvent des textes d'apprentissage du sumérien d'un côté, et des textes mathématiques sur l'autre côté. Il a été montré que le texte inscrit sur le revers avait été étudié et assimilé antérieurement à celui qui est inscrit sur la face (Veldhuis 1997 ; Proust, 2007, p. 146-147 et 274-275). Une étude statistique des corrélations entre les textes de la face et du revers des tablettes de type II permet une reconstitution approximative de l'ordre dans lequel les divers textes étaient étudiés, et donc du cursus. Ces textes sont des listes (de signes, de mots sumériens, de phrases, de mesures) et des tables diverses (métrologiques, numériques) très standardisées : elles apparaissent de façon identique sur de nombreux duplicata. Le cursus mathématique de Nippur, c'est-à-dire l'enchaînement chronologique des différentes listes et tables qui devaient être assimilées par les jeunes scribes, peut ainsi être décrit sommairement par le tableau suivant :

⁵ C'est de ce type de tablette qu'il s'agit dans la ligne 19 du texte « Eduba D » traduit par Civil et cité plus haut.

⁶ Pour effacer un ou plusieurs signes imprimés dans l'argile fraîche, il suffit de les frotter légèrement avec le doigt ; les tablettes portent très souvent des traces de doigt et des signes estompés recouverts par d'autres.

Listes métrologiques	Liste de mesures de capacité Liste de mesures de poids Liste de mesures de surface Liste de mesures de longueur
Tables métrologiques	Table pour les mesures de capacité Table pour les mesures de poids Table pour les mesures de surface Table pour les mesures de longueur Table pour les mesures de hauteur
Tables de division / multiplication	Table d'inverses 38 tables de multiplication (tables de 50, 45, 44.26.40, 40, 36, 30, 25, 24, 22.30, 20, 18, 16.40, 16, 15, 12.30, 12, 10, 9, 8.20, 8, 7.30, 7.12, 7, 6.40, 6, 5, 4.30, 4, 3.45, 3.20, 3, 2.30, 2.24, 2, 1.40, 1.30, 1.20, 1.15) Table de carrés
Tables de racines	Table de racines carrées Table de racines cubiques

Tableau 1. *Cursus mathématique élémentaire à Nippur*

Ce cursus mathématique s'articulait au cursus d'apprentissage de l'écriture et du sumérien de la façon suivante :

Écriture, sumérien	Mathématiques
Listes de signes simples	
Listes lexicales thématiques	Listes métrologiques
Listes de signes complexes Modèles de contrats Proverbes	Tables métrologiques Tables numériques

Tableau 2. *Cursus sumérien et mathématique à Nippur*

Quelques traits importants se dégagent de cette brève présentation. Les textes écrits sur les tablettes scolaires sont des extraits de très longues listes et tables, représentant un total de plusieurs dizaines de milliers d'items, fortement standardisées, s'enchaînant dans le cursus dans un ordre fixe. La stabilité des textes d'une tablette à l'autre permet de dresser ce que les assyriologues appellent un « texte composite », c'est-à-dire un texte constitué de tous les items trouvés sur les différentes sources, dans l'ordre où ils sont écrits et où ils sont appris. Pour les seules listes lexicales (signes et vocabulaire), ce texte composite occupe plusieurs volumes des « *Materials for the Sumerian Lexicon* » (ou MSL) et sa reconstitution a représenté, depuis la parution du premier volume des MSL en 1937, une part essentielle des efforts des sumérologues pour établir le lexique sumérien. Le texte composite des listes et tables mathématiques est publié dans (Proust, 2007). Ce texte composite n'a pas d'existence matérielle, puisque aucune tablette réelle ne le contient entièrement. Mais il représente probablement assez bien ce qui était mémorisé par les scribes⁷. Certaines caractéristiques de ces listes, et en particulier la logique qui guide l'ordre d'enchaînement des items, reflètent très nettement les contraintes de la mémorisation. Plusieurs digressions dans les listes lexicales, où des items s'attirent de façon apparemment inattendue par association d'idée ou par homophonie, en témoignent (Cavigneaux 1989, Veldhuis 1997, Goody 1977). Pour ce qui concerne les tables

⁷ Les ressources des bases de données numériques actuelles permettent une présentation simultanée de ce texte composite et des différentes réalisations écrites dont il résulte. La supériorité du support numérique sur le support papier (cf. Bachimont, Chap. 4) pour représenter les listes lexicales et mathématiques dans toutes leurs dimensions a été notée par N. Veldhuis dans son étude des textes scolaires de Nippur (1997, ch. 5) et exploitée dans sa base de données en ligne (DCCLT, <http://cdl.museum.upenn.edu/dcclt/>).

numériques, on peut expliquer leur ordre déroutant par les contraintes de l'apprentissage par cœur. Les tables numériques sont en effet écrites dans l'ordre inverse de celui qui nous paraîtrait naturel d'un point de vue pédagogique : d'abord apparaît la table d'inverses, puis les différentes tables de multiplication dans l'ordre décroissant des nombres principaux : table de 50, de 45, de 44.26.40, etc. (voir tableau 1 ci-dessus), qui ne sont pas les plus simples à apprendre. L'explication pourrait être la suivante : l'analyse des tablettes scolaires montre que les premières sections des listes sont copiées avec une fréquence beaucoup plus grande que les dernières, car la copie commence toujours au début de la liste, mais ne se poursuit que rarement jusqu'au dernier item. On peut supposer qu'en plaçant les tables « difficiles » en première position, les maîtres s'assuraient que celles-ci étaient plus fréquemment copiées et récitées que les plus simples, placées à la fin de la série des tables de multiplication⁸.

En quoi consistait exactement, pour un jeune scribe, le fait d'apprendre une liste ou une table ? Les tablettes de type II permettent en grande partie de répondre à la question. Elles montrent que le premier geste consistait à apprendre à noter la liste par extraits brefs, en reproduisant un modèle (voir la face des tablettes de type II), puis à en mémoriser la prononciation, à la réciter, et enfin à la restituer de mémoire par écrit (voir le revers des tablettes de type II). L'apprentissage combinait donc de façon indissociable l'écriture et la mémorisation.

Les listes et tables mémorisées au niveau élémentaire de l'enseignement constituent un ensemble d'outils linguistiques et mathématiques qui étaient utilisés ensuite par les scribes dans toute leur carrière administrative ou érudite : répertoires de signes, dictionnaires, paradigmes grammaticaux, systèmes métrologiques, tables numériques. Il est frappant de constater que ces outils ne sont attestés à Nippur que sous la forme d'écrits d'écoliers, et non d'écrits de référence conservés par les scribes pour leur propre usage. Cela confirme le fait que ces textes étaient entièrement mémorisés, et qu'il était donc inutile de les conserver sous forme écrite. Ce fait n'est pourtant pas général, et on trouve dans d'autres cités les mêmes tables métrologiques et numériques qu'à Nippur, mais notées sur des types de tablettes différents, par exemple sur de grands prismes très soigneusement inscrits et traversés d'un trou axial, c'est-à-dire sous une forme facilement consultable (Proust 2005b). Ces prismes sont des œuvres d'une grande qualité d'exécution, ce qui en fait des objets précieux d'aspect très différent de celui brouillons d'écoliers.

Pour résumer, soulignons encore le fait que les écrits mathématiques des écoliers ne sont pas des textes enfantins ; ce sont des connaissances de référence communes à toute une communauté de jeunes et d'adultes passés par le moule des écoles de scribes. Les brouillons d'écoliers livrent un témoignage direct de ce que sont les savoirs des enseignants : un vaste répertoire de résultats numériques mémorisés et prêts à être mobilisés dans les pratiques professionnelles et érudites. Il s'agit de textes « élémentaires » au sens où ils fournissent les connaissances de base nécessaires aux activités des futurs gestionnaires ou savants de Nippur. Pour ce qui concerne l'enseignement élémentaire, le savoir des enseignants était largement immatériel puisqu'il s'agissait essentiellement de savoirs mémorisés et de savoirs faire.

Ce savoir n'était pas limité à la cité de Nippur, mais très largement diffusé en Mésopotamie et dans les régions voisines. Ce sont les mêmes systèmes métrologiques, les mêmes techniques de calcul, et en partie les mêmes listes lexicales qui étaient enseignés non seulement dans le sud de la Mésopotamie, le berceau de la culture sumérienne, mais aussi à l'est dans les écoles de Suse (Iran actuel), au nord dans celle de Mari (moyenne vallée de l'Euphrate, à la frontière entre la Syrie et l'Irak actuels), et plus tard à l'ouest dans celles d'Ugarit (côte libanaise). Le milieu qui véhiculait et transmettait ce savoir commun était sans doute composé d'une catégorie particulière de scribes professionnels liés à l'enseignement, qui circulaient d'une cité à l'autre. Ce savoir « académique », qui dépasse les frontières régionales, a pu être décalé par rapport aux pratiques locales : la métrologie enseignée dans les écoles de Mari et d'Ugarit n'était pas celle qui était pratiquée dans les activités administratives et commerciales quotidiennes de ces cités. On voit donc se dessiner une culture commune à une couche de la population spécifique et probablement très mince, dont les membres, quoique peu nombreux, étaient mobiles et influents sur une aire géographique très étendue. L'ancrage de cette culture semble avoir été social et non régional.

Les listes et tables mathématiques dites « élémentaires » forment un ensemble fortement structuré et cohérent, dont la fonction apparaît lorsqu'on analyse les exercices de niveau intermédiaire. Ces exercices, écrits à Nippur sur de petites tablettes en forme de coussinet (type IV, voir planche), portent sur le calcul numérique : multiplications, inversions, calculs de surface et de volume. Cette

⁸ Cette conclusion est largement inspirée de discussions avec Anne-Marie Chartier, lors d'une journée d'étude sur l'enseignement en Mésopotamie (Paris, 15/03/2006)

liste fournit déjà une indication capitale : les opérations qui font l'objet d'un entraînement scolaire écrit se limitent au champ multiplicatif ; l'addition et la soustraction sont absentes. Si on observe plus attentivement la façon dont les nombres et les mesures sont notés dans les listes et tables élémentaires d'une part, et dans les exercices de calcul d'autre part, on constate que certains principes de base sont appliqués avec constance. Les mesures sont notées au moyen de signes numériques appartenant à des numérations de principe additif, suivis de signes métrologiques qui représentent des unités de mesure. Les tables métrologiques fournissent une correspondance entre d'une part ces mesures et d'autre part, en vis-à-vis, des nombres positionnels, notés en base 60, sans indication des ordres de grandeurs⁹. On retrouve dans les exercices de calcul les deux types de nombres livrés par les tables métrologiques. Les exercices portant sur la multiplication et l'inversion ne font usage que de nombres positionnels, sans aucune mention d'unités de mesure ou d'objets dénombrés. La multiplication et l'inversion opèrent seulement sur des nombres positionnels en écriture « flottante » ou « nombres abstraits » pour reprendre l'expression de Thureau-Dangin (Thureau-Dangin 1930). Les exercices portant sur le calcul des surfaces de carrés sont particulièrement intéressants car ils montrent comment les deux types de nombres interviennent à des moments précis et distincts dans le processus de calcul. La mise en page des exercices de calcul de surface montre très bien ces deux moments nettement séparés du calcul, comme on le voit sur un petit lot de tablettes scolaires de Nippur (voir par exemple la tablette Ist Ni 18 sur le site du CDLI¹⁰). La mesure des côtés du carré est, sur ces tablettes, exprimée au moyen d'un nombre de principe additif suivi d'une unité de longueur ; cette mesure est convertie en nombre abstrait au moyen des tables métrologiques ; ce nombre abstrait est multiplié par lui-même ; le produit obtenu, d'ordre de grandeur indéterminé, est enfin converti en mesure de surface grâce aux tables métrologiques utilisées en lecture inverse. Notons que la lecture inverse n'est pas univoque, et que le processus de calcul s'accompagne d'une évaluation mentale des ordres de grandeurs. Les écrits des écoliers nous révèlent ainsi une conception des nombres originale, où les fonctions de quantification et de calcul sont dissociées, et prises en charge par des numérations différentes. La masse des listes et tables métrologiques et numériques mémorisées par les scribes ne constituent pas un savoir statique. L'ensemble des tablettes scolaires de Nippur, incluant les exercices « avancés », montre l'utilisation dynamique de ces tables dans les pratiques de calcul.

Par les écrits des écoliers, l'historien d'aujourd'hui a ainsi accès non seulement aux savoirs des maîtres, mais à certains des savoirs faire qui étaient transmis dans les écoles. La disposition des textes sur la surface de la tablette, les modalités de notation des nombres, les erreurs de calcul livrent des indices particulièrement précieux pour la mise au jour des pratiques de calcul et des savoirs faire correspondants.

9.4 Documentation des maîtres

De cette description des sources scolaires de Nippur pourrait se dégager l'image d'un enseignement fortement stéréotypé, laissant peu de place à l'inventivité pédagogique. Or une telle image serait le résultat d'une interprétation quelque peu imaginative de sources extrêmement parcellaires. Nous ne disposons, pour reconstruire la vie dans les écoles paléo-babylonienne, que de la production écrite des écoliers au début de leurs apprentissages et de quelques textes littéraires édifiants. Peu d'informations nous sont parvenues concernant des dimensions non écrites de l'enseignement, dont les sources littéraires laissent penser qu'elles occupaient une place importante : la musique, le théâtre, les récits. Pour ce qui concerne les mathématiques, des indices concordants indiquent qu'une grande partie des pratiques de calcul étaient non écrites : calcul mental, manipulation d'un instrument de calcul (Proust 2000).

Par ailleurs, il n'a été question ici que des premiers stades de l'enseignement. Comme indiqué au début de ce chapitre, ce sont les pratiques particulières des scribes en matière de recyclage de l'argile

⁹ Cette écriture utilise 59 "chiffres" (1 à 59) notés au moyen de signes représentant des 1 (clou vertical) et des 10 (chevron) répétés autant de fois que nécessaire. Les nombres sont des suites de chiffres notés selon un principe positionnel à base 60, c'est-à-dire que chaque signe d'une position représente 60 fois le même signe placé dans la position précédente, à sa droite. La position des unités dans le nombre n'est pas spécifiée, donc les ordres de grandeur sont indéterminés. Par exemple les nombres 1, 60, 1/60 sont notés de la même façon (un clou vertical). La notation des zéros initiaux et finaux sont inutiles dans ce système, et ne figure dans aucun texte cunéiforme connu. L'absence de notation pour les zéros médians est en revanche un défaut du système, qui a été rectifié dans les époques plus récentes : dans les textes mathématiques et astronomiques datant des derniers siècles avant notre ère, on trouve des notations indiquant l'absence d'une puissance de soixante dans la suite des chiffres. Pour plus de détails sur la notation positionnelle, voir (Proust 2005a, Proust 2009).

¹⁰ http://www.cdli.ucla.edu/search/result.pt?id_text=P368708&start=0&result_format=single&-op_id_text=eq&size=100

qui ont sélectivement préservé ces sources scolaires, précisément parce qu'elles avaient été mises au rebut. Mais qu'en est-il de l'enseignement dans les niveaux plus avancés ? Les sources disponibles sont beaucoup plus rares et difficiles à interpréter. Par exemple, les fouilles de Nippur ont livré des centaines de tablettes mathématiques scolaires, mais seulement trois textes mathématiques érudits. Or il est tout à fait probable que des mathématiques érudites ont été produites à Nippur, et que des étudiants avancés y perfectionnaient leur formation. Outre le hasard des fouilles, plusieurs raisons de natures différentes peuvent expliquer ce paradoxe. Tout d'abord, on ne connaît pas très bien les pratiques des scribes d'époque paléo-babylonienne en matière de préservation de leurs écrits, mais on sait que les textes savants circulaient. Les archéologues ont pu exhumer des textes de Nippur dans d'autres localités, sans pouvoir en identifier l'origine. En effet, les tablettes mathématiques, tout au moins à l'époque paléo-babylonienne, ne portent ni indication de lieu, ni date de rédaction, ni signature. Dans les périodes qui ont suivi l'époque paléo-babylonienne, les politiques de collecte développées par les souverains qui constituaient les premières grandes bibliothèques, notamment en Assyrie, ont conduit à un déplacement massif d'éventuelles archives savantes à Nippur. Autre explication, malheureusement très plausible : les tablettes mathématiques savantes sont presque toutes d'origine inconnue car, dès les débuts de l'archéologie orientale à la fin du XIX^e siècle, elles ont été achetées par les musées européens et américains sur le marché des antiquités. Il se peut que de telles tablettes aient été trouvées à Nippur et qu'elles aient disparu dans les circuits opaques du commerce des tablettes.

Parmi les textes mathématiques qui ne sont pas strictement scolaires, on peut discerner plusieurs types d'écrits : des productions d'étudiants avancés, des textes écrits par des maîtres dans un but d'enseignement, des textes de pure érudition. La frontière entre ces différents types n'est pas nette, et des critères fiables, notamment archéologiques, font souvent défaut. Identifier la fonction d'un texte en relation avec l'enseignement relève d'une analyse au cas par cas, qu'il n'est pas question d'entreprendre dans le cadre de cet article¹¹. La question des ressources des enseignants se pose, pour les niveaux avancés, en des termes différents de ceux qui concernent le niveau élémentaire, auquel je me suis limité ici. On dispose de beaucoup moins de sources pour y répondre.

Soulignons pour terminer un aspect particulièrement important pour l'historien des sciences. Les écrits des écoliers nous montrent la façon dont les érudits ont été formés. Notre lecture des textes savants s'en trouve transformée, puisqu'on peut les aborder au moyen des outils mathématiques qui étaient inculqués aux jeunes scribes babyloniens, et non au moyen des outils arithmétiques et algébriques modernes anachroniques. Ainsi, des écrits d'apprentissage surgit une lumière indirecte sur les écrits des érudits, les premiers éclairant en quelque sorte les seconds par le bas.

9.5 Conclusion

Quel est, dans le contexte mésopotamien, le processus de « documentation des enseignants », par lequel le savoir des maîtres était transformé en ressources pour l'enseignement ? D'une part, diverses sources témoignent du fait que les connaissances transmises à un niveau élémentaire constituaient un vaste corpus entièrement mémorisé par les scribes expérimentés. Le savoir des maîtres est donc en grande partie inscrit dans leur mémoire. D'autre part une tablette scolaire ne contient pas nécessairement un *texte* scolaire au sens où ce texte n'a pas toujours été élaboré spécifiquement dans un but d'enseignement. Un texte inscrit sur une tablette scolaire peut appartenir au fonds culturel des scribes et être transmis tel quel, un peu comme les dictionnaires, les tables de multiplication ou les tables trigonométriques aujourd'hui. Il n'y a parfois guère de différence entre un texte écrit par un jeune élève et un texte appartenant d'une certaine façon aux ressources du maître. La documentation est donc, pour l'enseignement des mathématiques comme pour l'enseignement du sumérien, une combinaison de plusieurs processus de création et de transformation des savoirs : compilation de savoirs extra scolaires, produisant des textes comme les tables métrologiques et numériques ; création d'exercices à but strictement pédagogique, comme le calcul de surface décrit dans la partie 9.3 ; élaboration et explicitation des notions mathématiques qui émergent de l'activité scolaire elle-même, dans le contexte d'un réseau d'échanges entre érudits. Il s'agit donc de relations complexes et à double sens entre apprentissage et érudition, impliquant la mémoire, la communication orale, l'écrit, et probablement des artefacts matériels.

¹¹ Pour plus de détails sur ce point, voir Proust (en cours)

Références

- Beaulieu, P.-A. (1992). New Light on Secret Knowledge in Late Babylonian Culture, *Zeitschrift für Assyriologie und Vorderasiatische Archäologie* 82, 98-111.
- Cavigneaux, A. (1989). L'écriture et la réflexion linguistique en Mésopotamie', in S. Auroux (ed.) *Histoire des idées linguistiques (1): La naissance des métalangages en Orient et en Occident* (pp. 99-118), Liège, Bruxelles, Pierre Mardaga.
- Charpin, D. (1986). *Le clergé d'Ur au siècle d'Hammurabi*. Genève: Droz.
- Charpin, D. (1989). Un quartier de Nippur et le problème des écoles à l'époque paléo-babylonienne, *RA* 83, 97-112.
- Charpin, D. (1990). Un quartier de Nippur et le problème des écoles à l'époque paléo-babylonienne (suite), *RA* 84, 1-16.
- Charpin, D. (2008). *Lire et écrire à Babylone*. PUF.
- Civil, M. (1985). Sur les "livres d'écoliers" à l'époque paléo-babylonienne, in J.-M. Durand & J.-R. Kupper (eds.), *Miscellanea Babylonica, Mélanges offerts à M. Birot* (pp. 67-78). Paris, etc.
- George, A. R. (2005). In Search of the é.dub.ba.a: The Ancient Mesopotamian School in Literature and Reality, in Y. Sefati, P. Artzi, C. Cohen, B. L. Eichler & V. A. Hurowitz (eds.), *"An Experienced Scribe Who Neglects Nothing". Ancient Near Eastern Studies in Honor of Jacob Klein* (pp. 127-137), etesda, CDL Press.
- Goody, J. (1977). *The Domestication of the Savage Mind*. Themes in the social sciences. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kramer, S.N. (1949). *Schooldays: A Sumerian Composition Relating to the Education of a Scribe*. Philadelphie: The University Museum.
- Michalowski, P. (1987). Charisma and control: on continuity and change in early Mesopotamian bureaucratic systems, in M. Gibson & R. Biggs (eds.), *The Organization of Power. Aspects of Bureaucracy in the Ancient Near East* (pp. 55-68). Chicago, Oriental Institute of the University of Chicago.
- Michel, C. (2008). Ecrire et compter chez les marchands assyriens du début du II^e millénaire av. J.-C.' in T. Tarhan, A. Tibet & E. Konyar (eds.), *Mélanges en l'honneur du professeur Muhibbe Darga* (pp. 345-364), Istanbul, Sadberk Hanim Museum Publications.
- Proust, C. (2000). La multiplication babylonienne : la part non écrite du calcul, *Revue d'histoire des mathématiques* 6, 1001-1011.
- Proust, C. (2005a). Le calcul sexagésimal en Mésopotamie, *CultureMath (ENS Ulm)* <http://www.dma.ens.fr/culturemath/>.
- Proust, C. (2005b). A propos d'un prisme du Louvre: aspects de l'enseignement des mathématiques en Mésopotamie, *SCIAMVS* 6, 3-32.
- Proust, C. (2007). *Tablettes mathématiques de Nippur*. Varia Anatolica Vol. XVIII. Istanbul: IFEA, De Boccard.
- Proust, C. (2008). *Tablettes mathématiques de la collection Hilprecht*. Texte und Materialien der Frau Professor Hilprecht Collection Vol. 8. Leipzig: Harrassowitz.
- Proust, C. (2009). Quantifier et calculer: usages des nombres à Nippur, *Revue d'histoire des mathématiques* 14, 143-209.
- Proust, C. (en cours). How did education and erudition interact in Mesopotamia? The evidence of some Old-Babylonian mathematical texts, in A. Bernard & C. Proust (eds.), *Studying ancient scientific sources produced in an educational context: problems and perspectives*.
- Robson, E. (2001) The Tablet House: A Scribal School in Old Babylonian Nippur, *Revue d'assyriologie* 95, 39-66.
- Sjöberg, A.W. (1973). Der Vater und sein Missratener Sohn, *Journal of Cuneiform Studies* 25, 105-169.
- Tanret, M. (2002). *Per aspera ad astra. L'apprentissage du cunéiforme à Sippar-Amnanum pendant la période paléo-babylonienne tardive*. Mesopotamian History and Environment, Serie III Cuneiform texts (MHET) Vol. I/2. Gand: Université de Gand.
- Thureau-Dangin, F. (1930). Nombres concrets et nombres abstraits dans la numération babylonienne, *Revue d'assyriologie* 27, 116-119.

- Vanstiphout, H. L. J. (1978). Lipit-Eshtar Praise in the Edubba, *Journal of Cuneiform Studies* 30, 33-61.
- Vanstiphout, H. L. J. (1979). How did they learn sumerian? *Journal of Cuneiform Studies* 31, 118-126.
- Vanstiphout, H. L. J. (1996). Remarks on "Supervisor and Scribe" (or Dialogue 4, or Edubba C), *NABU* 1.
- Vanstiphout, H. L. J. (1997). School Dialogues, in W. W. Hallo (ed.), *The Context of Scripture, I: Canonical Compositions from the Biblical World* (pp. 588-593), Leiden, New-York, Köln, Brill.
- Veldhuis, N. (1997). *Elementary Education at Nippur, The Lists of Trees and Wooden Objects*, Ph. D. dissertation (<http://ls.berkeley.edu/dept/ahma/Faculty/veldhuis.htm>), University of Groningen.

Planche
Typologie des tablettes scolaires de Nippur
(Photos C. Proust)



Chap. 10 - Constituer les outils et les supports numériques en ressources pour la classe¹

Kenneth Ruthven

10.1 Introduction

Ce chapitre étudie l'intégration des technologies éducatives, en relation avec les ressources curriculaires et les pratiques d'enseignement des mathématiques. Il identifie en particulier des aspects cruciaux, mais souvent négligés, de l'intégration d'outils et de supports numériques dans le quotidien de l'enseignement. Il prend appui sur des recherches antérieures concernant les caractéristiques structurantes de la pratique scolaire et sur des études plus récentes concernant l'intégration des technologies pour développer un cadre conceptuel visant à donner à voir ces aspects et à permettre leur analyse. Il montre comment ils sont liés à la transformation des outils et des supports numériques en ressources pour la classe. L'identification de ces aspects contribue à expliquer l'écart sensible entre les aspirations ambitieuses et l'intégration effective des nouvelles technologies en classe (Kynigos, Bardini, Barzel & Maschietto 2007). Ce chapitre relève donc, au sein de l'ouvrage, du questionnement portant sur les technologies, les évolutions dont celles-ci sont porteuses, et leurs conséquences pour le développement professionnel des professeurs.

Des études sur la formation sociale des technologies ont attiré l'attention sur la *flexibilité interprétative* des outils : en effet, la fonction d'un outil reste ouverte à la reformulation, pas uniquement pendant le processus de conception, mais également au cours de sa diffusion en tant que « produit fini » (MacKenzie & Wacjman 1999; Williams & Edge 1996). Dans ce modèle socioculturel interactif, la conception se poursuit dans l'usage (Rabardel & Bourmaud 2003).

Les théories contemporaines de l'évolution du système éducatif, comme celles de l'innovation technologique, reconnaissent que la forme de ces processus dépend du sens construit par les acteurs impliqués (Spillane, Reiser & Reimer 2002). Les professeurs incorporent nécessairement l'usage des supports curriculaires dans des systèmes plus larges de pratique de classe (Ball & Cohen 1996). De même, les conceptualisations de l'usage de ces supports sont passées de vues assez limitées, considérant que les professeurs s'y conforment ou les détournent, à des perspectives plus élaborées, prenant en compte la façon dont ceux-ci interprètent ces supports et contribuent à leur évolution (Remillard 2005, Chap. 11). Comme l'écrit Kerr (1991; p. 121): « *si la technologie doit trouver une place dans la pratique de classe, elle doit être considérée dans le contexte de la vie de la classe comme la vivent les professeurs* ».

10.2 Les caractéristiques structurantes de la pratique de classe

La complexité et l'importance des connaissances professionnelles qui sous-tendent l'enseignement au quotidien sont souvent sous-estimées (Brown & McIntyre 1993; Leinhardt 1988). En particulier, les propositions d'innovation entraînent souvent des modifications du système largement automatisé de schèmes, de routines et d'heuristiques qui donne forme au travail des professeurs en classe, en s'adaptant aux contextes spécifiques. Dans cette perspective, ce chapitre va examiner cinq caractéristiques structurantes de la pratique enseignante, et montrer comment celles-ci s'articulent avec la constitution des outils et supports numériques en ressources : l'environnement de travail, le système de ressources, le format d'activité, le script curriculaire et l'économie temporelle.

10.2.1 L'environnement de travail

Intégrer des outils et des supports numériques dans l'enseignement suppose souvent des changements de salles, ou de disposition de classe (Jenson & Rose 2006). Ceux-ci affectent *l'environnement de travail* dans lequel se déroulent les cours, c'est-à-dire l'environnement matériel des cours, leur infrastructure technique, et l'organisation sociale associée.

Dans beaucoup d'établissements, les cours intégrant l'informatique doivent se dérouler en salle informatique, afin de disposer de suffisamment d'ordinateurs. Ceci doit être anticipé par le professeur, ce qui empêche un usage spontané et flexible de la technologie (Bauer & Kenton 2005; Monaghan 2004; Ruthven & Hennessy 2002). Ceci entraîne également une rupture dans sa pratique habituelle, et demande de la part de l'enseignant un effort d'organisation supplémentaire (Jenson & Rose 2006; Ruthven, Hennessy & Deaney 2005).

¹ Ce chapitre s'appuie sur une conférence plénière donnée à CERME-5, revue et développée (Ruthven 2007), ainsi que sur un papier présenté à CERME-6 (Ruthven, à paraître), publié dans Education & Didactique (Ruthven 2009).

Les routines établies, qui aident au déroulement de la leçon (démarrage, mise en oeuvre, conclusion) dans la salle ordinaire (Leinhardt, Weidman & Hammond 1987) doivent être adaptées à la salle informatique. En particulier, quand une telle salle est utilisée seulement occasionnellement, professeurs et élèves doivent s'adapter à un environnement de travail inhabituel, demandant souvent des types d'organisation qui sortent de l'ordinaire des cours de mathématiques.

Beaucoup de systèmes éducatifs ont développé l'équipement des salles ordinaires en matériel de projection numérique. Le succès de ces matériels auprès des professeurs provient du fait que ceux-ci enrichissent l'environnement des cours en ne nécessitant que peu de modifications dans leur organisation (Jewitt, Moss & Cardini 2007; Miller & Glover 2006). Ces équipements constituent une amélioration des possibilités antérieures de projection ; ils permettent aux enseignants d'exploiter un unique ordinateur pour l'ensemble d'une classe. En comparaison, reproduire les équipements d'une salle informatique dans une salle ordinaire avec des ordinateurs portables soulève des questions d'organisation nettement plus ardues. Si les élèves ont la responsabilité d'une machine, des difficultés apparaissent : les élèves peuvent ainsi oublier de recharger leurs machines, ou de les amener en classe (Zucker & McGhee 2005), surtout si l'emploi en est irrégulier. Pour pallier ces derniers inconvénients, un lot de machines dédié à la classe est parfois utilisé : celles-ci doivent alors être installées au début de chaque cours, et rangées à la fin. Il y a généralement peu de possibilités de sauvegarde ou d'impression du travail des élèves, en particulier sous une forme qui puisse être intégrée dans une production écrite et utilisée dans d'autres cours ou à la maison. De plus, avec un ordinateur à portée de main, les élèves ont beaucoup d'occasions de distraction : les professeurs déclarent devoir développer des dispositifs qui les aident à gérer les écrans des ordinateurs des élèves, et des routines limitant la distraction, comme demander aux élèves de fermer leurs ordinateurs portables pendant les échanges en classe entière (Zucker & McGhee 2005).

10.2.2 *Système de ressources*

L'infrastructure technique, qui fait partie de l'environnement de travail, constitue une base dans laquelle s'ancrent des outils et des supports spécifiques des contenus, jouant un rôle de médiation pour l'activité mathématique dans la classe. Les nouvelles technologies ont élargi le panel d'outils et de supports disponibles pour l'enseignement des mathématiques. Les éditeurs scolaires proposent désormais aussi bien des manuels papiers que des CD-ROM ; des outils que des micromondes informatiques ; des instruments traditionnels que des outils numériques. L'ensemble des outils et supports mathématiques de la classe constitue un *système de ressources*, dont le fonctionnement dépend de la compatibilité de ses éléments entre eux et de la cohérence de leur utilisation conjointe. Ainsi *ressource* est utilisé ici en référence à un certain artefact (physique ou virtuel) qui a, soit été développé spécifiquement pour des objectifs curriculaires, soit n'a pas été développé dans ces objectifs, mais a fait l'objet d'une appropriation pour des objectifs éducatifs. Ce sens de ressource est plus restreint (et plus concret, plus proche de l'emploi du mot par les professeurs) que celui attribué par certains auteurs dans cet ouvrage (Adler 2000, Chap. 1; Gueudet & Trouche 2009, Chap. 3), mais plus large que celui des seuls supports curriculaires. L'emploi du mot système traduit le challenge que les professeurs doivent relever en intégrant ce qui pourrait être une simple collection de ressources, de manière à les coordonner pour servir leurs objectifs d'enseignement (Amarel 1983).

Les études portant sur l'intégration de ressources numériques pour l'enseignement ont montré que leur adoption par les professeurs était directement liée à la proximité de celles-ci avec les programmes officiels et à leur flexibilité d'usage (Morgan 1990). Cependant, les évaluations de telles ressources ont souvent relevé des écarts avec le programme officiel (Amarel 1983; Warschauer & Grimes 2005; Wood 1998). De même, des études à grande échelle sur l'intégration des technologies ont mis en évidence un manque de ressources adaptées au programme (Conlon & Simpson 2003; Zucker & McGhee 2005). Les professeurs déclarent qu'ils seraient plus susceptibles d'employer la technologie si des ressources prêtes à l'emploi, et correspondant à leur schéma de travail étaient disponibles (Crisan, Lerman & Winbourne 2007). On peut cependant noter qu'ils ne font pas de telles remarques à propos des supports anciens (il s'agit peut-être de dissimuler des réticences à l'égard des nouveaux supports). Ces barrières sont toutefois certainement renforcées par les faibles possibilités d'adaptation et de réorganisation offertes par la plupart des ressources numériques disponibles. Ces observations ont amené les concepteurs à proposer plus de flexibilité aux professeurs. Par exemple, des études récentes ont analysé l'usage de bases d'exercices en ligne, permettant aux professeurs de composer leurs propres feuilles d'exercices pour les élèves (Bueno-Ravel & Gueudet 2007; Abboud-Blanchard, Cazes & Vandebrouck 2007). Elles montrent qu'il est nécessaire que les professeurs développent une bonne connaissance de ces bases d'exercices, comme celle qu'ils ont des manuels, s'ils veulent les intégrer efficacement dans leur système de ressources.

Le manuel papier reste au cœur du système de ressources pour l'étude des mathématiques, dans la plupart des classes. Les manuels sont appréciés parce qu'ils fournissent un cadre complet et cohérent, dans lequel des supports sont introduits d'une manière organisée et contrôlée, appropriée au public visé. Ainsi, les tableaux blancs interactifs (TBI) sont fréquemment utilisés en classe pour projeter et annoter des pages de manuels ou de supports du même type (Miller & Glover 2006). Plus généralement, les éditeurs scolaires cherchent de plus en plus à associer les ressources numériques à des manuels papier, souvent sous la forme de présentations et d'exercices associés à chaque partie du texte, d'applets proposant une visualisation, de supports interactifs. Ces supports sont appréciés des professeurs parce qu'ils garantissent une articulation relativement simple et immédiate des nouvelles technologies avec les anciennes.

Le traitement, par les manuels, de thèmes mathématiques fait nécessairement l'hypothèse de la disponibilité de certains outils dans la classe. Historiquement, ces hypothèses ont été très modestes. Cependant, les manuels supposent de plus en plus que des calculatrices sont disponibles pour les élèves : les manuels de bonne qualité incluent usuellement des sections qui présentent les techniques requises pour l'emploi des calculatrices et y associent un contenu mathématique. Cependant, il est rare de trouver des livres prenant en compte les autres types d'outils numériques. Les éditeurs scolaires sont confrontés sur ce point aux mêmes problèmes que les professeurs. Face à la prolifération des outils disponibles, à quoi donner la priorité ? Etant donné le manque de connaissances actuellement disponibles sur l'emploi efficace de ces outils en lien avec les contenus du programme, quel usage cohérent peut en être fait ? De telles difficultés deviennent particulièrement visibles lorsque des outils du monde technique et commercial sont importés dans le champ de l'éducation. Leurs fonctionnalités prévues, leur mode opératoire, les conventions de représentation associées sont souvent inadaptés aux besoins de la classe (§ 10.2.4).

10.2.3 Format d'activité

Les processus d'enseignement et d'apprentissage en classe donnent lieu à des formes d'activité récurrentes, pour le professeur et l'élève. Les séances de classes peuvent être découpées selon des *formats d'activité* identifiables : des modèles généraux pour l'action et l'interaction qui façonnent les contributions du professeur et des élèves en des types particuliers de phases de la séance (Burns & Anderson 1987; Burns & Lash 1986). L'élaboration des cours selon une succession de formats d'activités familiers et selon les routines associées aident à un déroulement fluide, d'une manière prévisible, vers un objectif donné (Leinhardt, Weidman & Hammond 1987), permettant la création de *structures d'activité* pour l'ensemble de la leçon.

Monaghan (2004) a accordé une attention particulière à la structure de l'activité dans les cours basés sur l'exploitation de l'ordinateur. Son étude impliquait des professeurs du second degré qui s'étaient engagés à passer – en l'espace d'une année scolaire- d'un faible usage des technologies à un usage significatif. Pour chaque participant, un cours « sans technologie » était observé en début d'année, puis d'autres cours « avec technologie » étaient observés en cours d'année. Monaghan a montré qu'une séance avec technologie a une structure d'activité différente. Dans tous les cours sans technologie, une exposition par le professeur de résultats, incluant le traitement d'exemples, était suivie par un travail des élèves sur des exercices. Parmi les cours avec technologie, seuls ceux qui se déroulaient en classe, avec des calculatrices graphiques, avaient cette structure. La plupart des cours avec une autre technologie étaient centrés sur des tâches plus ouvertes, souvent sous une forme d'investigation. Ceux-ci répondaient à une structure d'activité consistant typiquement en une brève introduction par le professeur, suivie par un travail des élèves sur l'ordinateur durant l'essentiel de la séance. Les deux types de cours avec technologie observés par Monaghan apparaissent donc comme des adaptations d'une structure d'activité existante : parfois, celle du cours « présentation-application » ; le plus souvent, celle du cours « investigation ». D'une certaine manière, un tel usage de la technologie aide simplement les professeurs à mettre en œuvre des formes bien établies de pratique ; ce qui est significatif, c'est que la technologie les rend capable de le faire de manière plus efficace et plus systématique.

D'autres études décrivent des usages en classe des technologies qui amènent des changements plus radicaux dans les formats d'activité, et nécessitent de nouvelles routines d'enseignement. Par exemple, Trouche (2005) introduit le rôle de « l'élève sherpa », joué par un élève différent à chaque cours, comme organisation efficace pour permettre au professeur de façonner et de réguler des méthodes d'emploi des outils. L'élève sherpa devient responsable de la gestion de la calculatrice ou de l'ordinateur projeté pendant l'activité en classe entière. Ce qui est spécifique dans ce format d'activité, c'est la façon dont il est organisé, autour du professeur qui guide les actions de l'élève sherpa, ou qui les propose au commentaire et à la discussion du reste de la classe ; l'objectif principal est de fournir une organisation par laquelle le professeur peut gérer le développement collectif de

techniques pour l'emploi de l'outil. Trouche propose également de nouveaux formats d'activité pour le travail de groupe des élèves. Dans le format « d'observation-miroir », deux binômes d'élèves prennent tour à tour des notes sur l'activité de l'autre binôme, ce qui constitue la base pour une discussion réflexive riche. Dans le format des « travaux pratiques », un « cahier de recherche », dans lequel chaque binôme d'élève note chaque étape du travail, fournit de même une base pour une analyse réflexive. Il est notable que chacune de ces modifications d'un format d'activité établi demande l'élaboration de nouvelles normes pour la participation en classe, et de routines rendant naturel un tel un fonctionnement. Ces formats d'activité, qui exigent une activité collective instrumentée, correspondent aux *orchestrations instrumentales* (Trouche 2005).

10.2.4 Le script curriculaire

En planifiant l'enseignement d'un sujet donné, et en l'enseignant, les professeurs ont recours à des savoirs (évolutifs) acquis durant leur propre expérience d'apprentissage et d'enseignement de ce sujet, ou tirés de supports curriculaires. Ces savoirs sont organisés en un *script curriculaire*, « script » étant utilisé au sens cognitif d'une forme d'organisation structurée de l'activité finalisée : un modèle de buts et d'actions appropriés, chronologiquement souple, qui sert à guider l'enseignement d'un thème particulier, et incorpore différents résultats possible de l'activité ainsi que des alternatives à mettre en œuvre dans le cours de l'action (Leinhardt, Putnam, Stein & Baxter 1991). L'élément central du script curriculaire associe étroitement les idées à développer, les tâches à entreprendre, les représentations à employer et les difficultés à anticiper au cours de l'apprentissage d'un sujet donné. De manière plus périphérique, le script peut aussi référer à des aspects de l'environnement de travail, du système de ressources, et de la structure d'activité appropriés pour soutenir sa mise en oeuvre. Ce concept a des liens avec ce que Gueudet & Trouche (Chap. 3) décrivent comme *système documentaire*, particulièrement avec l'aspect qui concerne l'organisation cognitive : les deux concepts relèvent du domaine cognitif qui rend compte des habiletés pratiques. Cependant, comme pour *ressource* (ci-dessus), *document* est employé dans ce chapitre avec un sens plus concret, correspondant à l'usage qu'en font ordinairement les professeurs, tandis que Adler (2000, Chap. 1) et Gueudet & Trouche (2009, Chap. 3) l'utilisent avec des sens plus métaphoriques. Il est de même regrettable que le terme *script* bien établi (issu des sciences cognitives), que nous utilisons ici, s'écarte du sens commun du mot.

Les professeurs parlent fréquemment de l'usage des nouvelles technologies en termes qui semblent impliquer l'adaptation et l'extension des scripts curriculaires établis (Ruthven & Hennessy 2002; Ruthven, Deaney & Hennessy 2009). Par exemple, ils parlent des nouvelles technologies comme moyen d'améliorer les approches existantes d'un sujet, en suggérant qu'elles peuvent servir d'outil plus approprié et efficace pour accompagner des processus mathématiques spécifiques, ou qu'elles fournissent une présentation plus vivante et dynamique de certaines propriétés mathématiques. Cependant, on peut facilement sous-estimer la quantité de petits ajustements que les scripts curriculaires existants nécessitent pour intégrer une nouvelle technologie, et plus encore les modifications requises pour la présentation d'un thème mathématique donné, intégrant les nouveaux éclairages apportés par la médiation de la technologie.

Quand les professeurs participent à des projets de développement, ils sont sous pression (souvent de leur propre initiative) pour aller au-delà de l'ordinaire, et utiliser la technologie de manière innovante (Monaghan 2004, p. 337). En conséquence, ils risquent de se sentir obligés de reconcevoir leurs leçons intégralement, en détail, et finalement d'enseigner de manière rigide. L'étendue et la complexité d'une telle adoption est encore plus grande lorsque, comme nous l'avons dit ci-dessus, ce sont des technologies « importées » qui doivent être adaptées à l'enseignement scolaire. Monaghan compare, par exemple, la facilité relative avec laquelle de nouvelles leçons peuvent être élaborées autour de l'emploi de logiciels graphiques spécialement conçus pour l'enseignement, avec les efforts beaucoup plus importants pour l'appropriation de logiciels de calcul formel « importés » à des fins d'enseignement.

C'est pourquoi les projets qui visent un emploi en classe de technologies « importées » sont porteurs d'adaptations extrêmes, spécialement dans une culture éducative qui met en avant la rigueur dans les idées et les arguments mathématiques. Ceci explique pourquoi une telle complexité a émergé avec une force particulière dans les recherches françaises sur les systèmes de calcul formel, en contraste avec les recherches américaines (Ruthven 2002; Fey 2006). Comme Artigue (2002) le souligne, dans une telle culture on attend du script curriculaire du professeur qu'il identifie les techniques établies (correspondant à un système de normes institutionnelles), et permette que celles-ci soient reconnues, justifiées et pratiquées (souvent avec l'aide de supports curriculaires adaptés). Les études dont Artigue fait la synthèse soulignent le degré de décalage entre, d'une part, un système relativement compact de techniques classiques, soutenues d'emblée par une forte attente institutionnelle, et,

d'autre part, une extraordinaire diversité de techniques informatiques exploitant souvent différentes caractéristiques du support numérique, et n'ayant pas de référence établie.

10.2.5 L'économie temporelle

Le concept d'*économie temporelle* (Assude 2005) désigne la manière dont les professeurs tentent de gérer le « taux » de conversion du temps physique disponible pour le travail en classe en un « temps didactique » mesuré en terme d'avancement du savoir. Bien que les nouveaux outils et supports soient souvent présentés comme supérieurs aux autres parce qu'ils engendrent un « gain de temps », on observe le plus souvent une « double instrumentation », dans laquelle les technologies anciennes restent employées en plus des nouvelles. En particulier, la contribution épistémique des technologies anciennes, tournée vers la construction de connaissances, est souvent valorisée, bien que leur contribution pragmatique, pour accomplir la tâche, soit dépassée (Artigue 2002). Cette double instrumentation signifie que les nouvelles technologies représentent souvent un coût supplémentaire en terme de temps. Ainsi une difficulté critique pour les professeurs est d'optimiser « le retour didactique » sur « l'investissement temporel ». Ce que les professeurs perçoivent comme retour, en termes d'apprentissages mathématiques reconnus, de l'emploi de nouveaux outils par les élèves constitue un point sensible de l'enseignement. Les professeurs sont prudents, quant à l'investissement en temps rendu nécessaire par ces nouveaux outils, et demandeurs d'usages qui permettent de réduire ce temps et d'augmenter les taux de retour (Ruthven *et al.* 2008).

Ce souci de maximiser le temps explicitement consacré à des apprentissages mathématiques reconnus apparaît également dans la tendance à équiper les classes avec des TBI, qui ont été popularisés en tant que technologie permettant d'accroître le rythme et l'efficacité de l'enseignement, comme de coordonner des ressources diverses et de soutenir l'interaction en classe (Jewitt *et al.* 2007). Dans leur suivi de l'usage, croissant, des TBI en mathématiques au secondaire, Miller & Glover (2006) ont trouvé que les professeurs évoluaient, d'approches initiales où le tableau était seulement employé comme support visuel pour la leçon, à des approches où il était plutôt utilisé pour donner à voir des concepts et stimuler des réponses des élèves. Au fil du temps, des évolutions sensibles ont lieu, s'éloignant de la recopie par les élèves du tableau pour aller vers des usages « à un rythme dynamique, pour soutenir des cours stimulants qui minimisent les difficultés de comportement des élèves » (p. 4). En ce qui concerne le type de ressources curriculaires employées avec le TBI, il y a cependant peu de progrès, au-delà de sources proches du manuel scolaire et de fichiers pour leur présentation ; les tableurs, les logiciels graphiques ou de géométrie dynamique continuent à être rejetés par les professeurs parce que trop complexes, ou bien seulement utilisés de manière limitée.

10.3 Un enseignement suivant une démarche d'investigation avec la géométrie dynamique

Le cadre conceptuel esquissé dans la partie précédente va maintenant être utilisé pour analyser la pensée d'un acteur de terrain et l'apprentissage professionnel entourant une leçon incorporant l'usage de la géométrie dynamique (un des quatre cas examinés dans Ruthven *et al.* 2008). On va en particulier mettre en évidence, dans le cas de ce professeur, l'adaptation des pratiques et le développement de connaissances associées à l'appropriation d'outils et de supports numériques pour enseigner et apprendre des mathématiques (il s'agit de l'étude d'un épisode correspondant à ce que Gueudet & Trouche, Chap. 3, appelleraient une *genèse documentaire*, dans le cadre de ce que Margolinas & Wozniak, Chap 13, désignent comme la *situation du professeur*).

10.3.1 Présentation du cours

Le professeur nous a relaté, comme exemple de pratique réussie, une séance qui a commencé par le tracé qu'il a fait d'un triangle et de ses médiatrices. L'investigation qui a suivi a consisté à utiliser le déplacement, pour tester l'idée selon laquelle cette construction pourrait identifier le « centre » d'un triangle.

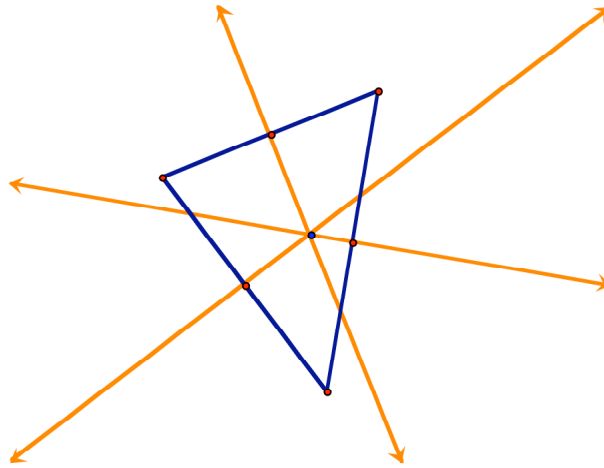


Figure 1: la figure dynamique simple utilisée lors de la séance d'investigation

Selon le professeur, un aspect particulièrement réussi de ce cours a été la participation active des élèves à l'investigation. Par ailleurs, l'emploi de la géométrie dynamique n'a pas apporté simplement de la précision et du confort ; il a nécessité que les élèves formulent les propriétés précisément en termes géométriques. Nous avons suivi ensuite un cours semblable, et recueilli des données : observations de classe, et interviews du professeur. Le cours observé s'est déroulé en deux séances de 45 minutes sur deux jours consécutifs avec une classe d'élèves de 11-12 ans dans leur première année de collège.

10.3.2 Environnement de travail

Chaque séance du cours observé commence dans la salle ordinaire et se déplace ensuite en salle informatique dans laquelle il est possible pour les élèves de travailler individuellement sur des machines. Le mouvement d'une pièce à l'autre permet au professeur de suivre une structure d'activité dans laquelle l'environnement de travail est modifié pour correspondre au changement de format d'activité.

Même si la salle informatique est, comme la salle du professeur, équipée avec un vidéo-projecteur, le fait de commencer les séances dans la salle normale est commode, pour plusieurs raisons : ceci permet d'éviter les ruptures dans des routines établies, favorisant le lancement fluide des cours ; les élèves arrivent à l'heure, comme prévu, dans la salle ordinaire, et se préparent à travailler comme d'habitude. De plus, la salle habituelle fournit un environnement plus propice au maintien de l'attention des élèves et d'une communication efficace pendant l'activité en classe entière. A l'inverse, dans la salle informatique, chaque élève est assis derrière un écran relativement volumineux, bloquant le champ de vision et offrant facilement des possibilités de distraction, alors que, dans la classe ordinaire le professeur peut introduire le cours « *sans la distraction des ordinateurs en face de chacun des élèves* ».

La salle informatique a été installée récemment, à destination du département de mathématiques, dans la salle voisine. Le professeur considère cette nouvelle disposition comme favorisant un accès plus facile et plus régulier à la technologie, et permettant de renforcer la familiarité des élèves avec son usage. De nouvelles routines ont été installées pour les élèves : ouvrir une station de travail, se connecter au réseau du collège, utiliser des raccourcis pour accéder à des ressources et optimiser la fenêtre des documents. De même, des routines ont été développées pour clore les séances informatiques : à la fin de chaque séance, le professeur demande aux élèves de se préparer à sauvegarder leurs fichiers et à imprimer leur travail, en conseillant : « *mieux vaut avoir peu de chose, que vous comprenez bien, plutôt que des tas et des tas de pages imprimées que vous n'avez même pas lues* ». Il demande ainsi aux élèves de ne pas se dépêcher d'imprimer leur travail à la fin du cours, et explique comment ils peuvent ajuster leurs impressions pour essayer de faire tout tenir sur une seule page ; il leur rappelle de donner à leurs fichiers un nom significatif du contenu, et de mettre sur leurs documents un nom permettant de les reconnaître parmi toutes les sorties sur l'imprimante partagée.

10.3.3 Système de ressources

Le département de mathématiques a son propre "schéma de travail" (ce terme est utilisé dans les écoles anglaises pour une progression écrite mentionnant les sujets à aborder et incluant des

suggestions pour les ressources matérielles à utiliser), et encourage les professeurs à explorer de nouvelles possibilités et à en rendre compte aux collègues. En conséquence, ceux-ci ont l'habitude d'intégrer des matériaux issus de différentes sources dans un schéma de travail commun. Cependant, l'étendue des ressources numériques testées à ce moment-là est telle que le professeur (qui est responsable du département) est inquiet quant à la possibilité de leur intégration effective dans les schémas du département, et quant aux demandes liées à la prise en main d'une telle variété d'outils par les professeurs et les élèves.

En termes de coordination de l'usage de technologies nouvelles et anciennes, le travail avec la géométrie dynamique est vu comme complémentaire du travail habituel de construction à la main, car permettant de renforcer l'attention accordée aux propriétés géométriques associées. Cependant, selon le professeur les outils anciens et les nouveaux s'articulent difficilement, parce que certaines techniques manuelles n'ont pas d'équivalent informatique. De même, les outils anciens et nouveaux semblent impliquer des méthodes différentes, et remplir des fonctions différentes. Tandis que la règle et le compas sont vus comme des outils pour les constructions classiques, les logiciels de géométrie dynamique semblent « *une manière d'explorer la géométrie* ». En outre, certaines caractéristiques des outils informatiques ne sont pas les bienvenues. Par exemple, le professeur note que les élèves peuvent être détournés de l'objectif mathématique d'une tâche, passant trop de temps sur des aspects « cosmétiques » de présentation. Pendant la leçon le professeur a testé une nouvelle technique pour gérer ce problème, en projetant un court exemple, pour montrer aux élèves le type de compte rendu attendu, et pour illustrer un emploi adéquat des codes couleur. En illustrant pour les élèves dans quelle mesure, et dans quel objectif, il considère comme légitime d' « *ajuster les fontes et de changer un peu les couleurs pour mettre en évidence les mathématiques, et non pour faire joli* », le professeur développe des normes socio-mathématiques (Yackel & Cobb 1996) et une stratégie de classe pour établir ces normes.

10.3.4 Format d'activité

Chaque séance du cours observé suit une structure d'activité semblable, débutant par une activité menée par le professeur dans la salle ordinaire, suivie d'une activité individuelle des élèves sur les ordinateurs dans la salle informatique voisine, avec un changement de salle en cours de séance permettant de coordonner l'environnement de travail et le format d'activité. Le professeur, choisissant l'exemple de cette leçon, a remarqué comment elle combine divers formats d'activité –« *un peu de classe entière, un peu de travail individuel et de l'exploration* »- afin de créer une structure potentiellement riche, qu'il « *aimerait poursuivre, parce que c'est la première fois qu'[il] a fait quelque chose qui implique tous ces différents aspects* ».

En discutant la leçon observée, le professeur souligne cependant un aspect du modèle qui n'a pas fonctionné comme il l'aurait voulu : la discussion durant l'activité individuelle des élèves. Il a identifié un besoin de mieux équilibrer les opportunités d'exploration individuelle et de discussion productive, en associant les élèves en binômes pour l'exploration. Simultanément, il a noté que l'environnement informatique lui permet des interactions avec les élèves, dans un format d'activité où ceux-ci travaillent individuellement. De telles opportunités surviennent par exemple lors de l'aide apportée aux élèves pour identifier et résoudre un bug dans leurs constructions dynamiques. En outre, le professeur développe des idées à propos des apports pédagogiques des boîtes de dialogue, réalisant que celles-ci créent des conditions dans lesquelles les élèves peuvent accepter plus facilement de réviser leurs commentaires écrits, parce que ceci peut être fait facilement, sans « *détruire leur travail* » en gâchant sa présentation. Ceci l'aide à remplir son objectif de développement des capacités des élèves pour s'exprimer clairement et précisément dans des termes géométriques, en précisant les propriétés établies.

10.3.5 Script curriculaire

La leçon observée vient à la suite d'autres lors desquelles la classe a effectué des constructions simples avec des outils classiques : en particulier, construction de la médiatrice d'un segment en utilisant le compas. Le fait que le professeur fasse référence aux difficultés rencontrées par les élèves pour construire correctement à la main les médiatrices d'un triangle confirme que son script curriculaire, pour ce sujet, est antérieur à la disponibilité de la géométrie dynamique. Son script a évolué et inclut désormais des connaissances sur les aspects « *inhabituels* » et « *maladroits* » de l'emploi du logiciel, susceptibles de « *causer [] de la confusion* » parmi les élèves, mais aussi sur la manière dont ces difficultés peuvent être transformées en avantages en renforçant la place des mathématiques impliquées de sorte que « *l'erreur devient parfois une aide* ».

En outre, le script curriculaire du professeur a anticipé le fait que les élèves ne percevraient pas l'importance géométrique du concours des médiatrices, et il a prévu des stratégies pour traiter cette difficulté, en essayant « *de leur faire voir ça... trois droites, quelle est la probabilité qu'elles se coupent* ».

en un point ». Ce type d'argument est déjà directement applicable dans un environnement papier-crayon. Plus tard dans l'interview, le professeur a en revanche fait référence à une autre stratégie exploitant les caractéristiques particulières de la figure dynamique en utilisant le déplacement pour mettre cette propriété en évidence. « *Quand il y a concours en un point, alors ils peuvent le déplacer* ». De même, ce script curriculaire étendu a recours à la possibilité de déplacement offerte par la géométrie dynamique pour explorer comment les modifications du triangle affectent son « centre ».

Ceci suggère que le script curriculaire du professeur évolue durant l'expérience de ce cours utilisant la géométrie dynamique, en intégrant de nouvelles connaissances mathématiques spécifiquement liées à la médiation par le logiciel. Il attire en effet l'attention sur un exemple significatif, suite à sa demande adressée à la classe, sur ce que devient le « centre », lorsque le triangle est modifié pour devenir rectangle. Voici un extrait du transcript correspondant :

P. : Qu'est ce qui arrive au [centre] point quand je bouge vers 90 degrés ? Que pensez-vous qu'il va se passer quand on est à 90 degrés ?

E. : Le centre sera au même point que le milieu du segment.

P. [surpris] : Est-ce que ce sera toujours le milieu ?

[déplaçant la figure] Oui, c'est ça ! Regardez ça ! Ce sera toujours le milieu de ce côté ! Super !

En revoyant la leçon, le professeur a déclaré qu'il n'avait pas pensé à cette propriété, il « *voulait juste qu'ils disent que c'est sur le segment* ». Réagissant à la réponse de l'élève, il a alors regardé la figure et « *vu que c'est exactement le milieu... bien sûr c'est ça !* ». Nous observons ici un épisode de réflexion dans l'action (Schön 1983), au cours duquel le script curriculaire pour ce sujet a été modifié.

10.3.6 Economie temporelle

La proximité entre la salle informatique et la salle ordinaire de classe a joué certainement, dans ce cas, un rôle important pour l'économie temporelle. Plus fondamentalement, le professeur mesure le temps didactique plutôt en termes d'apprentissages réalisés par les élèves qu'en fonction de la nécessité de traiter le programme. A la fin de la première séance, il a relié sa gestion du temps à ce qu'il considère comme des étapes clés de l'investigation : « *le processus d'explorer, puis de mener une discussion ciblée en groupe, puis d'écrire* », dans lequel les élèves sont initialement « *plus ou moins conscients des différentes propriétés* » pour finir par être capables « *d'écrire ce qu'ils pensent avoir appris* ».

L'investissement consacré au développement des capacités des élèves à utiliser un outil est une autre considération cruciale pour l'économie temporelle. L'étude plus générale dont ce cas est extrait a montré que les professeurs sont prêts à investir du temps pour développer les connaissances instrumentales des élèves en géométrie dynamique lorsqu'ils considèrent que ceci fait avancer les connaissances mathématiques (Ruthven *et al.* 2008).

Comme nous l'avons déjà signalé, ce professeur considère que travailler avec le logiciel engage les élèves dans une interaction raisonnée avec un système géométrique. En conséquence, il est prêt à consacrer du temps pour qu'ils prennent conscience du processus de construction sous-jacent aux figures dynamiques employées dans la leçon, en « *les soumettant effectivement aux élèves pour qu'ils puissent voir d'où ça vient* ». Cette perspective fonde de même sa volonté d'investir du temps pour familiariser les élèves avec le logiciel. Il reconnaît qu'il est possible de bénéficier d'un investissement antérieur en utilisant des outils habituels, car « *faire les constructions à la main d'abord* » est un moyen « *de régler les questions de vocabulaire* ». Comme l'indique cette reconnaissance de l'interaction productive entre l'apprentissage d'anciennes et de nouvelles technologies, ce professeur a intégré la *double instrumentation* en jeu. Ceci est également visible auparavant, dans sa recherche de complémentarité entre les anciennes et les nouvelles technologies comme éléments d'un système de ressources cohérent.

10.3.7 Episodes significatifs et tendances relevées

A partir de ce cas, nous voulons souligner ici quelques tendances plus générales dans l'intégration par ce professeur de technologies numériques en général, et de géométrie dynamique comme ressource scolaire en particulier. Nous retenons la façon dont le professeur a adapté son environnement de travail pour exploiter la proximité de la salle ordinaire et de la salle informatique, en changeant de pièce selon les formats d'activités, donc en développant un nouveau type de structure d'activité, cohérent en termes d'économie temporelle, et fournissant ce qu'il considère comme une structure appropriée pour une leçon d'investigation. Le professeur a de même mis en relation des outils de construction à la main et un logiciel de géométrie dynamique, formant ainsi, si ce n'est un système de ressources complet, du moins un système où ces outils remplissent des fonctions

complémentaires, sont agencés dans son script curriculaire pour soutenir les apprentissages mathématiques, et sont donc justifiables en termes d'économie temporelle.

Le rôle du collectif de professeurs du département de mathématiques pour soutenir les apprentissages professionnels des professeurs (Chap. 6-8) n'était pas étudié ici. Il est cependant clair que le « schéma de travail » développé dans ce département a constitué un moyen central permettant le partage d'idées nouvelles d'enseignement, impliquant essentiellement des matériaux élaborés par les professeurs.

10.4 Conclusion

Bien que reposant sur un cas extrait par commodité d'une recherche précédente, l'analyse présentée ici contribue à éclairer l'adaptation professionnelle dont dépend l'intégration de la technologie dans la pratique de classe. D'autres progrès dans la compréhension de ce processus ont été effectués par une analyse du même type portant sur l'appropriation, par des professeurs de mathématiques, d'un logiciel graphique (Ruthven, Deaney, & Hennessy 2009). Cependant, d'autres recherches sont nécessaires, avec un recueil de données orienté par ce cadre théorique, pour poursuivre sa mise à l'épreuve, son élaboration et son amélioration.

Ce cadre peut sans doute être employé non seulement pour l'enseignement des mathématiques au secondaire, mais aussi pour d'autres niveaux scolaires et d'autres disciplines ; les recherches antérieures dont il est issu dépassaient d'ailleurs le cas des mathématiques au secondaire. En outre, il peut être utilisé en lien avec l'intégration de différents types de ressources, au-delà des ressources numériques qu'il visait plus spécifiquement.

La portée du cadre théorique présenté ici est volontairement restreinte ; il s'agit seulement de rendre visibles et analysables certains aspects cruciaux, souvent négligés par les autres cadres, de l'intégration de nouvelles technologies dans la pratique de classe. En fournissant une élaboration plus proche de l'expérience vécue par les professeurs, il peut remplir une fonction de médiation importante en transposant des résultats de théories plus décontextualisées dans les termes de l'action en classe, et en attirant l'attention sur les problèmes pratiques que ces théories n'abordent pas.

Références

- Abboud-Blanchard, M., Cazes, C., Vandebrouck, F. (2007). Teachers' activity in exercises-based lessons. Some case studies. In D. Pitta-Pantazi & G. Philippou (Eds.), *Proceedings of the Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 1826-1836). Larnaca: CERME-5.
- Adler, J. (2000). Conceptualising resources as a theme for teacher education. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 3(3), 205–224.
- Amarel, M. (1983). Classrooms and computers as instructional settings. *Theory into Practice* 22, 260-266.
- Artigue, M. (2002). Learning mathematics in a CAS environment: The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7(3), 245-274.
- Assude, T. (2005). Time management in the work economy of a class. A case study: Integration of Cabri in primary school mathematics teaching. *Educational Studies in Mathematics*, 59(2), 183-203.
- Ball, D. L., Cohen, D. K. (1996). Reform by the book: What is –or might be– the role of curriculum materials in teacher learning and instructional reform. *Educational Researcher* 25(9), 6-8 & 14.
- Bauer, J., Kenton, J. (2005). Towards technology integration in schools: Why it isn't happening. *Journal of Technology and Teacher Education*, 13(4), 519-546.
- Brown, S., McIntyre, D. (1993). *Making Sense of Teaching*. Buckingham: Open University Press.
- Bueno-Ravel, L., Gueudet, G. (2007). Online resources in mathematics: Teachers' genesis of use. In D. Pitta-Pantazi & G. Philippou (Eds.), *Proceedings of the Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 1369-1378). Larnaca: CERME-5.
- Burns, R. B., Anderson, L. W. (1987). The activity structure of lesson segments. *Curriculum Inquiry*, 17(1), 31-53.
- Burns, R. B., Lash, A. A. (1986). A comparison of activity structures during basic skills and problem-solving instruction in seventh-grade mathematics. *American Educational Research Journal* 23(3), 393-414.

- Conlon, T., Simpson, M. (2003). Silicon Valley versus Silicon Glen: the impact of computers upon teaching and learning: a comparative study. *British Journal of Educational Technology*, 34(2), 137-150.
- Crisan, C., Lerman, S., Winbourne, P. (2007). Mathematics and ICT: a framework for conceptualising secondary school teachers' classroom practices. *Technology, Pedagogy and Education*, 16(2), 21-39.
- Fey, J. (2006). Connecting technology and school mathematics: A review of *The didactical challenge of symbolic calculators: turning a computational device into a mathematical instrument*. *Journal for Research in Mathematics Education*, 36(4), 348-352.
- Gueudet, G., Trouche, L. (2009). Towards new documentation systems for mathematics teachers? *Educational Studies in Mathematics*, 71(3), 199-218.
- Jenson, J., Rose, C. B. (2006). Finding space for technology: Pedagogical observations on the organization of computers in school environments. *Canadian Journal of Learning and Technology* 32(1). Accessed at <http://www.cjlt.ca/content/vol32.1/jenson.html>
- Jewitt, C., Moss, G., Cardini, A. (2007). Pace, interactivity and multimodality in teachers' design of texts for interactive whiteboards in the secondary school classroom. *Learning, Media and Technology*, 32(3), 303-317.
- Kerr, S. (1991). Lever and fulcrum: Educational technology in teachers' thought and practice. *Teachers College Record*, 93(1), 114-136.
- Kynigos, C., Bardini, C., Barzel, B., Maschietto, M. (2007). Tools and technologies in mathematical didactics. In D. Pitta-Pantazi & G. Philippou (Eds.), *Proceedings of the Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 1332-1338). Larnaca: CERME-5.
- Leinhardt, G. (1988). Situated knowledge and expertise in teaching. In J. Calderhead (Ed.) *Teachers' Professional Learning* (pp. 146-168). London: Falmer.
- Leinhardt, G., Putnam T., Stein, M. K., Baxter, J. (1991). Where subject knowledge matters. *Advances in Research in Teaching* 2, 87-113.
- Leinhardt, G., Weidman, C., Hammond, K. M. (1987). Introduction and integration of classroom routines by expert teachers. *Curriculum Inquiry*, 17(2), 135-176.
- MacKenzie, D., Wajcman, J. (Eds.) (1999). *The Social Shaping of Technology* (Second Edition). Buckingham: Open University Press.
- Monaghan, J. (2004). Teachers' activities in technology-based mathematics lessons. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9(3), 327-357.
- Morgan, C. (1990). Carry on SMILEing. *Micromath*, 6(3), 14-15.
- Miller, D., Glover, D. (2006). *Interactive whiteboard evaluation for the Secondary National Strategy: Developing the use of interactive whiteboards in mathematics: Final report*. Keele: Keele University.
- Rabardel, P., Bourmaud, G. (2003). From computer to instrument system: a developmental perspective. *Interacting with Computers*, 15, 665-691.
- Remillard, J. (2005). Examining key concepts in research on teachers' use of mathematics curricula. *Review of Educational Research*, 75(2), 211-246.
- Ruthven, K. (2002). Instrumenting mathematical activity: Reflections on key studies of the educational use of computer algebra systems. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7(3), 275-291.
- Ruthven, K. (2007). Teachers, technologies and the structures of schooling. In D. Pitta-Pantazi & G. Philippou (Eds.), *Proceedings of the Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 52-67). Larnaca: CERME-5.
- Ruthven, K. (2009). Towards a naturalistic conceptualisation of technology integration in classroom practice: The example of school mathematics. *Education & Didactique*, 3(1), 131-149.
- Ruthven, K., Deaney, R., Hennessy, S. (2009). Using graphing software to teach about algebraic forms: A study of technology-supported practice in secondary-school mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 71(3), 279-297.
- Ruthven, K., Hennessy, S. (2002). A practitioner model of the use of computer-based tools and resources to support mathematics teaching and learning. *Educational Studies in Mathematics*, 49(1), 47-88.
- Ruthven, K., Hennessy, S., Deaney, R. (2005). Incorporating Internet resources into classroom practice: Pedagogical perspectives and strategies of secondary-school subject teachers. *Computers and Education*, 44(1), 1-34.

- Ruthven, K., Hennessy, S., Deaney, R. (2008). Constructions of dynamic geometry: a study of the interpretative flexibility of educational software in classroom practice. *Computers and Education*, 51(1), 297-317.
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner: How professionals think in action*, London: Temple Smith.
- Spillane, J. P., Reiser, B. J., Reimer, T. (2002). Policy implementation and cognition: Reframing and refocusing implementation research. *Review of Educational Research*, 72(3), 387-431.
- Trouche, L. (2005). Instrumental genesis, individual and social aspects. In D. Guin, K. Ruthven, & L. Trouche (Eds.), *The didactical challenge of symbolic calculators: turning a computational device into a mathematical instrument* (pp. 197-230). New York: Springer.
- Warschauer, M., Grimes, D. (2005). *First year evaluation report: Fullerton School District Laptop Program*. Irvine CA: University of California, Irvine.
- Williams, R. Edge, D. (1996). The social shaping of information and communications technologies. *Research Policy* 25(6), 856-899.
- Wood, D. (1998). *The UK ILS evaluations: Final report*. Coventry: BECTA.
- Yackel, E., Cobb, P. (1996). Sociomathematical norms, argumentation, and autonomy in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education* 27(4), 458-477.
- Zucker, A., McGhee, R. (2005). A study of one-to-one computer use in mathematics and science instruction at the secondary level in Henrico County public schools. Menlo Park CA: SRI International.

Chap. 11 - Modes d'engagement : comprendre les transactions des professeurs avec les ressources curriculaires en mathématiques

Janine Remillard

Ces dix dernières années ont vu l'émergence de nouvelles approches théoriques pour l'étude des usages, par les professeurs, des ressources curriculaires en mathématiques (Adler 2000, Brown 2009, Gueudet & Trouche 2009, Remillard 2005). Les avis convergent sur le fait que le processus d'usage de ressources curriculaires n'est pas un processus direct d'implémentation, il suppose des interactions entre le professeur et les ressources. Les recherches ont mis au jour de nombreux résultats concernant les usages personnels et professionnels, par les professeurs, des ressources en tant qu'outils (Remillard *et al.* 2009, et l'intégralité de cet ouvrage !). Dans ce chapitre, je me centre sur les relations que les professeurs développent avec les ressources curriculaires, et sur la manière dont ces relations se constituent.

Ce chapitre est fondé sur des recherches concernant les professeurs de l'école primaire et du collège aux USA, où la nature des ressources curriculaires mathématiques a été profondément modifiée en réponse à la publication des standards de la NCTM¹ (1989). Ordinairement les textes mathématiques pour l'enseignement sont présentés en deux parties² : la première partie fournit le matériel écrit pour l'élève. La deuxième partie est souvent appelée « Guide du professeur », elle propose des suggestions pour utiliser le matériel des élèves, et pour élaborer des leçons. Les professeurs d'école et de collège utilisent en général les deux parties. Comme les réformes récentes visent à la fois les types de tâches que les élèves doivent accomplir et les techniques requises, les textes mathématiques ont changé, fournissant aux professeurs un nouveau type d'information, suggérant différents types de pratiques à mettre en œuvre. Les chercheurs ont mis en évidence que l'usage de ces ressources, souvent appelées *matériel curriculaire basé sur les standards*, constitue un défi pour beaucoup de professeurs et requiert une réorientation considérable de leurs pratiques (Drake & Sherin 2009, Lloyd 1999, Remillard 2000). De plus, beaucoup de professeurs les utilisent de façon non prévue par leurs concepteurs (Collopy 2003, Remillard & Bryans 2004).

Mon but dans ce chapitre est de proposer une conceptualisation permettant de comprendre ces interactions professeur-curriculum. Mon hypothèse est que les professeurs sont situés par et à travers leurs rencontres avec le matériel curriculaire comme des utilisateurs d'un type particulier. Je regarde comment ce positionnement se construit, et ses implications pour les professeurs et pour les perspectives de réforme de l'enseignement et de l'apprentissage des mathématiques.

Dans son livre, intitulé *Les positionnements d'enseignement*, Ellsworth (1997) s'appuie sur des études filmiques pour soutenir que, à chaque fois que deux personnes, ou plus, interagissent, que ce soit par oral, par écrit, dans un film, ou dans des situations pédagogiques, celui qui parle fait des hypothèses sur ceux qui écoutent.

« Les films, comme les lettres, les livres, ou les publicités, sont toujours *pour* quelqu'un [...]. La plupart des décisions concernant la structure narrative d'un film, son apparence, son conditionnement, sont éclairées par des hypothèses, conscientes ou inconscientes, sur ce que seront le public, ses souhaits, sa façon de recevoir le film » (p. 23, souligné dans l'original).

Ce concept, connu dans les études filmiques comme le *mode de destination*, signifie que l'on situe le public à une place particulière qui est le point de départ adéquat pour l'interaction. Ce point de départ est là où le spectateur (ou l'auditeur, ou le lecteur) entre dans une relation avec l'histoire ou les idées du texte. Ce positionnement est problématique, du fait du pouvoir et de l'autorité qu'il induit dans l'interaction. Utilisant la perspective d'Ellsworth, je regarde les relations que les enseignants engagent avec les ressources curriculaires, le positionnement qu'ils adoptent. Je m'appuie sur l'idée de mode de destination et sur la théorie de Rosenblatt (1980, 1982) des *transactions avec le texte*. Celle-ci modélise la manière dont ces interactions façonnent, et sont façonnées par les ressources curriculaires. Je soutiens que, en plus d'intégrer un mode de destination, le matériel curriculaire intègre des *formes de destination* (§11.2), apparences ou formats qui reflètent et renforcent le mode de destination. De plus, les professeurs interagissent avec les ressources curriculaires à travers une posture identifiable, ou *mode d'engagement* (11.3). Comme les modes de destination, les modes d'engagement ont plusieurs *formes* (11.4).

¹ National Council of Teachers of Mathematics, société savante qui formule des avis faisant autorité sur l'enseignement des mathématiques aux USA.

² Par la suite nous désignons par "manuel" l'ensemble de ces deux parties.

11.1 Modes de destination et ressources curriculaires

Dans les études filmiques, le *mode de destination* recouvre le public que les concepteurs du film imaginent, ses attentes, sa manière de regarder. Tous les films (ou les textes) ont un public visé. Ellsworth (1997) l'illustre par la métaphore des sièges dans un théâtre : il y a un siège, ou une position, pour lequel le film donnera le meilleur effet.

Pour fonctionner comme prévu, les films, et j'ajoute les textes, ont besoin que leur public soit ce que le mode de destination suppose qu'il sera. Ainsi, une partie du rôle du mode de destination est de garantir ce positionnement visé, pour que le public demande ce qu'il est censé demander.

Ainsi les modes de destination ne consistent pas seulement à parler à un public visé, mais cherchent en fait à s'assurer du contrôle de ce public. La force qui soutient le mode de destination n'est pas simplement littéraire ou artistique : elle est commerciale. Les films et les textes ont besoin que le public soit ce qu'ils (les concepteurs) pensent qu'il (le public) est, pour le vendre. Dans les systèmes intégrant de puissants éditeurs commerciaux, la nécessité qu'un texte soit vendu est importante, mais même dans les systèmes scolaires qui utilisent un unique manuel scolaire d'état, la nécessité que ce manuel soit attirant et utilisable par les professeurs est présente. Ainsi les manuels scolaires sont écrits en visant des professeurs (lecteurs) particuliers.

Bien sûr, les textes ont de multiples modes de destination. Ellsworth (1997) appelle cela de multiples *points d'entrée*. Un film mobilise différents personnages pour attirer un public au-delà du public principal attendu. L'idée de multiples points d'entrée est aussi pertinente pour les ressources curriculaires. Par exemple, beaucoup de concepteurs de curriculum supposent que leur public souhaite un guide au jour le jour pour l'enseignement des mathématiques, et ils conçoivent leur matériel avec ce public en tête. Cependant, ils peuvent être conscients que quelques professeurs veulent simplement quelques activités intéressantes qu'ils peuvent extraire et utiliser sans entrer vraiment dans la structure du curriculum. Ces concepteurs rendent alors ces activités accessibles et visibles.

Cette idée de multiples points d'entrée appliquée aux textes mathématiques et à leurs usages est bien illustrée par une analyse que j'ai conduite d'un manuel scolaire mathématique élémentaire (Remillard 1996). Cette étude révèle comment les concepteurs utilisent le langage et les principes de travail associés aux standards NCTM (comme l'investigation, les groupes de travail) sous forme d'activités auxiliaires, très visibles, en conservant en réalité un contenu traditionnel, centré sur des techniques de calcul. Le public attendu, pourrait-on dire, était le professeur d'école primaire typique à cette époque : quelqu'un à la recherche d'un manuel de mathématiques centré sur les procédures, mais ouvert à l'intégration occasionnelle de résolution de problèmes, de manipulation d'objets, d'activités coopératives.

11.2 Formes de destinations et matériel curriculaire

Dans mes analyses d'usages par les professeurs de matériel curriculaire, j'en suis venue à reconnaître l'importance de la forme et de l'apparence. A propos de films, Ellsworth (1997) déclare que la structure narrative, la forme et le conditionnement contribuent tous au mode de destination – l'image que le concepteur du film a du public. Je soutiens que, quand il s'agit du matériel curriculaire, la forme prend sa propre importance et sa propre signification.

La *forme de destination* d'une ressource curriculaire réfère à sa forme physique et visuelle, à la nature et la présentation de son contenu, aux moyens à travers lesquels elle s'adresse aux professeurs. La forme de destination est en fait ce que les professeurs voient, examinent, et manipulent quand ils utilisent une ressource curriculaire.

La forme de destination est voisine de ce que Otte (1986) décrit comme la *structure objective* d'un texte. Dans son exploration du concept de texte et de manuel, Otte affirme que l'on doit considérer le texte à la fois comme une « structure objective d'information » (la forme physique que le texte emprunte), et un « schème subjectif » (comme il est compris et perçu). La forme d'une ressource curriculaire inclut, mais va au-delà, de ce que nous pouvons voir. Naturellement, ce que nous pouvons voir et rencontrer dans une ressource est inextricablement lié aux schèmes subjectifs qui l'entourent, la tradition, les significations et les attentes qui relient un lecteur à l'interprétation d'une structure objective.

La forme de destination a de multiples facettes et inclut tous les aspects d'une ressource, je vais l'illustrer par des exemples. Dans les années 1980, les manuels de mathématiques pour les écoles primaires aux USA ressemblaient à ce qui suit : développés et commercialisés par des éditeurs privés, ils présentaient en général un texte organisé en 12 ou 13 chapitres, mettant l'accent sur les techniques de calcul comme l'addition, la soustraction, ou la multiplication (de nombres à deux

chiffres). Ces ouvrages consacraient aussi des chapitres à des sujets non calculatoires, par exemple des activités de mesure ou de la géométrie. Les chapitres étaient organisés en modules de deux pages, chacun sur une compétence différente, autour de laquelle les leçons de chaque jour étaient organisées. Les pages étaient brillantes, colorées, et intégraient des photographies d'enfants heureux de s'engager dans des activités mobilisant des compétences mathématiques comme cuisiner, vendre, ou construire. Il pouvait y avoir un exemple d'une compétence particulière, en haut de la première page, suivi par une série d'exercices du même type. On pouvait trouver un ensemble de petits problèmes en haut de la deuxième page. Le guide du professeur, un grand ouvrage à spirales, contenait les fiches élève, bordées par des marges fournissant des suggestions de mise en œuvre, incluant des questions à poser ou même des scénarios à suivre (des formats d'activités, selon Ruthven Chap. 10), et les réponses à tous les exercices et questions proposés sur les fiches élève. Les professeurs pouvaient conduire une séance, à partir de ces deux pages, sans beaucoup de préparation. Beaucoup d'adultes, aux USA, ont gardé en tête l'image d'un professeur, avec un livre à spirale dans les mains, se déplaçant dans la classe, donnant des instructions, posant des questions, jetant de temps en temps un coup d'œil à son livre. Cet exemple illustre comment une forme particulière peut devenir une convention culturelle, un conditionnement accepté et attendu.

Dans les années 1990, un grand nombre d'auteurs de manuels initièrent une remise en question de cette convention culturelle. Ces auteurs, se situant en dehors du marché privé, commencèrent à développer de nouveaux matériels dans l'intention de refléter la vision promue par les standards NCTM (1989). Ils firent différents choix en termes de forme de destination. Certains adoptèrent des formes familières pour les professeurs, présentant le nouveau curriculum sous l'ancien conditionnement. Ainsi, au premier coup d'œil, *Everyday Mathematics* (Mathématiques au quotidien), un manuel pour l'école primaire édité au début des années 1990 dans le cadre du projet pour les mathématiques scolaires de l'Université de Chicago, ressemblait beaucoup à un livre classique. Le guide du professeur était un grand ouvrage à spirales, avec des pages brillantes, intégrant les pages du livre de l'élève entourées de suggestions d'enseignement dans les marges. D'autres auteurs optèrent pour des formes en rupture totale avec celles des ouvrages courants. Par exemple le manuel *Investigations dans les nombres, les données, et l'espace*, proposé par TERC (Technical Education Research Centers) en 1998, était composé d'un ensemble de modules, chacun relié séparément. Les pages étaient imprimées avec de l'encre blanche sur du papier sombre, et contenaient une description du rôle du professeur, avec beaucoup d'espaces laissés en blanc. De petites reproductions des pages de travail des élèves, si cela était possible, étaient placées sur le côté. On trouvait aussi régulièrement des croquis illustrant les élèves engagés dans les activités de la leçon³.

Ces descriptions sommaires illustrent quelques unes des diverses formes de destination que les manuels imprimés peuvent prendre. De plus en plus, les concepteurs proposent des ressources curriculaires en ligne, avec des liens vers différents types de ressources d'appui. Certaines ressources incluent des vidéos de classes, ou des forums de discussion où les professeurs peuvent échanger avec leurs collègues, comme le montrent Gueudet et Trouche (Chap. 3, Chap. 7), qui étudient comment le caractère numérique des ressources peut influencer les usages, individuels et collectifs, qui en sont faits.

Dans mes recherches j'ai montré les nombreuses caractéristiques d'une forme de destination peuvent être grossièrement classées en cinq catégories interreliées : *structure*, *apparence*, *voix*, *medium* et *genre*. Je soutiens que chaque catégorie est pertinente pour comprendre comment les professeurs s'engagent avec, et utilisent les ressources.

11.2.1 Structure

La structure est la caractéristique la plus largement étudiée dans les ressources curriculaires. Les composants de la structure peuvent être décrits de différentes façons. S'appuyant sur son analyse des ressources curriculaires en sciences, Brown (2009) identifie trois facettes élémentaires des ressources curriculaires qui constituent leur structure : (a) des représentations des concepts spécifiques au domaine, (b) des représentations des tâches et procédures que les élèves sont censés accomplir, et (c) des objets physiques et des représentations d'objets physiques qui sont supposés soutenir le travail des élèves pour la réalisation des tâches et la compréhension des concepts. Ces trois facettes, selon Brown, « englobent les aspects les plus fondamentaux du contenu et de la structure du curriculum : le cœur de ses idées, les activités engagées pour les explorer, et les objets qui soutiennent de telles activités » (p. 27).

³ Il faut noter que la seconde édition d'*Investigations* (TERC, 2008) a un aspect physique plus en rapport avec les guides traditionnels des professeurs, même si elle est toujours organisée en modules.

J'ai décrit plus haut quelques éléments structurels des manuels commerciaux publiés aux USA au début des années 1990. Ces manuels contiennent généralement des fiches pour les élèves, les solutions des exercices, des guides ou même des scénarios à utiliser pour la mise en œuvre, des ressources pour se repérer (table des matières, plans de séquences, et d'autres ressources pour la planification). Dans mon analyse des ressources curriculaires basées sur les standards, j'ai relevé la présence de beaucoup de ces éléments organisationnels. Cependant, ils peuvent être agencés de façons très différentes. Par exemple, *Investigations* (TERC 1998) est organisé en leçons uniques, ou sessions de plusieurs leçons (groupées autour d'une idée ou d'une recherche plus générale), mais les sessions ne sont pas organisées autour des pages de travail des élèves. Elles sont plutôt organisées autour d'activités qui sont censées se développer dans la classe, certaines d'entre elles étant associées à des pages pour les élèves.

Le contenu mathématique intégré dans les ressources curriculaires est un élément de structure débattu en ce moment aux USA (Stein *et al.* 2007). Les ressources curriculaires, par exemple, sont identifiées comme incluant ou excluant certaines idées mathématiques. Stein et Kim (2009) ont montré qu'on pouvait trouver, d'un manuel à l'autre, des différences significatives.

11.2.2 L'apparence

L'apparence réfère à la simple allure visuelle d'une ressource – ce que les professeurs voient quand ils la regardent. Aux USA, il existe des traditions culturelles et institutionnelles qui influencent l'apparence des ressources curriculaires, même celles développées par différents éditeurs. Beaucoup de ressources curriculaires commerciales, par exemple, ont une apparence résolument commerciale. Elles sont constituées de pages brillantes, intègrent des photographies en couleur d'enfants souriants, et incluent des pages qui ressemblent à des publicités. Les couleurs et les fontes sont utilisées de telle façon que certains mots semblent sauter aux yeux du lecteur. J'ai étudié un grand nombre de matériels issus d'éditeurs non commerciaux qui ont une apparence terne, comparée à ceux que je viens de décrire. L'apparence résulte d'un ensemble de choix de conception, mais est aussi influencée par la structure du manuel.

11.2.3 La voix

La voix réfère à la façon dont le propos des auteurs/concepteurs est représenté, et à leur façon de communiquer avec le professeur. Pour la plupart des ressources curriculaires que j'ai examinées, les auteurs sont invisibles et on donne peu d'informations sur eux-mêmes et leur propre expérience. L'invisibilité des auteurs peut être un moyen de dépersonnaliser le texte, et d'accroître ainsi son autorité. En dépit de l'invisibilité des auteurs, les ressources curriculaires ont une voix à travers leur façon de communiquer avec le professeur. La plupart donnent beaucoup d'informations sur ce que le professeur devrait faire. Je traduis ceci par parler à *travers* le professeur (Remillard 2000), c'est-à-dire que les auteurs communiquent leurs intentions à travers les actions qu'ils suggèrent au professeur d'entreprendre. Peu de ressources parlent directement au professeur au sujet des idées centrales du curriculum. Certains chercheurs soutiennent cependant que parler aux professeurs est une façon de développer des ressources curriculaires jouant un rôle de formation pour les professeurs (Schneider & Krajcik 2002, Davis & Krajcik 2005). Davis et Krajcik ont ainsi identifié un ensemble d'heuristiques qui pourraient inspirer les auteurs de manuels qui voudraient faire de leurs ressources des outils pour la formation des professeurs : explicitation des buts, anticipation des réponses des élèves etc.

Dans leur analyse de deux manuels mathématiques pour l'école primaire, Stein et Kim (2009) ont trouvé des différences dans la communication des concepteurs avec les professeurs. Le guide du professeur de l'un des manuels parle essentiellement à *travers* le professeur : il propose un guidage pédagogique, mais peu d'explicitations. Le second manuel fait beaucoup d'efforts pour parler *au* professeur, donnant les raisons sous-jacentes aux recommandations pédagogiques, des notes pour le professeur au sujet des erreurs courantes des élèves, des trajectoires d'apprentissage ou des exemples de dialogue d'élèves. En ce sens, la voix est liée à la structure, parce que c'est l'inclusion ou l'exclusion d'éléments structurels particuliers qui constituent la voix de la ressource.

La voix des ressources curriculaires apparaît aussi clairement dans le langage employé. Herbel-Eisenmann emprunte à Morgan (1996) des outils d'analyse du discours pour analyser la voix du texte pour l'élève d'un curriculum pour le collège basé sur les standards. Elle note l'absence du premier pronom personnel (le « je ») – une approche assez commune pourtant dans les textes pour les élèves – et suggère que cette tendance exprime la volonté de dissimuler la présence d'être humains dans la conception du texte. Elle suggère aussi que l'utilisation fréquente par les auteurs de la seconde personne, en conjonction avec les objets étudiés, comme « le graphique te montre que », occulte l'autorité des auteurs et donne aux objets inanimés le pouvoir d'accomplir des activités animées.

11.2.4 Le médium

Le medium réfère à la forme sous laquelle la ressource est diffusée. Il a une pertinence particulière, du fait du foisonnement de ressources numériques. Encore aujourd'hui, la plus grande partie des ressources curriculaires est imprimée, un médium familier à la plupart des professeurs. Cependant, comme l'usage de média électroniques et l'accès aux ordinateurs et aux technologies en réseaux se banalisent, de plus en plus de professeurs utilisent des ressources en ligne (Gueudet & Trouche 2009). Cette évolution met au premier plan la nécessité de prendre en compte le médium dès que l'on veut étudier les interactions des professeurs avec les ressources. A la différence des ressources imprimées, les ressources numériques permettent, et souvent appuient un parcours non linéaire à travers ce qu'elles proposent, donnant à l'utilisateur une liberté de navigation. De plus, comme le notent Gueudet et Trouche (Chap. 3), les notions *d'auteur* et *d'autorité* sont moins transparentes dans le cas des ressources en ligne que pour les ressources imprimées.

11.2.5 Le genre

La dernière catégorie de forme est *le genre*. A la différence des quatre autres catégories, qui reflètent les décisions des auteurs ou des éditeurs, le genre reflète la nature de la ressource curriculaire à l'intérieur d'une vaste classification de matériels écrits pour les professeurs. Une ressource curriculaire est conçue pour fournir un environnement d'aide à la construction du curriculum. Par essence, elle est supposée guider l'action, et ressemble donc plus à un livre de recettes ou à un manuel qu'à un roman. Cette idée qu'une ressource curriculaire est un type particulier d'artefact rencontre la proposition de Otte (1986), affirmant que les textes incorporent à la fois des structures données objectivement et des schèmes. Le genre est important, parce qu'il a des conséquences sur les attentes des professeurs, attentes qui influencent leur façon d'aborder une ressource.

Je soutiens que la forme de destination est un puissant médiateur de l'engagement des enseignants avec une ressource particulière. Ce point de vue est influencé par la perspective socioculturelle, qui étudie comment les artefacts sont les médiateurs de l'activité humaine. Dans cette perspective, les ressources curriculaires sont des « produits de l'évolution socioculturelle » ; d'une part elles sont modelées par l'activité humaine, d'autre part elles ont le pouvoir de modeler cette activité, à travers leurs potentialités et leurs contraintes.

L'attention que je porte à la puissance des formes de destination a aussi été influencée par le travail de Louise Rosenblatt (1980, 1982). Celle-ci soutient que la lecture implique un processus de transaction entre le texte et le lecteur, dans un contexte donné (intégrant le temps et les circonstances). Elle introduit une distinction importante : la relation est avec le texte, la structure objectivement donnée, pas avec l'auteur. Cela ne veut pas dire que la présence de l'auteur dans le texte ne peut pas être détectée, à travers la conception qui transparaît, mais que le lecteur s'engage et interagit avec un artefact qui a été développé, pas avec son auteur. C'est ce qui confère à la forme toute son importance.

11.3 Modes d'engagement

J'utilise l'expression *modes d'engagement* pour désigner la manière dont les professeurs rencontrent, et s'engagent avec, les formes de destination du texte. Selon Rosenblatt (1980), les lecteurs engagent une transaction avec le texte qu'ils lisent et "il en résulte une adoption, consciente ou inconsciente, d'une attitude prédominante" (p. 388). Cette attitude façonne l'attention du lecteur.

Le mode d'engagement concerne ce que les professeurs font dans leurs transactions avec une ressource curriculaire particulière, comment ils y instillent du sens, et comment ils interprètent ce qui est proposé. C'est ici que les formes de destination, et particulièrement le genre, entrent en jeu. Les formes destinées au lecteur lui signalent ce à quoi il doit s'attendre. Quand un lecteur voit un poème écrit sur une page, il voit de nombreux éléments de mise en forme physique – la page blanche autour du texte, les marges inégales, la place du nom de l'auteur ; ceci lui indique que c'est un poème, indication qui déclenche un mode d'engagement, spécifique de la relation du lecteur aux poèmes.

Les ressources curriculaires représentent un genre particulier de texte qui contient des éléments prévisibles, et ces éléments engendrent une réponse particulière, ou mode d'engagement, du professeur.

11.4 Formes d'engagement

Dans mes recherches, j'ai montré que le mode d'engagement d'un professeur avec une ressource curriculaire comporte quatre formes élémentaires de lecture : *pourquoi il lit, quelles parties il lit, quand il lit, quel lecteur il est*. Ces formes d'engagement recourent plusieurs des genres de lecture décrits par Sherin et Drake (2008).

Ceux-ci distinguent, dans le “pourquoi les professeurs lisent”, la lecture *pour les activités* et la lecture *pour les idées essentielles*. Je détaillerai des exemples ci-dessous (§ 11.5), dans lesquels nous verrons des professeurs lisant le même manuel avec des objectifs différents, et s’attachant à des parties différentes du texte. Ligozat (Chap.16) donne aussi l’exemple de deux professeurs en Suisse qui utilisent la même ressource de manières tout à fait différentes.

Une troisième forme d’engagement concerne le moment où le professeur lit le texte. Dans leur étude des stratégies curriculaires de 10 professeurs, Sherin et Drake (ibidem) ont montré que les professeurs lisent les guides curriculaires de différentes manières selon différents moments de l’enseignement : avant, pendant, et après. Le “quand” est lié au “pourquoi” le professeur lit et à son attitude particulière vis-à-vis des supports curriculaires, que j’aborde ci-dessous.

La quatrième forme élémentaire d’engagement est *quel lecteur est le professeur*. Dans d’autres travaux (Remillard 2005, Remillard & Bryans 2004), je désigne ce positionnement comme une attitude, ou une orientation. Les professeurs ont généralement une attitude vis-à-vis des supports curriculaires qui est influencée par leur point de vue sur l’enseignement et par le rôle qu’ils attribuent aux ressources curriculaires. Elle est aussi influencée par le regard qu’ils portent sur la ressource en jeu. Dans ma recherche, j’ai montré que l’orientation du professeur vis-à-vis des supports curriculaires a une influence déterminante sur ce qu’il lit, pourquoi il lit, quand il lit son guide du maître. Rosenblatt (1982) désigne ceci comme “l’attitude du lecteur”, qui façonne sa lecture :

“Le lecteur peut être à la recherche d’information, comme dans un manuel ; il peut chercher des indications pour l’action, comme dans un guide du conducteur... Dans toutes ces lectures il va concentrer différemment son attention pour construire le sens, les idées, les directions à retenir ; il cherche à capitaliser ce qui doit être retenu à la fin de la lecture.” (p. 269)

Les formes d’engagement peuvent évidemment évoluer au cours de l’avancée dans la lecture et de la construction de l’expérience. De plus, les affirmations ci-dessus à propos du rôle des formes de destination, pour signaler au lecteur ce qu’il doit attendre pourraient amener à conclure que des formes de destination différentes pourraient amener une évolution dans la façon dont les professeurs s’engagent avec de nouvelles ressources curriculaires. Cependant de nombreuses études vont à l’opposé de cette idée. Les professeurs ont tendance à s’engager avec une nouvelle ressource curriculaire, au moins au départ, comme lors de leurs interactions avec les ressources qu’ils utilisaient auparavant (Collopy 2003 ; Lloyd 1999, Remillard 1991, Remillard & Bryans 2004, Sherin & Drake 2008). Je postule que cette tendance illustre la transaction bi-directionnelle entre le professeur et les ressources que Rosenblatt (1982) a décrite. Même si les formes de la ressource contribuent significativement à façonner la lecture, le lecteur aussi la façonne. De plus, le genre - le fait que ce soit un guide curriculaire - intervient significativement dans la transaction :

“Les mots, dans leur configuration particulière stimulent des éléments mémorisés, activent des parties de la conscience. Le lecteur, amenant ses expériences passées du langage, du monde, dans cette tâche, esquisse des notions, un cadre dans lequel insérer les idées déployées au fil des mots” (ibid. p. 268)

Je crois que le genre d’un guide d’enseignement – ce qu’il est et ce qu’il représente – provoque des modes d’engagement particuliers et façonne les transactions professeur-curriculum. Ainsi, pour beaucoup de professeurs, le genre semble déclencher un ensemble d’attentes et d’hypothèses au début de la rencontre avec une ressource, plus encore que les autres éléments de la forme.

11.5 Exemples de modes d’engagement

Je donne ci-dessous plusieurs courts exemples qui illustrent ce que j’entends par mode d’engagement. Ils sont tous issus des deux premières années d’une étude portant sur des enseignants du premier degré, dans deux écoles différentes pendant quatre ans. Nous avons observé des séances de ces professeurs entre 10 et 20 fois dans l’année, et nous les avons interviewés 3 à 5 fois par an à propos des séances, de leur emploi des ressources, et de leur point de vue sur les mathématiques. Nous avons aussi eu des conversations informelles et des échanges de courriels avec chaque enseignant. Bien qu’ils viennent d’écoles différentes, les professeurs utilisaient tous *Investigations* (TERC 1998), dont nous avons déjà parlé, mais que nous allons décrire plus en détails ici. La démarche adoptée par *Investigations* diffère de celle des manuels plus traditionnels de deux manières. Premièrement, il fournit, pour les élèves, un déroulement soigneusement prévu, qui reflète ce qui est mis en avant par des documents comme les *standards NCTM* (NCTM 1998, 2000). La plupart des activités élèves recommandées incluent l’exploration collaborative, et la résolution de problèmes suivie par des discussions de classe. Le matériel inclut des fiches que les élèves doivent compléter, mais qui sont réduites à l’essentiel et généralement prévues pour être intégrées dans la

part interactive de la séance. Deuxièmement, les supports fournis incluent des éléments destinés à la formation de l'enseignant (Davis & Krajcik 2005).

Ces éléments comportent de l'information pour le professeur sous forme d'explications mathématiques, d'exemples de productions d'élèves, de résultats de recherche, et de suggestions d'évaluation. Les auteurs écrivent en introduction :

“Nous croyons fortement qu'un nouveau support curriculaire doit aider les professeurs à développer de nouvelles manières de penser les mathématiques, les modes d'apprentissage de leurs élèves, c'est pourquoi nous avons inclus une grande quantité de supports destinés à vous aider à apprendre plus sur ces deux aspects.” (TERC 1998, p. 6).

11.5.1 Jackson : lire pour les fiches

Jackson, professeur en grade 4 (élèves de 9 ans), enseignait déjà depuis 30 ans lorsque son école a retenu *Investigations*. Il est habitué à utiliser plutôt des manuels commerciaux. En réalité, alors même que l'établissement a déjà retenu TERC, il utilise encore un ensemble d'anciens manuels en même temps qu'*Investigations*. Il pense utiliser de la même manière les deux types d'ouvrages.

Pendant nos observations des interactions de Jackson avec le manuel, nous avons noté qu'il consulte d'abord les pages pour les élèves, pour voir quel travail écrit leur est demandé. Ensuite, il parcourt la leçon pour avoir une impression générale de sa structure - ce que les élèves doivent faire, dans quel ordre. Nous n'avons pas d'élément indiquant qu'il lit le livre du maître pour chaque leçon. Dans les séances que nous avons observées, il en vient assez rapidement à prescrire du travail individuel, et semble à l'aise avec ce type de *format d'activité* (Ruthven, Chap. 10). Il orchestre ces séances avec les mêmes pratiques d'enseignement qu'avec les manuels du commerce. Il pose des questions et valide les réponses, demandant rarement une explication. Quand les élèves travaillent à leurs tables sur la tâche proposée, il reste assis à son bureau et note des travaux plutôt que d'échanger avec eux sur le travail en cours. Il rappelle souvent aux élèves : “faites votre propre travail”, et fait rarement suivre le travail individuel de discussions en classe entière. Il termine souvent en demandant aux élèves de rendre leurs productions après s'être assuré qu'ils y ont écrit leurs noms.

Quand nous lui avons demandé comment se passait son enseignement de mathématiques, en novembre, il a répondu: “Et bien nous suivons le livre que nous utilisons, et le... euh *Investigations*, nous sommes plus ou moins exactement là où nous devons être, selon le calendrier que nous avons fixé au début de l'année”.

Nous identifions Jackson comme “lisant pour les fiches”, parce que c'est ce qu'il recherche dans les supports. Bien que de nombreux aspects de la forme de destination de *Investigations* diffèrent du manuel habituel, le genre manuel guidant l'enseignement des mathématiques, centré sur les fiches, est dominant dans sa lecture des supports. Il retient qu'il est exactement là où il doit être, parce que ses élèves ont fait les fiches associées à la leçon dans le livre.

11.5.2 Helen : lire pour le scénario

Helen, professeur en grade 2 (élèves de 7 ans), enseignait depuis 20 ans lorsque son école a commencé à utiliser *Investigations*. Comme Jackson, elle est habituée à utiliser fidèlement des ressources curriculaires, mais elle évite les manuels du commerce, préférant des ressources alternatives centrées sur la résolution de problèmes et la compréhension des concepts. Elle lit très attentivement les guides du maître et essaye de les suivre de son mieux. Parfois, ceci est délicat parce que le guide ne dit pas exactement quoi faire. Comme le suggère cet extrait d'interview, Helen utilise les ressources curriculaires pour se créer un scénario. Lorsque nous lui demandons comment elle utilise les ressources pour sa planification, elle répond :

“Je relis le texte, quelqu'il soit dans le livre *Investigations* que nous utilisons... Je suis vraiment le guide du maître. Si j'ai des difficultés à le comprendre, parfois je complète le scénario proposé ; sinon je souligne ou marque ce que je veux être sûre d'aborder.”

Dans la lecture du guide du maître, elle se centre sur la description de la leçon, prenant soigneusement des notes dans la marge. Elle consulte souvent le livre pendant chaque leçon. Nous avons en effet observé que Helen suit en classe chaque étape proposée par le guide du maître. Elle tente de remplir son rôle dans le scénario en demandant aux élèves d'expliquer leurs réponses et en interagissant avec eux pendant qu'ils travaillent en groupe.

Helen considère que les ressources curriculaires fournissent un scénario : c'est sa position par rapport à ces ressources. Quand elle les lit, ce qu'elle fait très soigneusement, c'est pour chercher un scénario. Même si elle ne trouve pas tous les détails qu'elle voudrait, elle utilise ce qui est proposé pour élaborer son propre scénario.

11.5.3 Rachel : rejet de la ressource

Rachel semble relever de la catégorie des professeurs innovants. Dans sa classe de grade 2, on trouve tout l'équipement et la littérature correspondant à un enseignement basé sur la démarche expérimentale en sciences. Elle était enseignante depuis plus de 30 ans lorsque son école a retenu *Investigations*. Comme beaucoup de professeurs qui se sont tournés vers des pratiques innovantes dans les années 70, et les ont maintenues en dépit de la vague de "back-to-basics"⁴ des années 80, Rachel était sceptique au sujet des ressources curriculaires "clé en main", ou de toute approche qui n'était pas initiée par le professeur. Celles-ci étaient en opposition avec ses idées sur l'autonomie et les connaissances de l'enseignant. Elle a passé beaucoup de temps dans sa carrière à résister à des tentatives de régulation de son travail.

Rachel croit que les ressources curriculaires ne peuvent avoir qu'une contribution limitée à l'enseignement. Au plus, elles permettent au professeur d'étendre son propre répertoire. Elle a tendance à utiliser les ressources en extrayant et en choisissant des activités dans un ensemble de différents manuels. Même si elle reconnaît que *Investigations* correspond à son approche de l'enseignement, elle l'utilise au minimum. Dans une interview, elle note que la suite *Investigations* n'est "pas un manuel", mais "un ensemble de choses très utiles à faire dans un cadre souple". Lorsqu'elle lit le guide du maître, ce qu'elle ne fait que par intermittence, elle recherche dans le livre des activités interactives, comportant des manipulations et en accord avec d'autres choses qu'elle a déjà en cours.

Le rejet, par Rachel, de cette ressource curriculaire est fondé sur sa forme c'est un guide curriculaire. Ceci illustre le pouvoir du genre, intervenant non seulement dans la manière de lire des professeurs mais dans le fait qu'ils lisent ou non. Son scepticisme vis-à-vis de la ressource était étroitement lié à son identité de professeur qui ne suit pas un curriculum.

11.5.4 Jodie : lire pour les idées

Jodie est professeur en grade 3 (élèves de 8 ans) et enseigne depuis 4 ans lorsqu'elle a commencé à utiliser *Investigations*. Elle a une expérience limitée des ressources curriculaires, mais des idées très claires sur la relation aux mathématiques qu'elle souhaite soutenir dans son enseignement. Elle est attirée par *Investigations* à cause de sa structure : en effet il propose des idées mathématiques. Elle s'engage dans cette ressource en privilégiant des idées. Lorsqu'elle lit le texte, elle ne cherche pas ce qu'il faut faire, mais quelles sont les idées mathématiques à retenir. Ensuite elle utilise ces idées pour remplir ses fiches de préparation. Quand elle regarde le livre, elle commence par la partie qui présente le contenu mathématique en jeu. Elle décrit sa préparation de la manière suivante :

"Je cherche à identifier les aspects mathématiques principaux, parce que c'est ce qui détermine mon objectif d'enseignement. Je vais regarder les indications de mise en oeuvre pour voir comment la leçon s'organise en vue de cet objectif. Je lis les leçons de nombreuses fois, parce qu'il y a des éléments que je ne veux pas écrire sous forme de scénario... Ceci nécessite de lire plusieurs fois, pour être sûre de l'objectif mathématique, de ce que je vais essayer d'obtenir. Donc, même si la leçon ne se déroule pas comme prévu, je sais quelles sont les mathématiques que je vise et je garde cet objectif même si nous devons introduire des changements".

Jodie était le seul professeur parmi ceux que nous avons étudiés qui parlait d'utiliser le contenu mathématique visé, et c'était la seule qui lisait les pages consacrées à ce contenu au début de chaque chapitre. Nous avons observé à de nombreuses reprises que Jodie s'écartait de ce qu'elle avait prévu pendant une séance. Ceci arrivait le plus souvent lorsqu'elle avait l'impression que ses élèves ne comprenaient pas les idées essentielles, ou tout simplement ne comprenaient pas. Dans un tel cas, elle organisait un retour sur les points importants, ou proposait des liens explicites avec ce qui avait été vu au cours des séances précédentes.

Nous identifions Jodie comme lisant pour les idées, parce que ce sont les idées mathématiques qui guidaient ses décisions didactiques (Trgalova Chap. 15) dans l'utilisation des ressources. Comme pour les autres professeurs, son mode d'engagement confirme l'assertion de Rosenblatt (1980). Lorsque des professeurs abordent une nouvelle ressource, ils le font en adoptant une attitude principale. La position de Mlle Jordan était déterminée par l'objectif de son enseignement des mathématiques et par son idée sur la manière dont une ressource pouvait être utile pour cet objectif.

Parmi les 14 professeurs de notre étude, seuls Jodie et un autre professeur ont abordé *Investigations* d'une manière correspondant au mode de destination de ce support. C'étaient les seuls professeurs à se centrer sur les objectifs mathématiques, les seuls à lire les compléments d'analyse mathématique

⁴ Cette expression désigne des préconisations allant dans le sens d'un retour à des valeurs traditionnelles de l'enseignement : en mathématiques, il s'agit de mettre en avant les techniques, le calcul en particulier.

destinés aux professeurs et à les utiliser pour leurs décisions didactiques et pour comprendre l'apprentissage des élèves.

11.6 Les possibilités d'évolution des modes d'engagement

J'ai évoqué ces exemples pour plusieurs raisons. D'abord, ils montrent comment les professeurs s'engagent de différentes manières avec la même ressource. Ils en lisent des parties différentes, y cherchent des choses différentes et développent une relation personnelle avec la ressource. J'ai aussi choisi ces exemples parce qu'ils montrent comment les expériences antérieures avec des ressources, et les *a priori* sur les ressources influencent la manière dont les professeurs s'engagent avec de nouvelles ressources.

La tendance de Jackson, structurer son usage du curriculum autour des fiches élèves, provient de son expérience passée avec des manuels, particulièrement ceux élaborés par des éditeurs commerciaux, qui organisent les leçons autour des exercices de mathématiques que les élèves doivent faire. Helen semble voir les ressources comme fournissant un scénario à suivre. La résistance de Rachel, en dépit de son adhésion globale à l'approche des mathématiques proposée par la ressource, montre que son attitude négative vis-à-vis du *genre* manuel a forgé son mode d'engagement. La tendance de Jodie, rechercher les idées mathématiques, montre comment différentes attentes amènent différentes lectures.

Revenant à la notion de positionnement (Ellsworth 1997), nous voyons que le matériel curriculaire a des modes de destination spécifiques - des façons de communiquer avec les professeurs - et que ces modes de destination prescrivent des rôles pour les professeurs, en les positionnant d'une certaine manière comme lecteurs. Mais les professeurs entrent en transaction avec les ressources avec leurs attentes particulières, leurs convictions, leurs habitudes, qui façonnent leurs modes d'engagement. Le plus souvent, ces modes d'engagement sont issus, en partie, des expériences passées. Ainsi, les professeurs se positionnent autant par leurs expériences passées que par le matériel lui-même. Margolinas et Wozniak (Chap. 13) parlent de *document générateur*, pour désigner un document rencontré au début de la carrière et qui a forgé ce que j'appelle le mode d'engagement.

Mon étude est influencée par ma participation à l'élaboration de ressources non conventionnelles, visant des usages qui ne sont pas fréquents. Beaucoup de manuels basés sur les standards tentent de changer les pratiques courantes des professeurs. Comme tous les supports, ils sont conçus avec l'idée d'un public cible. Pour atteindre leur objectif, ils doivent amener le professeur à faire partie de ce public cible. Ceci implique de contribuer à modifier la manière dont les professeurs utilisent les ressources. Comme le montre ce chapitre, ceci demande plus qu'un simple changement de mode de destination.

Ce qui n'est pas représenté dans mes descriptions des modes d'engagement des professeurs est la manière dont ceux-ci évoluent au cours du temps. Lors du suivi des années 3 et 4 du projet, nous avons pu observer (Remillard & Rhude-Faust 2006) des changements dans la manière dont les professeurs abordaient les ressources, qui reflétaient une évolution dans leur positionnement. La plus marquante était celle de deux professeurs, d'abord réticents (Rachel et un autre non décrit ici), qui ont progressivement développé une confiance dans la ressource. Les professeurs dont les approches étaient plus procédurales (Helen et un autre, non décrit ici), sont devenus au contraire plus sceptiques. Les modes d'engagement ne sont pas fixés, pas statiques. Ils peuvent évoluer au fil du temps. De même, Drake et Sherin (2009) ont observé des évolutions dans la manière dont un professeur lit une nouvelle ressource, après trois ans d'observation. Ils attribuent cette évolution au développement progressif d'une confiance dans les supports, grâce à la possibilité de formuler leur propre perspective en termes de choix et d'objectifs. Au fil de leur expérience, les professeurs se sont repositionnés comme des partenaires, et des collaborateurs de la ressource.

Je voudrais insister en conclusion sur cette notion d'évolution des modes d'engagement, porteuse d'espoirs en termes de changements de pratiques. Les modes d'engagement initiaux influencent fortement la manière dont les professeurs lisent et utilisent les ressources curriculaires. Il est important d'observer que ces modes peuvent évoluer. Gueudet et Trouche (2009) ont montré que les processus de conception et de reconception des ressources amènent des changements substantiels dans les approches des professeurs. L'étude de la question des modes d'engagement, de la manière dont les professeurs s'engagent avec de nouvelles ressources doit être poursuivie. Nos connaissances sur les manières dont les professeurs pourraient apprendre à développer des manières innovantes de s'engager avec les ressources, et pourraient se positionner comme partenaires de ces ressources sont réduites, elles doivent être développées.

Références

- Adler, J. (2000). Conceptualising resources as a theme for teacher education. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 3, 205–224.
- Brown, M. W. (2009). The teacher-tool relationship: Theorizing the design and use of curriculum materials. In J.T. Remillard, B.A. Herbel-Eisenmann, & G.M. Lloyd (Eds.), *Mathematics Teachers at Work: Connecting Curriculum Materials and Classroom Instruction*, (pp. 17-36). New York: Routledge
- Collopy, R. (2003). Curriculum materials as a professional development tool: How a mathematics textbook affected two teachers' learning. *Elementary School Journal*, 103 (3),287.
- Davis, E. A., & Krajcik, J. S. (2005). Designing educative curriculum materials to promote teacher learning. *Educational Researcher*, 34 (3), 3-14.
- Drake, C., & Sherin, M.G. (2009). Developing Curriculum Vision and Trust: Changes in Teachers' Curriculum Strategies. In J.T. Remillard, B.A. Herbel-Eisenmann, & G.M. Lloyd (Eds.), *Mathematics Teachers at Work: Connecting Curriculum Materials and Classroom Instruction*, (pp. 321-337). New York: Routledge.
- Ellsworth, E. (1997). *Teaching positions: Difference, pedagogy, and the power of address*. New York: Teachers College.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2009). Towards new documentation systems for mathematics teachers? *Educational Studies in Mathematics* 71 (3), 199-218.
- Lloyd, G. M. (1999). Two teachers' conceptions of a reform-oriented curriculum: Implications for mathematics teacher development. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 2(3), 227-252.
- Morgan, C.(1996). "The language of mathematics": Towards a critical analysis of mathematics texts. *For the Learning of Mathematics* 16 (3), 2-10.
- NCTM. (1989). *The curriculum and evaluation standards for school mathematics*. Reston, VA: Author.
- NCTM. (2000). *The principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: Author.
- Otte, M. (1986). What is a text? In B. Christiansen, Howson, A. G., Otte, M. (Ed.), *Perspectives on math education* (pp. 173-202). Kluwer: Dordrecht.
- Remillard, J. T. (1991). *Abdicating authority for knowing: A teacher's use of an innovative mathematics curriculum*. (Elementary Subjects Center Series No. 42). East Lansing, MI. Michigan State University, Institute for Research on Teaching, Center for the Learning and Teaching of Elementary Subjects.
- Remillard, J. T. (1996). *Changing texts, teachers, and teaching: The role of textbooks in reform in mathematics education*. Unpublished doctoral dissertation, East Lansing, MI: Michigan State University.
- Remillard, J. T. (2000). Can Curriculum Materials Support Teachers' Learning? Two Fourth Grade Teachers' Use of New Mathematics Text. *The Elementary School Journal*, 100, 331-350.
- Remillard, J. T. (2005). Examining key concepts of research on teachers' use of mathematics curricula. *Review of Educational Research*, 75(2), 211-246.
- Remillard, J. T., & Bryans, M. B. (2004). Teachers' orientations toward mathematics curriculum materials: Implications for teacher learning. *Journal for Research in Mathematics Education*, 35, 352-288.
- Remillard, J.T., Herbel-Eisenmann, B.A., & Lloyd, G.M. (Eds.) (2008). *Mathematics Teachers at Work: Connecting Curriculum Materials and Classroom Instruction*. New York: Routledge.
- Remillard, J. T., & Rhude-Faust, M. K. (2006, April). *Teachers' learning trajectories in relation to a standards-based mathematics curriculum*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.
- Rosenblatt, L. M. (1980). "What facts does this poem teach you?" *Language Arts* 57(4): 386-394.
- Rosenblatt, L. M. (1982). The literary transaction: Evocation and response. *Theory into Practice*, 21(4): 268-277.
- Schneider, R., & Krajcik, J. (2002). Supporting science teacher learning: The role of educative curriculum materials. *Journal of Science Teacher Education*, 13(3), 221–245.
- Sherin, M.G. & Drake, C. (2008). Curriculum strategy framework: Investigating patterns in teachers' use of reform-based elementary mathematics curriculum. *Journal of Curriculum Studies*.
- Stein, M.K., & Kim, G. (2009). The Role of Mathematics Curriculum Materials in Large-Scale Urban Reform: An Analysis of Demands and Opportunities for Teacher Learning. In J.T. Remillard, B.A.

Herbel-Eisenmann, & G.M. Lloyd (Eds.), *Mathematics Teachers at Work: Connecting Curriculum Materials and Classroom Instruction*, (pp. 37-55). New York: Routledge.

Stein, M. K., Remillard, J., & Smith, M. S. (2007). How curriculum influences student learning. In F. K. Lester Jr. (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 319-369). Charlotte, NC: Information Age.

TERC (1998). *Investigations in Numbers, Data, and Space*. Menlo Park, CA: Dale Seymour.

Chap. 12 - Le passage du papier au numérique : le cas du manuel scolaire

Eric Bruillard

12.1 Introduction

Le livre est une technologie déjà ancienne. Le livre scolaire en est une instance particulière, avec des caractéristiques spécifiques, pas seulement par le ou les publics qu'il vise, mais surtout parce que, outre qu'il peut constituer le « texte du savoir » sous une forme plus ou moins adaptée, il est source et support d'activités à mener au sein ou à l'extérieur de la classe. Pour cette raison, le livre scolaire ne peut être appréhendé indépendamment des instruments utilisés dans les activités scolaires, il y fait référence ou en fait partie. La numérisation, totale ou partielle, du livre scolaire et son éclatement possible en ressources indépendantes parfois interconnectées conduisent à modifier le rapport que ses lecteurs, voire utilisateurs, enseignants et élèves, peuvent entretenir avec lui. Ce chapitre explore les questions de mutation des manuels scolaires en les spécifiant au cas des mathématiques, illustrant notamment comment des modifications d'instrumentation peuvent avoir une incidence sur leur forme ou leur contenu. Il essaye d'éclairer les évolutions en cours.

Le manuel scolaire est un « outil aux multiples facettes » (Lebrun 2006) et son avenir s'ancre en partie dans son passé. Aussi n'est-il pas inutile de mieux comprendre ce qu'il est ou a été, quelles recherches lui sont consacrées, avant de situer les transformations qui risquent de se produire. C'est ce que nous allons faire dans une première partie. Nous analysons ensuite les modifications apportées par l'informatique, les instruments associés et les réseaux, qui ont un impact sur différentes dimensions du livre scolaire. Les implications dues au fait qu'avec l'informatique, l'écriture peut être dissociée de son support, le livre en tant qu'objet matériel, sont étudiées.

N'ayant pas entrepris de recherches empiriques sur les enseignants et les manuels scolaires, nous serons peu prolixes sur le travail même du professeur et son interaction avec le manuel (les transactions que Remillard évoque, Chap. 11), que nous considérerons néanmoins de manière incidente. Nous verrons toutefois que cette thématique semble encore peu étudiée dans les recherches internationales consacrées aux manuels scolaires.

12.2 Manuels scolaires : quelques repères sur les recherches internationales

Les manuels scolaires ont une place centrale dans l'éducation depuis au moins deux siècles (Mœglin 2005, Margolinas et Wozniak Chap. 13). Les façons de les élaborer, de les produire, de les choisir, de les étudier varient grandement selon les pays. Donner des repérages sur l'histoire des manuels et sur les courants de recherche qui y sont consacrés permet de dégager quelques questions générales et quelques spécificités, notamment les questions de contrôle institutionnel, *a priori* ou non, des manuels et l'incidence de ces modalités de contrôle sur la manière de les considérer.

12.2.1 Le manuel, un objet à définir

Qu'est-ce qu'un manuel ? La réponse à cette question, apparemment anodine, ouvre des pistes de réflexion intéressantes. Selon le Trésor de la Langue Française (TLFi¹), c'est un « ouvrage de format maniable, qui contient les éléments d'une discipline ou l'essentiel d'un programme scolaire ». Mais selon Johnsen (1993, Chap. 1), le concept de manuel n'est ni précis ni stable. Une définition très générale peut en être donnée pour inclure tous les ouvrages conçus selon des visées éducatives ou même tout livre utilisé en classe. Il propose de distinguer *textbook*, conçu *pour* l'éducation et *schoolbook*, utilisé *dans* l'éducation, cette séparation étant un produit de l'histoire. Concernant les *textbooks*, Johnsen considère qu'ils peuvent être vus comme un sous-ensemble des médias d'enseignement, cette notion (*teaching media*) permettant d'inclure des œuvres très diverses : *basic books*, *manuals*, *workbooks*, *reference books* et *exercise book* (op.cit., p. 26).

Choppin (1992) distingue quatre grandes catégories de livres scolaires. D'abord, il définit les *manuels* comme des ouvrages « conçus dans l'intention, plus ou moins explicite ou manifeste (...) de servir de support écrit à l'enseignement d'une discipline au sein d'une institution scolaire ». Ensuite, il distingue les *éditions classiques* (œuvres classiques reproduites en totalité ou en partie, « abondamment annotées ou commentées à l'usage des classes »), les *outils de référence* (dictionnaires, atlas, précis, mémentos, recueils de documents...) et les *ouvrages parascolaires*.

¹ <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>

En fait, dans les distinctions précédentes, il s'agit de savoir si on prend en compte l'intention déclarée ou l'utilisation. Dans le premier cas, on retient les documents spécialement conçus pour l'éducation, dans une acception parfois large ; dans le second, les documents utilisés dans un but didactique, même s'ils n'ont pas été conçus pour (notamment afin d'inclure les grandes œuvres !).

Le choix de telle ou telle catégorisation est souvent lié à la finalité d'étude ou de recherche sur les manuels scolaires. Pour les historiens, soucieux de nourrir leurs bases de données, il importe d'avoir des cadres permettant de savoir avec précision quoi inclure. C'est par exemple le cas du recensement effectué au Québec, qui prend comme définition du manuel scolaire « tout livre ou tout cahier d'exercices servant à comprendre et à mémoriser les connaissances telles qu'explicitées dans les programmes rédigés par les autorités compétentes et destinés aux élèves des différents niveaux pré-universitaires » (Aubin, <http://www.bibl.ulaval.ca/ress/manscol/catalog.html>)

Mais, si l'on veut prendre en compte ce qui peut être utile pour l'enseignement et l'apprentissage, on arrive alors à la notion de *pedagogical text* (texte *pédagogique* ou texte *didactique*). Pour Selander (2005), le terme « texte pédagogique » désigne un texte (ou plus largement un code ou un signe) produit dans un but spécifique (souvent éducatif) défini par une institution. Un panneau de signalisation routière est considéré comme un texte pédagogique, de même qu'un livre de cuisine ou une information sur le marché du travail. Ainsi, *The Centre for Pedagogical Texts and Learning Processes*² affiche une définition qu'il qualifie de non traditionnelle du « texte pédagogique », intégrant les discours tels que les cours magistraux ou les dialogues entre enseignants et élèves, l'architecture et le design... Même si les textes pédagogiques les plus répandus sont conçus pour les écoles, on peut les rencontrer en dehors des institutions éducatives, comme dans les affaires ou dans les médias, dans les expositions (Insulander 2006). De même, l'institut Georg-Eckert³, centre de recherche de renommée internationale sur les manuels scolaires lance en 2009 un nouveau journal nommé JEMMS (Journal of Educational Media, Memory, and Society), en remplacement du journal nommé "International Textbook Research"⁴. Outre les manuels scolaires, ce journal s'intéresse à différents types de « textes », tels que les musées, les mémoriaux, les films.

Finalement, la notion de « texte pédagogique » remplace et étend celle de média d'enseignement. Elle conduit à s'éloigner d'une part de l'école, comme lieu, et d'autre part du livre, comme support, et à s'interroger sur les caractéristiques des dispositifs conçus dans une intention éducative. Elle amène ainsi à des études sur les *genres* de texte – narratifs, explicatifs, ostensifs (Selander 2005) – et plus largement à des analyses rhétoriques et sémiotiques. Ce n'est pas sans lien avec les structures qui produisent et les personnes qui rédigent les manuels scolaires. En effet, si, en France notamment, les manuels sont en règle générale écrits par des « professionnels » de l'enseignement, des enseignants le plus souvent, parfois des inspecteurs de l'éducation⁵, dans d'autres pays, notamment dans les pays scandinaves, les auteurs de manuels ne sont pas forcément des enseignants et appartiennent à la catégorie des *nonfiction authors*⁶.

Ainsi, essayer de préciser la notion de manuel scolaire, en s'appuyant sur des travaux de recherche récents, nous conduit hors de l'école vers d'autres institutions et loin de l'objet livre et du papier, vers d'autres objets, préfigurant certaines des mutations apportées par l'informatisation. Avant d'examiner plus en détail les types de recherches consacrées aux manuels scolaires, nous allons essayer de mieux situer les grandes fonctions assumées par les manuels scolaires.

12.2.2 Les grandes fonctions d'un manuel scolaire

Si on peut voir les manuels avant tout comme des outils d'apprentissage, ils exercent quatre fonctions essentielles (Choppin 2005a) : *référentielle* ; *instrumentale* ; *idéologique* et *culturelle* ; *documentaire*.

La première fonction, référentielle, curriculaire ou programmatique, correspond au fait que le manuel est le principal, voire parfois l'unique support du contenu éducatif. C'est en quelque sorte l'« interprétation pratique » des programmes officiels.

² Situés à Tønsberg en Norvège, <http://www-lu.hive.no/tekstar/engversion.htm>

³ <http://www.gei.de/en/georg-eckert-institute-for-international-textbook-research.html>

⁴ <http://www.gei.de/en/publications/international-textbook-research-journal-of-the-georg-eckert-institute.html>

⁵ Rappelons que c'est forcément abusif, comme le confirme le rapport Borne (1998). Mais cela semble rare en mathématiques, alors que cela demeure une pratique répandue dans d'autres disciplines.

⁶ Selon Wikitionary, *Non-fiction - A true story or book about real things. Written works intended to give facts, or true accounts of real things and events. Often used attributively. [...] Encyclopedias, how-to manuals and biographies are all considered nonfiction and so are kept in the nonfiction section.*

La deuxième fonction, instrumentale, correspond à l'usage pédagogique du manuel, ce dernier exposant des méthodes d'apprentissage et proposant des activités, structurant des progressions. En outre, comme le rappelle Choppin (1996), si le manuel est « un instrument pédagogique, indissociable des objectifs et des méthodes de l'enseignement de son temps », il « ne peut non plus être envisagé indépendamment, on l'oublie trop souvent, et de la panoplie d'outils qui sont alors offerts concurremment ou subsidiairement aux enseignants – à commencer par le tableau noir, introduit à la fin du XVII^e siècle dans les écoles lassaliennes pour les exercices d'arithmétique – et du niveau de formation (ou du degré de maîtrise) qu'ont réellement acquis les enseignants qui sont censés l'utiliser ».

La troisième fonction est idéologique et culturelle, de manière plus ou moins marquée selon les époques, les pays et les disciplines : « [...] répandus avec profusion auprès d'un public jeune et encore malléable, [ils] sont nécessairement les vecteurs d'un système de valeurs souvent implicite ou de modes de raisonnement privilégiés. Ils participent ainsi du processus de socialisation et d'acculturation des générations les plus jeunes ». (Choppin 1996).

Enfin, la quatrième fonction est la fonction documentaire, plus récemment apparue : le manuel est « censé fournir, sans en orienter la lecture, un ensemble de documents, textuels ou iconiques, dont l'observation ou la confrontation sont susceptibles de développer l'esprit critique de l'élève » (Choppin 2005a).

C'est bien évidemment autour de ces différentes fonctions que vont se concentrer les recherches sur les manuels scolaires.

12.2.3 Quelles recherches au plan international ?

Les manuels scolaires sont partie prenante de la « scène éducative » mais, comme le relève Herlihy⁷ en introduction à un colloque en 1992, si leur place et leur rôle ont rarement été sérieusement interrogés par le passé, ils sont maintenant l'objet de nombreuses investigations. L'opposition que nous avons signalée dans la définition d'un manuel, entre l'intention éducative déclarée ou l'utilisation dans un cadre scolaire, se retrouve dans les recherches sur les manuels scolaires à travers une dichotomie entre l'objet étudié pour lui-même et l'étude de ses usages en éducation.

Consulter les recherches internationales sur les manuels scolaires (*textbook research*) permet de repérer des spécificités plutôt étrangères à la France, montrant bien que les thématiques des chercheurs sont fortement influencées, voire contraintes, par des forces extérieures, ou plus exactement fortement déterminées par le contexte dans lequel leurs recherches s'effectuent. Nous nous appuyons ici sur les publications internationales, notamment une revue des colloques de l'IARTEM⁸, association internationale s'intéressant aux recherches sur les manuels scolaires et les médias éducatifs (Selander *et al.* 2002, Mikk *et al.* 2002, Horsley *et al.* 2005, Bruillard *et al.* 2006, Horsley *et al.* 2009) ainsi que des synthèses de recherches (Mikk 2000, Johnsen 1993).

Des constantes dans les axes de réflexion sont aisément décelables.

D'abord, un premier thème récurrent est celui de *l'évaluation*, parfois dans le cadre de réformes curriculaires, du contenu et de la qualité des manuels, pour l'approbation et la sélection de ceux-ci. En effet, beaucoup de pays ont un contrôle préalable des manuels scolaires, organisé par les autorités éducatives. Il y a des appels d'offres, des guides précisant ce que doit être un manuel... Comment analyser un manuel, en tant qu'objet, apparaît comme une activité importante, dans les processus institutionnels d'adoption, avec tous les groupes de pression possibles⁹. En particulier, des critères formels, de lisibilité par exemple (Mikk 2000), peuvent être proposés intégrés à des grilles d'analyse de toutes sortes. On note, par exemple, des terminologies particulières comme les *considerate texts*, littéralement textes « prévenants » ou « attentionnés », mais que l'on pourrait traduire par « textes efficaces » pour les apprenants¹⁰ : il s'agit de concevoir les textes pour motiver les apprenants

⁷ "Textbooks have been a major part of the educational scene. Numerous studies have indicated that as much as ninety percent of instructional time is devoted to texts and other print materials. A textbook, however, is inanimate; it exists in a dynamic social setting. In the past, some texts became national institutions, such as McGuffey's Readers, Muzzey's American History and McGruder's American Government. The role and place of these textbooks was never seriously questioned. [...] Textbooks are no longer unquestioned authoritative tomes but the target of scrutiny by a plethora of internal and external forces that are influencing American education" (Herlihy 1992)

⁸ <http://www.iartem.no/>

⁹ Voir par exemple les questions autour du « dessein intelligent » ou intelligent design aux États-Unis

¹⁰ http://www.walch.com/powerbasics/power_basics_white_paper.pdf. "Considerate text"--text that is: well-written, well-organized, and signals the organization of its thought to the reader --is easier for both good and poor readers to understand.

(lecteurs) et maintenir leur activité de lecture, les confronter aux mauvaises interprétations possibles... (Wikman & Akademi 2009). Pour résumer, ce thème de recherche est très en vogue dans les pays pour lesquels une procédure d'adoption des manuels est en vigueur, conférant au manuel en quelque sorte le statut d'objet en soi que l'on peut étudier indépendamment de son utilisation. Ce n'est pas le cas de la France. En effet, « première nation à avoir confié à son corps enseignant le droit de choisir librement ses outils, c'est, encore aujourd'hui, l'un des rares pays du monde où s'exerce dans le domaine du livre d'enseignement une triple liberté : liberté de la production, liberté du choix, liberté de l'utilisation » (Choppin 2005a).

On trouve ensuite des recherches sur les questions d'usage, notamment dans les pays pour lesquels il n'y a pas d'enjeu national, du fait des processus d'adoption décentralisés des manuels. On peut parfois associer des études *a priori* et des études expérimentales, s'appuyant sur des tests après l'utilisation de manuels. C'est aussi un angle pour étudier les questions d'intervention éducative, notamment au Québec (Lenoir et al., 2001 ; Spallanzani et al., 2001). Notons que les enjeux de formation aux manuels scolaires ont fait l'objet de rares propositions (Choppin 2005b), comme si leur utilisation allait de soi et ne nécessitait aucun accompagnement. Une tentative soutenue par l'association Savoir Livre¹¹ a avorté et les propositions n'ont d'ailleurs pas été suivies d'effet notable en France et, si cela a rencontré un écho très favorable dans la communauté de recherche associée à l'ARTEM, cela reste une simple préoccupation alors que des offres de formation sur l'écriture et la sélection des manuels scolaires ont été mises en place.

Une thématique essentielle se retrouve aussi de manière récurrente autour des *valeurs* et des *identités*. Cela correspond à la fonction idéologique et culturelle des manuels scolaires. Elle apparaît sous différentes formes dans les axes des colloques : Briser les frontières de l'Autre (*breaking the borders of otherness*) ; changement des identités dans un monde globalisé ; *Local, national and transnational identities in textbooks and educational media...* C'est également la culture des jeunes qui est interrogée (Selander et al. 2002). Comme le rappelle Choppin (1992, p. 22), alors que le discours de l'enseignant peut fluctuer selon ses compétences ou ses opinions, le manuel est « garant d'une certaine orthodoxie politique, idéologique, scientifique, pédagogique ». Une question est souvent traitée, celle des stéréotypes et des discriminations dans les manuels scolaires, notamment dans la construction du genre. Les manuels doivent-ils être « en avance » et montrer une société « souhaitée » ou plutôt refléter la société actuelle (voire promouvoir un modèle spécifique) ? L'UNESCO est moteur sur ces questions (Brugeilles et al. 2002), concernant les manuels du primaire dans les pays en voie de développement ou dans différentes cultures (notamment s'agissant de manuels de mathématiques). La HALDE¹² a aussi lancé une étude sur les manuels de second degré en France (Tisserant & Wagner 2008). Le manuel est autant le témoin, le révélateur, voire peut-être alors l'otage de telles études.

Privilégier les aspects idéologiques et culturels conduit à focaliser sur certaines disciplines comme l'histoire, l'éducation civique et, dans une moindre mesure, la littérature. Bien évidemment, les disciplines scientifiques et technologiques sont moins présentes et pour des analyses plutôt centrées sur les contenus enseignés et leur évolution. Les discours et les recherches renseignent d'ailleurs beaucoup sur les disciplines (et leurs didactiques) qui les portent (Bruillard 2005). L'histoire et la géographie étudient très soigneusement leurs manuels, la conception de ces derniers n'étant pas étrangère à leur constitution et à leur développement. En outre, dans ces disciplines, les questions de nature politique – la fonction idéologique et culturelle des manuels – se posent avec une grande acuité. Comme le soutient Crawford (2000, 2002), « *les manuels scolaires sont des organes essentiels dans le processus de construction d'idéologies et de croyances légitimées et reflètent l'histoire, la connaissance et les valeurs considérées comme importantes par les groupes puissants dans la société* ». ¹³ Le thème de la paix (*Peace, democratization and reconciliation in textbooks and educational media*, Horsley et al. 2009) se prête bien aux études sur les manuels, en vue d'une conception particulière. Le manuel d'histoire franco-allemand apparaît comme un exemple

Indeed, "considerate text" (the phrase was coined by Anderson and Armbruster) Note 48 seems to improve the ability of poor readers to understand and remember what they read. <http://www.longleaf.net/ggrow/StrategicReader/StratText.html>

¹¹ <http://www.savoir-livre.asso.fr/>

¹² HALDE : Haute Autorité de Lutte contre les Discriminations et pour l'Égalité, <http://www.halde.fr/>

¹³ Le volume 3, n° 2 de l'*International Journal of Historical Learning, Teaching and Research*, est entièrement consacré aux manuels scolaires en histoire, <http://www.ex.ac.uk/historyresource/journal6/6contents.htm>

caractéristique. Sa genèse est décrite dans (Defrance & Pfeil 2007, François 2007)¹⁴. Toutefois, on peut légitimement douter de son intérêt dans les classes d'histoire tant en Allemagne qu'en France¹⁵.

Il existe aussi une thématique sur la conception même des manuels, les langues utilisées, le rôle des images, l'articulation des textes et des images. On retrouve ces questions dans un livre québécois coordonné par Lebrun (2006).

Signalons enfin que le manuel, objet physique ubiquitaire, présent en classe, à la maison, en lien avec les parents, est finalement l'objet de peu d'études sur ce qui se passe à la maison. On peut noter cependant le travail de Cristina d'Avila (2001), au Brésil, sur des manuels contenant des logos et des slogans de marques et surtout des activités d'écriture basées sur ces slogans¹⁶. Selon elle, les jeunes mères de famille sont la cible visée par ces publicités. Les enseignants et coordinateurs pédagogiques semblent s'en accommoder, manifestation d'une absence de sens critique ou du fait qu'ils suivent souvent aveuglément les manuels. Des évaluations officielles vantent même certains manuels, leur délivrant une onction socioconstructiviste !

Pour terminer ce tour d'horizon des grandes thématiques de recherche, signalons que les changements des manuels apparaissent dans des oppositions entre passé et futur : *Has Past Passed* (Horsley et al. 2005), *New educational media* (Selander et al. 2002), *Caught in the Web or lost in the Textbook?* (Bruillard et al. 2006). Cette opposition entre le texte *inanimé* et le contexte social d'usage des manuels (Herlihy, 1992) est peu à peu remise en cause avec le passage au numérique.

Dans cette revue de la littérature, on peut constater que la question de *l'appropriation* des manuels par les enseignants ne semble pas étudiée. Alan Purves, dans son introduction au livre de Johnsen (1993) rappelle même que des tentatives avaient été faites de réalisation de manuels *teacher-proof*. Il s'agissait de produire des livres adaptés à une conception de l'instruction, avec des enseignants « programmés » pour les utiliser de la façon prévue par les auteurs et les éditeurs. Cela avait déclenché d'énormes critiques et s'était avéré peu concluant. Ainsi, par exemple, les questions censées stimuler la discussion se muiaient parfois dans la classe en récitations de faits. En tous cas, même s'ils peuvent être vus ici de manière négative, les enseignants pouvant détourner les « meilleurs » manuels, cela souligne leur rôle essentiel.

Le cas des mathématiques ne semble pas non plus beaucoup pris en compte. On peut en partie expliquer ce phénomène par le choix des publications étudiées privilégiant les recherches qui se rattachent au domaine *textbook research*. Se pose ensuite la question de la spécificité des mathématiques en tant que discipline d'enseignement : certaines thématiques de recherche autour de manuels scolaires ne seraient-elles pas adaptées ? Par exemple, les questions idéologiques et culturelles seraient-elles étrangères à une discipline prétendant à l'universalité ? Ce n'est pas le cas pour les mathématiques scolaires, du moins pour le primaire et le début du secondaire. Ainsi, les exercices de nombre des manuels du 19^e siècle étaient l'occasion de faire des leçons de morale. Étudier les liens, dans les manuels actuels, avec le monde social, devrait fournir des résultats intéressants.

Plus largement, les recherches présentées pourraient orienter un programme d'analyse et d'investigation spécifique aux mathématiques. D'abord, identifier les corpus ; que retenir comme ouvrages scolaires, ceux qui sont conçus pour, ceux qui sont utilisés : traités, encyclopédies, jeux mathématiques... Quoi prendre en compte dans ce qui sort du cadre scolaire (musées par exemple, présence de jeux mathématiques dans les journaux, etc.), ouvrages, films, émissions de vulgarisation... Comment reproblématiser la notion de texte pédagogique (les métadiscours dans les manuels de mathématiques) ? De telles études devraient permettre de mieux cadrer la question du « passage au numérique » que nous allons maintenant aborder.

¹⁴ Voir également <http://eduscol.education.fr/D0156/all-manuel-franco-allemand.htm>

¹⁵ En fait, on trouve très peu de retours sur les usages de ce manuel. Un entretien (communication personnelle) avec un chercheur du Georg-Eckert Institute confirme la rareté des utilisations en Allemagne et révèle que, dès la sortie du manuel franco-allemand, certains chercheurs ayant participé à cette aventure émettaient des doutes sur son utilisation dans les classes. En France, les rares témoignages obtenus, grâce aux Clonautes, confirment les difficultés d'utilisation. Cela montre l'aspect politique et médiatique de la réalisation et l'écart avec les pratiques effectives, du moins telles que l'on peut les connaître.

¹⁶ Par exemple : *Copie dans ton cahier la phrase qui a la même signification* : « *Kolynos procure une haleine pure et rafraîchissante* ». (Kolynos est une marque de dentifrice !)

12.3 Le passage au numérique : apports de l'informatique et des réseaux

La diffusion de l'informatique et des technologies associées conduit à différents changements dans les manuels, nous allons tenter de les passer en revue. Un point lexical est sans doute à faire, puisque différents termes sont employés tels que électronique, numérique, informatique voire digital. Grossièrement, les documents que l'on va manipuler sont *numériques*, mais les traitements sont *informatiques* et il y a besoin de machines *électroniques* pour les supporter, ce qui traduit un jeu autour de la numérisation, des supports et des modifications dans les interactions possibles. Nous allons privilégier le mot « informatique » dans la suite, puisque ce sont avant tout les interactions et les traitements qui vont nous intéresser.

12.3.1 Des adjonctions au manuel papier vers un nouvel environnement de travail

On peut d'abord penser à l'extension des possibles. Ce n'est certes pas nouveau, puisque avec les innovations successives, les accompagnements aux manuels se sont succédés : des diapositives, des cartes, des feuilles particulières, des cassettes audio ou vidéo, des cédéroms... des objets ou des sites dits « compagnons » fournissant divers compléments. En général, le livre reste le pivot, on lui adjoint d'autres ressources à utiliser en classe, surtout s'il s'agit de médias privilégiant une utilisation collective, ou à la maison. Ces ressources complémentaires ouvrent de nouveaux marchés, dépendant évidemment du déploiement d'infrastructures dans les écoles et dans les foyers (télévision, magnétoscopes, lecteurs de cédérom, ordinateurs avec accès internet...). Notons d'ailleurs que les éditeurs, comme le constate Marcé (2003), « pas plus qu'ils ne font les programmes, ne font les pratiques » : ce n'est jamais la dernière technologie qui arrive sur le marché qui leur permet de faire des bénéfices, mais les précédentes apparues qui ont eu le temps de se diffuser et qui s'intègrent à des usages que l'on peut quasiment considérer comme étant banalisés.

Mais, au-delà de simples ajouts, c'est l'environnement de travail des enseignants et des élèves qui se modifie. Comme nous l'avons dit précédemment, le manuel propose des activités à mener en classe. Ce qu'il est possible de faire dépend de l'environnement technologique disponible (calculatrices, systèmes de projection, etc.). En particulier, tout dispositif qui étend les capacités de l'enseignant à montrer des choses aux élèves est susceptible de jouer un rôle important. Le succès commercial grandissant des tableaux numériques interactifs (ou tableaux blancs interactifs, TNI ou TBI) l'atteste. En effet, selon Cuban (1986), les enseignants vont plus facilement adopter les technologies d'usage fréquent, n'exigeant pas un long apprentissage et qui renforcent leur contrôle sur les processus d'enseignement et d'apprentissage. Cela explique le succès des photocopieuses qui se sont substituées aux machines de duplication à alcool. C'est aussi le cas des tableaux numériques interactifs qui étendent la gamme de ce que le professeur peut montrer, sans par ailleurs l'obliger à utiliser des fonctionnalités avancées et sans changer en profondeur ses modes de relation avec les élèves.

Par ailleurs, les nouveaux supports ou dispositifs de traitement et de visualisation (tableaux, ordinateurs, *smartphones*, etc.) se renforcent l'un l'autre. En particulier, les environnements numériques de travail (ENT) complètent la panoplie en facilitant le passage entre la classe (à l'aide d'un tableau blanc interactif) et hors la classe, les élèves (et les parents) pouvant (théoriquement) récupérer des traces du travail effectué, sur leurs ordinateurs à domicile. Le fait que les dispositifs numériques actuels peuvent facilement échanger des données, ouvre des extensions des manuels scolaires dans différentes dimensions, allant notamment bien au-delà de ce qui se passe en classe. On peut envisager les nouvelles situations, de type collaboratif, favorisant les débats par exemple, qui pourraient être mises en œuvre ou se borner à constater que la panoplie de l'enseignant augmente et son contrôle également.

Jusqu'à présent, on différenciait les produits « scolaires », conformes aux programmes et conçus pour être utilisés en classe ou à la maison, mais avec la médiation de l'enseignant, les produits « parascolaires », liés aux programmes mais conçus pour un travail en autonomie de l'élève chez lui, et les produits ludo-éducatifs sans référence explicite aux programmes et visant un public large, souvent segmentés par tranche d'âge. Les frontières entre ces différents produits sont en train de s'estomper (Marcé 2003).

Se développe également une plus grande interactivité, par Internet, entre les auteurs et les utilisateurs ou même des utilisateurs entre eux, sur des ouvrages. Ainsi, depuis plusieurs années, des auteurs peuvent « prolonger » le lien avec les utilisateurs et demandent à l'éditeur d'ouvrir sur leur site, des zones spécifiques d'échanges autour du manuel. En mathématiques, ils offrent également en ligne nombre d'exercices supplémentaires, au motif que leurs collègues n'en ont jamais assez. Pour les

éditeurs, c'est aussi un moyen de faire « remonter » en permanence de la part des utilisateurs, leurs interrogations, leurs demandes de précisions, et cela contribue à une amélioration plus rapide des ouvrages (Marcé 2003). Mais des questions nouvelles émergent, en lien avec le mode de production des ressources et des possibilités accrues d'association entre les utilisations en classe et à la maison.

12.3.2 Conceptions et usages nouveaux en synergie ?

Le déploiement de l'informatique et de réseaux, surtout l'essor extraordinaire d'internet, ont un impact fort sur la production et l'échange des ressources.

Que l'enseignant ait, depuis fort longtemps, une part dans la constitution des ressources qu'il propose aux élèves, qu'il les construise à partir de morceaux glanés sur différentes sources, est connu. Cela prolonge le rôle de renforcement de contrôle joué par les photocopieuses qui se sont sans difficulté « intégrées » dans les établissements scolaires, dans une tension avec les manuels scolaires.

Internet augmente considérablement les opportunités, d'une part via une offre pléthorique (et les modalités d'accès et d'analyse de cette offre sont certainement à interroger), d'autre part dans des modalités collectives de conception ou de qualification de ressources. Les chaînes de production sont modifiées : du support livre, objet souvent sacralisé, portant les mentions de l'éditeur et des auteurs, aux différents supports électroniques facilitant échanges, réécriture, recomposition, une gamme de nouveaux possibles se fait jour.

On sort du cadre d'un objet publié et on peut associer les rôles d'usagers et de concepteurs et modifier dans l'utilisation même, livres et cahiers mélangés (les dispositifs informatiques unifient les supports d'écriture et de lecture), individuels et collectifs. On dépasse l'opposition conception / usage qui est bien lié au modèle du livre, pour une conception qui peut se *poursuivre* dans les usages (Gueudet et Trouche Chap. 3). Il n'y a plus forcément d'objet clos, fini, qui a des déclinaisons successives, mais une offre évolutive : le manuel projetable, le manuel « découpable », les exercices vivants... On peut imaginer un dispositif permettant de garder l'histoire de l'élaboration (voire des utilisations) et faciliter l'écriture collective et la personnalisation (documents personnalisables).

Parlant de « mémoire didactique », Hache imagine un manuel possible dans l'avenir : « en décloisonnant les différents supports qui portent la mémoire pour l'élève : manuels, cahiers, interventions sur un ordinateur... tous ces aspects pourraient être reliés (numériquement) et constituer une trame. La mémoire de classe pourrait être alors la somme des mémoires d'élèves ainsi matérialisées, augmentée de la mémoire du professeur »¹⁷.

Des collectifs d'enseignants peuvent plus facilement produire et diffuser des ressources éducatives, dans une conception collaborative distante, à l'exemple de l'association Sesamath¹⁸ (voir Gueudet et Trouche Chap. 7), qui, en particulier, élabore des manuels scolaires. Ces derniers introduisent différentes innovations. D'abord le fait que, si des manuels papier sont vendus, à des prix plus bas que ceux des concurrents, les manuels en format électronique sont accessibles gratuitement sur le site de l'association. En outre, des extensions, des activités sont également offertes gratuitement et il est possible de proposer aux élèves des activités à faire chez eux, prescrites par l'enseignant, qui pourra récupérer les résultats des élèves, assurant un lien entre les activités en classe et les activités à la maison et un certain contrôle sur ces dernières. La production de Sesamath montre comment les enseignants eux-mêmes organisés en association peuvent faire disparaître certaines frontières traditionnelles. Cela n'est pas sans poser des questions, notamment autour du contrôle ou de la validation des ressources par des « autorités » et des activités par les ressources elles-mêmes.

Validation et légitimité

Quid des notions d'auteur, de collection, d'éditeur ? Ces « disparitions » ou réorganisations annoncées conduisent à reposer les questions de sélection et de validation des manuels scolaires. Nous avons vu précédemment qu'elles occupaient une place importante dans la recherche internationale sur les manuels scolaires. La circulation de ressources numériques fait éclater la chaîne de production et d'adoption des livres scolaires. Comment vont alors s'exercer les modalités de validation ? Faut-il une autorité pour cela ? La question est largement débattue autour de Wikipedia (Bruillard 2007). Ses principes ne sont pas complètement en accord avec la loi française ; en particulier, certaines prises de position comme le négationnisme, acceptables pour Wikipedia puisque portées par des publications existantes, n'ont pas droit de cité en France. L'instabilité des ressources

¹⁷ Point de vue : « Manuel du futur... proche ?? », Sébastien Hache 29/11/2006, MathemaTICE, revue de l'association Sésamath <http://revue.sesamath.net/spip.php?article34>

¹⁸ <http://www.sesamath.net/>

produites (le fait qu'un enseignant puisse conseiller à ses élèves de lire un article dont le contenu pourra être modifié lorsque les élèves vont le lire) pose également problème. Une solution acceptable pourrait être de figer une partie de l'encyclopédie, dont le contenu peut être garanti par une communauté de volontaires.

En France, depuis Jules Ferry (Choppin 2005a), les enseignants sont libres de choisir les manuels scolaires. Mais les éditeurs offraient une sorte de garantie sur les contenus et sur le respect des programmes scolaires. Nombre de ressources émanent aujourd'hui de sources mal identifiées, faisant reposer sur les enseignants la responsabilité de la validation. Dans le cas d'une production par une association d'enseignants, celle-ci peut fournir cette garantie. Cela suppose qu'on leur reconnaisse l'expertise suffisante sur les contenus. Cela ne pose sans doute pas de problème majeur pour les contenus usuellement enseignés en mathématiques en primaire et en secondaire, mais pourrait en poser sur des contenus nouveaux (par exemple les statistiques ou l'algorithmique), que les enseignants n'auraient pas rencontré à l'université. Dans d'autres disciplines, les sciences de la vie et de la Terre par exemple, du fait de l'évolution rapide des contenus, le besoin de validation par des experts semble être admis.

Interactivité et validation

Mais l'interactivité des ressources informatisées a également des implications complexes. Le passage d'un support *mort* à un support *réactif*, qui propose même des fonctions induites de validation est en effet peu discuté. Les instruments logiciels, sous prétexte de convivialité et de simplicité, font de plus en plus de choses non explicitement demandées par les utilisateurs. L'action du logiciel a alors souvent un effet de validation, dont les utilisateurs ne prennent pas garde. Un exemple qui peut paraître anodin concerne la manière de gérer les ordinaux. Ainsi, on écrira 3^e, plutôt que 3^{ème} et quand on tape un 3 immédiatement suivi de *ième*, apparaît alors 3^{ième}, qui n'est pas dans les usages en France. Le contrat ne peut pas être entièrement clair, puisque l'acceptation, sauf mention expresse, veut dire validation. C'est la transformation opérée par le logiciel (ici le traitement de texte qui domine le marché) qui vaut pour validation.

De multiples exemples similaires peuvent être trouvés dans le domaine mathématique. Par exemple, le choix par la machine du format d'affichage des nombres, les arrondis, les courbes produites à partir d'un ensemble de données sélectionnées par défaut, etc. C'est sans doute encore plus préoccupant s'agissant de simulations qui ne prévoiraient pas un accès à leur modèle sous-jacent. Par ailleurs, lorsqu'une nouvelle technologie offre des opportunités, les enseignants ont tendance à y projeter leur image du fonctionnement de cette technologie, conduisant à des effets de régression maintes fois constatés, dont on peut espérer qu'ils ne seront que passagers : voir dans l'informatique avant tout une technologie de contrôle, plus que d'exploration ; multiplier les questionnaires à choix multiple parce que c'est facile à automatiser, etc.

12.3.3 Une instrumentation nouvelle

Le manuel, quand il est électronique, peut devenir en quelque sorte le *lieu* de l'activité. L'offre d'une nouvelle instrumentation peut induire des changements importants, tant dans l'organisation des enseignements que dans les contenus à enseigner. Deux exemples assez caractéristiques permettent de l'illustrer : l'évolution des outils d'écriture et les changements dans l'enseignement du calcul des aires.

De la plume d'oie au stylo numérique

Le premier exemple concerne les outils d'écriture et l'impact de leur évolution. Si le passage de la plume d'oie à la plume de fer a pu faire couler beaucoup d'encre (!) au Québec, selon Lavoie (1994, ch. 9-2), il a eu un effet fondamental sur l'enseignement de l'arithmétique : on a pu commencer l'arithmétique plus tôt dans la scolarité et s'émanciper de la séquence hiérarchisée traditionnelle lire-écrire-compter (c'est-à-dire qu'il fallait d'abord apprendre à lire, puis à écrire et enfin à compter, en faisant du calcul écrit). Le développement de l'enseignement simultané et une dextérité requise bien moindre avec la plume de fer ont permis cette évolution. La plume électrique d'Edison¹⁹ permettait de dupliquer des documents en créant au préalable une matrice de papier perforée de milliers de petits trous côte à côte. A la manière d'un pochoir, il suffisait ensuite d'enduire la matrice d'encre pour

¹⁹ <http://www.electropolis.tm.fr/> et <http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?4KY28.10/329/100/432/0/0>. Sorte de stylo électrique composé d'un moteur à courant continu constitué d'une armature en fer doux peinte en noir devant un électroaimant fixe bipolaire composé de deux bobines. Le moteur entraîne un volant d'inertie en métal chromé qui actionne la pointe du stylo qui fonctionne comme une perforatrice en perçant de nombreux petits trous dans le papier. <http://www.musees-alsace.org/Pages/FicheFRAM.php?NumFRAM=3087>

imprimer un grand nombre d'exemplaires de texte ou de dessin. Lointain ancêtre de la photocopieuse, cette plume n'a pas connu un grand succès. Le stylo bille, après la plume, a également permis de simplifier les gestes pour l'écriture, permettant certainement une prise de notes plus aisée et plus rapide.

Les stylos électroniques qui apparaissent maintenant sur le marché ouvrent des perspectives nouvelles, dans la continuité d'interaction entre papier et numérique, la possibilité de garder trace du processus d'écriture, l'échange d'informations avec d'autres instruments (téléphone, ordinateur...) (Malacria 2007). En particulier, peuvent être créés des liens dynamiques entre ce qui est noté sur un cahier et l'environnement du manuel, en partie papier et en partie accessible via internet (allant dans le sens du manuel du futur). Cela pourrait offrir un contrôle accru de l'enseignant sur les documents (fixes ou interactifs) qu'il peut proposer aux élèves, de manière collective ou plus personnalisée.

Calcul d'aire et papier millimétré

Si on accepte le fait que la construction de concepts par les élèves est un produit de leur activité, les modes d'exercitation ont un rôle central. Or, ils dépendent de l'instrumentation disponible : changer l'instrumentation peut modifier l'activité et en conséquence la manière de construire les concepts sous-jacents. L'évolution de l'approche de la notion d'aire dans les manuels est à ce propos exemplaire. En effet, si l'aire est une grandeur mesurable, il n'y avait pas dans les écoles (jusqu'à ce que l'informatique offre la possibilité d'avoir une mesure directe de l'aire de portions d'images) d'instrument permettant d'effectuer des lectures directes, nécessitant une procédure de calcul. La diffusion du papier millimétré au milieu du 20^e siècle a changé radicalement les activités des élèves : on est alors passé de l'identification des figures usuelles et de l'application de formules au comptage de carreaux, modifiant la construction même du concept d'aire. Même si cette modification ne se résume pas à un changement d'instrumentation (changement des finalités de l'école, théorie de la mesure...), cette dernière offre des opportunités d'activités pour les élèves ce qui la rend quasi nécessaire, au risque de complication pour l'approche de certaines situations (par exemple le calcul de l'aire d'un cercle, voir Bruillard 2007). On trouve facilement tous les exemples classiques des manuels (découpages, comptages...) via Internet, ainsi que des animations²⁰ illustrant bien la nature de méta-instrument (c'est-à-dire la capacité à simuler les autres instruments) que peut avoir l'ordinateur, mais posant la question de la cohérence avec la notion d'aire introduite à l'école.

Les mathématiques utilisent beaucoup d'instruments de calcul, de visualisation, etc. Des instruments obsolètes deviennent parfois des instruments pédagogiques : les règles à calcul, parce que leur fonctionnement rend compte de certains processus de calcul, peuvent ainsi être réintroduites dans l'enseignement, en changeant la finalité de leur utilisation.

Informatique comme technologie d'écriture

Enfin, on peut sans doute aller plus loin dans l'analyse de ce qu'est susceptible d'offrir l'informatique. En effet, il s'agit avant tout d'une technologie d'écriture qui rend possible la séparation de l'écriture d'un support particulier. Cela a des implications fortes, notamment dans la possibilité de garder trace du processus d'écriture, d'autoriser les écritures collectives et de faciliter la transmission entre différents supports. Or, on peut considérer que l'école, en tant qu'institution en charge de transmettre des savoirs qui ont été transcrits et souvent réécrits spécifiquement pour l'éducation, repose sur l'écriture, et la technologie du livre a joué un rôle majeur ces derniers siècles. Une nouvelle écriture devrait conduire à modifier en profondeur l'école telle qu'on la connaît. En reprenant les idées développées par Jack Goody (1977), on pourrait se demander ce qui pourrait aller au-delà des listes et des tableaux dont il a mis en évidence l'importance avec l'écriture. Nous avons fait quelques hypothèses autour de la notion de table (voir Bruillard et Blondel, 2007 ; Bachimont Chap. 4). Ce qui est sûr, c'est que l'informatique favorise l'expérimentation et les possibilités réflexives (par la conservation de traces et la possibilité d'opérer dessus).

12.4 Perspectives

Le manuel est un objet complexe, support idéologique et publicitaire, miroir aux multiples facettes qui reflète les programmes, les activités dans les classes, mais dans lequel les acteurs projettent leurs interrogations. Le passage du papier au numérique ouvre de multiples interrogations dont nous avons essayé de rendre compte dans ce chapitre. On l'aura compris, la question n'est pas tant celle de la

²⁰ Par exemple http://www.mathgoodies.com/lessons/vol2/circle_area.html, <http://www.worsleyschool.net/science/files/circle/area.html>, <http://www.wku.edu/~tom.richmond/Pir2.html>, <http://illuminations.nctm.org/ActivityDetail.aspx?ID=116>

numérisation des manuels, qui faciliterait le passage entre différents supports de lecture, mais les modifications en train de se produire et leur impact sur l'éducation. Dans ce qui peut faire débat autour des manuels, plusieurs points méritent d'être soulignés.

Le premier concerne la tension entre deux modèles possibles : d'une part celui de l'ensemble de ressources largement indépendantes ou du catalogue recomposable de ressources, et d'autre part celui de l'ouvrage organisé autour d'une pensée (Bruillard 2005). Cela conduit à interroger la structuration et la médiation, sans doute nécessaire, de l'offre Internet pour l'apprentissage.

Le deuxième concerne les modifications possibles des modes de scolarisation. En France, l'accompagnement scolaire est un champ fortement investi par les éditeurs de ressources numériques. Alors que certains élèves sont incapables de recourir aux manuels dont la compréhension et le fonctionnement suppose l'intercession de l'enseignant, la production de type parascolaire assume les fonctions dont le manuel s'est progressivement dessaisi. « Cette inversion des valeurs, le marché domestique s'appropriant les contenus scolaires traditionnels, n'est pas le moindre paradoxe de l'enseignement des mathématiques » (Choppin 1996).

Enfin, alors que l'instrumentation associée aux manuels scolaires et aux ressources électroniques se développe, comment assurer la maîtrise de cette instrumentation, en particulier par les enseignants ? Consommateurs des ressources produites par d'autres, simples modificateurs ou adaptateurs locaux, producteurs au sein de collectifs disciplinaires régionaux ou nationaux, accompagnateurs ou instigateurs de modifications plus profondes, quels rôles vont-ils assumer dans une école où l'informatisation sous ses différentes formes aura pris une place importante ? Question essentielle, encore ouverte.

Références

Baldner, J.-M., Baron, G.-L., Bruillard É. (dir.). (2003). *Les manuels à l'heure des technologies. Résultats de recherches en collège*. INRP.

Brugailles, C., Cromer, I., Cromer, S. (2002). Les représentations du masculin et du féminin dans les albums illustrés ou Comment la littérature enfantine contribue à élaborer le genre, *Population*, 57(2), 261-292, <http://www.crdp.ac-creteil.fr/telemaque/comite/fem-masculin-Cromer.pdf>

Bruillard, É., Aamotsbakken, B., Knudsen, S., Horsley, M. (eds) (2006). [Caught in the Web or Lost in the Textbook?](#) STEF, IARTEM, IUFM de Basse-Normandie, Paris : Jouve.

Bruillard, É. (2007). L'éducation face à Wikipédia : la rejeter ou la domestiquer ? *Médialog*, 61, 39-45.

Bruillard, É. (2006). Textbooks and numerical publishing: an instrumental point of view. In Kwak and Gim (eds.), *Internet and Textbook* (pp. 115-132). KyoyookKwahakSa Publishing Company.

Bruillard, Éric (dir.) (2005). *Manuels scolaires, regards croisés*. CRDP de Basse-Normandie, Documents, actes et rapports sur l'éducation, Caen.

Bruillard, É., Baron, G.-L. (1998). Vers des manuels électroniques ? Résultats d'une étude en mathématiques en classe de sixième, *Sciences et Techniques Éducatives*, 5(4), 343-370.

Bruillard, É., Blondel, F.-M. (2007). Histoire de la construction de l'objet tableur. Pré-publication. hal-00180912, version 1. 32 p. [En ligne : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00180912/fr/>]

Choppin, A. (1992). *Les Manuels scolaires : Histoire et actualité*. Paris : Hachette éducation.

Choppin, A. (1996). Les Manuels de mathématiques en classe de Sixième: un aperçu historique, in G.-L. Baron et E. Bruillard (dir.), *Du Livre au CD Rom, permanences et innovations : le cas des manuels de mathématiques en Sixième* (pp. 9-14). Paris: INRP, Créteil : IUFM, Lille : Trigone,

Choppin, A. (2005a). L'édition scolaire française et ses contraintes : une perspective historique, in Bruillard (2005).

Choppin, A. (2005b). How to select and use textbooks? A training course, in Horsley et al. (2005)

Crawford, K. (2003). The Role and Purpose of Textbooks, *International Journal of Historical Learning, Teaching and Research*, 3(2), <http://www.ex.ac.uk/historyresource/journal6/6contents.htm>

Crawford, K. (2000). Researching the Ideological and Political Role of the History Textbook - Issues and Methods. *Journal of Historical Learning, Teaching and Research*, 1(1), <http://www.ex.ac.uk/historyresource/journal1/journalstart.htm>.

Cuban, L. (1986). *Teachers and Machines. The Classroom use of Technology since 1920*. New York: Teachers college press.

- D'Avila, C. (2001). Le manuel scolaire brésilien : allié ou vilain dans la classe. In *Le manuel scolaire et l'intervention éducative : regards critiques sur ses apports et ses limites* (pp. 115-143). Sherbrooke : Éditions du CRP.
- Defrance, C., Pfeil, U. (2007). Le manuel franco-allemand d'histoire : l'aboutissement d'un long travail de coopération entre historiens français et allemands, in C. Demesmay, H. Stark (dir.), *Radioscopies de l'Allemagne* (pp. 335–350). Paris : IFRI
http://www.ifri.org/files/Visions_11_Defrance_Pfeil_vfa.pdf
- François, É. (2007). Comment enseigner l'Europe ? L'expérience du Manuel d'histoire franco-allemand, *Horizons stratégiques, Revue du Centre d'analyse stratégique*, 6, http://www.strategie.gouv.fr/revue/IMG/pdf/article_FrancoisHS6.pdf
- Goody, J. (1977). *The domestication of the savage mind*. Cambridge University Press. Trad. Française, *La raison graphique, la domestication de la pensée sauvage*, Les éditions de Minuit, 1979.
- Herlihy, J.G. (ed.) (1992). *The Textbook Controversy: Issues, Aspects and Perspectives*. Ablex Publishing: Norwood, N. J.
- Horsley, M., Knudsen, S.V., Selander, S. (eds.) (2005). 'Has Past Passed?' *Textbooks and Educational Media for the 21st Century*. Stockholm: HLS Förlag.
- IGEN, Borne, D. (1998). *Le manuel scolaire. Programme de travail 1997-1998*. Paris : Documentation française, <http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/994000490/0000.pdf>
- Insulander, E. (2006). The Exhibition as a Multimodal Pedagogical Text, in P. Aronson, M. Hillström (eds.), *NaMu, Making National Museums Program, Setting the Frames*, 26–28 February, Norrköping, Sweden, <http://www.ep.liu.se/ecp/022/ecp07022.pdf>
- Johnsen E.B. (1993). *Textbooks in the kaleidoscope. A critical survey of Literature and research on educational texts*. Scandinavian University Press.
- Lavoie, P. (1994). *Contribution à une histoire des mathématiques scolaires au Québec : l'arithmétique dans les écoles primaires (1800-1920)*. Thèse de l'université Laval, Faculté des sciences de l'éducation, Québec.
- Lebrun, M. (dir.) (2006). *Le manuel scolaire. Un outil à multiples facettes*. Québec : Presses Universitaires du Québec.
- Lenoir, Y., Rey, B., Roy, G.-R., Lebrun, J. (dir.) (2001). *Le manuel scolaire et l'intervention éducative : regards critiques sur ses apports et ses limites*. Sherbrooke: Éditions du CRP.
- Malacria, S. (2007). Interfaces tangibles pour environnement éducatif. Master d'Informatique 2^e année, Intelligence Artificielle et Décision, UPMC Paris VI, sous la direction d'Éric Lecolinet. http://www.malacria.fr/data/doc/pdf/malacria_master07.pdf
- Marcé, S. (2003). Évolution des rapports entre les enseignants et les professionnels de l'édition, in Baldner et al., pp. 117-120.
- Mikk, J., Meisalo, V., Kukemelk, H., Horsley, M. (eds.) (2002). Learning and Educational Media. The Third IARTEM Volume. Tartu University Press.
- Mikk, J. (2000). *Textbook Research and Writing*. Frankfurt am Main : Peter Lang.
- Moeglin, P. (2005). *Outils et médias éducatifs. Une approche communicationnelle*, Grenoble : PUG.
- Nicholls, J. (2003). Methods in School Textbook Research, *International Journal of Historical Learning, Teaching and Research*, 3(2), <http://www.ex.ac.uk/historyresource/journal6/6contents.htm>
- Pingel, F. (1999). *UNESCO Guidebook on Textbook Research and Textbook Revision*, Paris : UNESCO, <http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001171/117188E.pdf>
- Selander, S., Tholey, M., Lorentzen, S. (eds.) (2002). *New educational media and textbooks. The Second IARTEM Volume*. Stockholm: HLS Förlag.
- Selander, S. (2005). Les textes pédagogiques – supports pour l'apprentissage et artefacts culturels in Bruillard (2005).
- Spallanzani, C. et al. (2001). *Le rôle du manuel scolaire dans les pratiques enseignantes au primaire*. Université de Sherbrooke : Éditions du CRP.
- Tisserant, P., Wagner, A.-L. (dir.) (2008). *Place des stéréotypes et des discriminations dans les manuels scolaires*. Rapport Final Réalisé pour le compte de la Haute Autorité de Lutte contre les Discriminations et pour l'Égalité. Université de Metz.
- Wikman, T., Akademi, A. (2009). Reconsidering considerate textbooks, *IARTEM e-journal*, 2(1), [http://www.biriwa.com/iartem/ejournal/volume2.1/Wikman%20%20\(2009\).pdf](http://www.biriwa.com/iartem/ejournal/volume2.1/Wikman%20%20(2009).pdf)

Chap. 13 - Rôle de la documentation scolaire dans la situation du professeur : le cas de l'enseignement des mathématiques à l'école élémentaire

Claire Margolinas et Floriane Wozniak

Notre chapitre se situe, comme celui de Gueudet & Trouche (Chap. 3), dans le cadre d'une approche du développement professionnel des professeurs qui intègre la question de leur *univers documentaire* (Chevallard & Cirade Chap. 2). Au sein des pratiques scolaires – ensemble des gestes, activités et tâches, routinisés ou non, accomplis dans l'institution scolaire – nous nous intéressons, comme Adler (Chap. 1) aux connaissances, mathématiques ou non, qui fondent ou légitiment ce qui se fait dans la classe ou hors de la classe en lien, avec les savoirs à enseigner ou enseignés. Pour ce faire, nous considérons les manuels scolaires (Bruillard Chap. 12), mais aussi plus largement la *documentation scolaire* qui intègre programmes d'enseignement, livres du maître, fiches photocopiables, documents pédagogiques disponibles sous différentes formes (papier, pages web) etc. Le mot « document » est utilisé dans ce chapitre dans son acception large : « chose qui enseigne ou renseigne » (XMLittré¹ v1.3), la documentation scolaire est alors l'ensemble des documents qui répondent à des questions relatives à l'École.

La question de la documentation est, par ailleurs, envisagée du point de vue du problème praxéologique du professeur qui « prépare son cours² ». C'est ainsi que nous nous attachons à questionner la place des documents dans la constitution de la *situation du professeur*, système de contraintes, de possibles et de déterminations qui bornent son action, et qui ne peut être réduit aux seules interactions en classe (sur les déterminants et les « ressorts » de l'activité professorale, voir également Gueudet & Trouche Chap. 3). Sur la base des résultats d'une enquête réalisée sous forme d'entretiens semi directifs auprès de professeurs des écoles enseignant à l'école élémentaire (élèves de 6 à 10 ans), nous posons la question de la caractérisation des rapports qu'entretient le professeur à la documentation scolaire et envisageons les facteurs d'intégration de nouvelles *ressources*. Dans ce chapitre, une ressource est un document reconnu comme tel par un sujet d'une institution. Considérer un document comme une ressource, c'est le regarder comme une composante du *milieu* dans la situation d'élaboration d'une réponse à une question. Ainsi, dès lors qu'un document est identifié par un sujet comme une ressource, cela signe une intention didactique du sujet, soit pour lui-même, soit pour autrui. En guise de conclusion, nous décrivons un projet de développement de documents numériques visant à faire évoluer les connaissances mathématiques des professeurs des écoles.

13.1 Le problème praxéologique du professeur

Notre étude se fonde sur un postulat : les conditions de l'activité du professeur et les contraintes qui pèsent sur celle-ci ne se limitent pas à celles qui sont immédiatement perceptibles et visibles dans la classe (Chevallard 2002b, Chevallard & Cirade Chap. 2). Quelques soient les circonstances auxquelles il est soumis, le professeur est mis en demeure de « faire la classe », c'est-à-dire d'organiser l'étude des savoirs mis en texte dans le programme scolaire, dans des conditions explicitées par les instructions ministérielles.

L'un des problèmes praxéologiques du professeur est donc de « préparer son cours » avant de « faire le cours », c'est-à-dire d'en organiser l'étude. Il s'agit alors pour le professeur de répondre à la question : *Comment organiser l'étude d'un objet de savoir (mathématique) pour, et dans, la classe ?* En théorie anthropologique du didactique, l'étude d'un problème se modélise (Chevallard 1999) par l'élaboration d'une *organisation praxéologique* : identifier le type de tâches T à réaliser, construire une technique τ qui permette de l'accomplir, produire un discours technologique³ θ qui puisse rendre compte de cette construction tout en l'inscrivant dans une problématique plus large, une théorie Θ . Ainsi, résoudre un problème revient à construire un complexe praxéologique, formalisé par un système $[T/\tau/\theta/\Theta]$. Si le problème du professeur est, par exemple, de choisir un exercice parmi plusieurs du même type, il peut utiliser comme technique l'identification des variables didactiques ;

¹ <http://francois.gannaz.free.fr/Littré/accueil.php>

² Ici « cours » ne signifie pas *cours magistral* mais mise en texte d'un savoir. Pour une explicitation de la notion de « problème praxéologique du professeur », voir 13.1. Pour une présentation détaillée, voir Chevallard (2002a).

³ « On entend par *technologie*, et on note généralement θ , un *discours rationnel* – le *logos* – sur la technique – la *techné* – τ , discours ayant pour objet premier de *justifier* « rationnellement » la technique τ , en nous assurant qu'elle permet bien d'accomplir les tâches du type T , c'est-à-dire de réaliser ce qui est prétendu » Chevallard (1999).

son choix pourra alors être justifié par les effets, sur l'organisation mathématique, du jeu sur ces variables didactiques, justification qui s'intègre, évidemment, dans le champ des savoirs didactiques.

Nous pouvons ainsi décrire une technique, que le professeur peut mettre en œuvre pour construire sa propre réponse au problème praxéologique évoqué ici, grâce au schéma classique de l'étude d'une question (Chevallard 2001). Dans un premier temps, il s'agit d'*observer* les réponses déjà présentes dans la culture, c'est ainsi qu'il va consulter, par exemple, des manuels, ses collègues, des sites Internet, des revues professionnelles, etc. Vient ensuite l'*analyse* expérimentale ou théorique des réponses déjà construites par d'autres, permettant ainsi leur *évaluation*, condition *sine qua non* au *développement* d'une réponse (personnelle) à la question initiale. L'étude d'une question engendre nécessairement d'autres questions qu'il s'agira aussi d'étudier. En dépit de cette présentation linéaire, c'est bien d'un ensemble de cycles d'étude de questions qui s'enchevêtrent qu'émergera la réponse à la question initiale. Ainsi, à l'instar de Assude (Chap. 18), nous envisageons le travail documentaire du professeur comme une *enquête documentaire*. Ce processus de l'étude d'une question se conclut par la production d'un discours – au moins pour lui-même – d'*explicitation* de la réponse produite. Cette réponse, comme produit intentionnel de l'activité humaine, est alors appelée en théorie anthropologique du didactique une *œuvre* :

« J'appelle œuvre toute production humaine O permettant d'apporter réponse à un ou des types de questions Q, questions « théoriques » ou « pratiques », qui sont les raisons d'être de l'œuvre – et cela sans considération de la « taille » de l'œuvre (parmi les œuvres, beaucoup sont des « œuvrettes » : par exemple, la théorie de la transposition didactique). Voilà donc pour une ébauche de définition en compréhension – définition qui, par exemple, me permet de dire que l'École, et aussi la position de professeur au sein de l'École, et encore le cours magistral, sont des œuvres, c'est-à-dire des réponses en acte à certains types de questions. » (Chevallard 1996, p. 96).

L'élaboration d'une planification sur l'année, d'une progression et de l'ensemble des séances d'enseignement – c'est-à-dire la construction d'organisations mathématiques ponctuelles, locales et régionales structurées en une organisation mathématique globale (Chevallard 2002b) – est, à un moment donné, la réponse du professeur à son problème praxéologique. Cette réponse, jamais vraiment définitive, est l'*œuvre du professeur* en construction (Margolinas & Wozniak, sous presse).

13.2 Les documents comme milieu du professeur

Le modèle de l'activité du professeur (Margolinas 2002a) cherche à rendre compte de l'interaction complexe entre les différentes situations qui sont vécues par le professeur, à différents niveaux (Tableau 1), le plus souvent simultanément.

Niveau noosphérique ⁴ ou idéologique	+3
Niveau de construction ou de conception d'un thème	+2
Niveau de projet de leçon	+1
Niveau de la situation didactique	0
Niveau d'observation ou de dévolution	-1

Tableau 1. Résumé des niveaux d'activité du professeur, d'après Margolinas (2002a)

Remarquons tout d'abord que, même si ce modèle, issu des travaux sur la structuration du milieu (Margolinas, 1995) présente des ressemblances formelles avec la notion d'échelle des *niveaux de co-détermination didactique* de (Chevallard 2002b et Chevallard & Cirade Chap. 2), il n'est pas de même nature. En effet, l'échelle des niveaux de co-détermination didactique permet de rendre compte des divers assujettissements du professeur. Cette perspective, qui articule les dimensions macro-didactique et micro-didactique, permet, par exemple, de rendre compte et de comprendre les conditions sous lesquelles le professeur apprête les savoirs à enseigner (Wozniak 2007). Les niveaux d'activités du professeur cherchent, eux, à rendre compte de la complexité de la situation du professeur dans ses relations avec les milieux, internes à l'école ou en résonance avec le pédagogique, auxquels il est confronté, en tenant compte de ses projets d'enseignement d'une leçon ou d'un thème. C'est pourquoi nous nous basons sur cette modélisation heuristique pour chercher à

⁴ Chevallard (1985) introduit le terme de *noosphère* (« la sphère où l'on pense », p. 23) pour désigner l'environnement immédiat du système d'enseignement *stricto sensu* : les parents, les savants (notamment les mathématiciens, si l'on s'intéresse à l'enseignement des mathématiques) et l'instance politique. « Dans la noosphère donc, les représentants du système d'enseignement, mandatés ou non [...] rencontrent, directement ou non [...] les représentants de la société [...] » (p. 24).

mieux comprendre dans quelles situations le professeur cherche à répondre au problème praxéologique introduit plus haut (voir également Trgalova Chap.15).

Dans ce chapitre, nous nous intéressons plus particulièrement à la situation du travail du professeur lorsqu'il doit « concevoir son cours ». Considérons donc comme « niveau de base » de cette situation le niveau de construction ou de conception d'un thème – niveau (+2) dans le tableau 1 –, situation dans laquelle le professeur cherche à inscrire son cours dans une progression mathématique et essayons de comprendre comment les autres niveaux de l'activité du professeur viennent alimenter (ou contrarier) le travail de construction, principalement les niveaux contigus (ici +3 et +1).

Quels sont les apports de la noosphère (niveau +3) au travail de construction du professeur ? Elle produit un environnement *idéologique* qui joue notamment sur les conceptions générales de l'enseignement, pas seulement en mathématiques. Par idéologie, nous entendons ici un système d'idées qui conditionnent les comportements individuels ou collectifs. En dehors de tout jugement de valeur, les idéologies ont ainsi des fondements à la fois scientifique, éthique et politique, et sont inhérentes au *champ de la pratique* (voir Margolinas 1998).

Cette idéologie ne produit pas les mêmes effets sur chaque professeur. D'une part parce que les connaissances de chaque professeur se construisent dans une histoire qui intègre plus ou moins les différentes idéologies que le professeur a rencontrées au cours de sa vie (y compris en tant qu'élève), d'autre part parce les assujettissements multiples du professeur à de nombreuses institutions lui ouvrent des marges de manœuvre : tel professeur adepte du sport puisera dans l'idéologie de l'effort un cadre à son enseignement, tel autre féru de calculatrices entendra mieux qu'un autre les injonctions des programmes au sujet de leur intégration (voir Assude Chap. 18). C'est à ce niveau que la noosphère produit un document, le « programme », qui constitue pour un enseignant français un élément du milieu qui le contraint dans ses assujettissements de fonctionnaire de l'État. Mais la visibilité de ce document, depuis la position du professeur qui prépare son cours, n'est pas certaine. Par exemple, lors de la publication des programmes de l'école primaire en 2008, les professeurs ont eu le sentiment que ceux-ci faisaient moins de place à la résolution de problèmes en mathématiques et insistaient sur la mémorisation. Or, le socle commun, sur lequel s'appuient ces programmes, précise que « la résolution de problèmes joue un rôle essentiel dans l'activité mathématique » et qu'« elle est présente dans tous les domaines et s'exerce à tous les stades des apprentissages. », ce que les programmes eux-mêmes rappellent fréquemment. En réalité, c'est le discours médiatique autour de ces programmes qui a marqué les professeurs, plus que le document effectivement publié. Qu'est-ce qui constitue alors une ressource pour le professeur ? Le texte du programme ou bien le discours qui l'entourne ?

Certains éléments laissent penser que les professeurs de l'école primaire ne retiennent des injonctions officielles que des aspects pédagogiques, alors que les aspects didactiques, c'est-à-dire disciplinaires, sont assez marginaux (Goigoux, Margolinas, & Thomazet 2004). Par exemple, dans la controverse professionnelle décrite dans l'article cité, une professeure rejette d'emblée une suggestion d'élève par un « non, ce n'est pas ce que je veux ». D'autres professeurs critiquent ce « non » sans que les justifications didactiques, pourtant très cohérentes, formulées par la professeure ne soient considérées comme acceptables. L'assertion pédagogique « il ne faut pas rejeter la proposition d'un élève » se révèle plus forte que l'argument didactique « à ce moment-là du processus, je dois rejeter cette proposition qui conduirait à une impasse dans un projet déjà complexe ». Ainsi, dans la situation ordinaire du professeur d'école primaire, les savoirs ne seraient pas au premier plan des contraintes perçues par le professeur des écoles (Margolinas & Laparra 2008, Laparra & Margolinas 2008), état qui résulte d'une forme de conduite d'évitement du didactique au profit du pédagogique.

Examinons maintenant le niveau du projet de leçon (niveau +1) et ses interactions avec le travail de construction du professeur. Le travail hors classe du professeur est parfois imaginé dans une perspective « descendante » : à partir de la construction d'un thème d'enseignement (+2), le professeur rechercherait les éléments lui permettant de réaliser les leçons correspondantes (+1), grâce en particulier à l'étude des documents à sa disposition qui pourraient se constituer en ressources. Dans cette perspective, la conception épistémologique primerait sur la recherche de possibles réalisations. Mais il est tout aussi possible que le professeur étudie tout d'abord les documents à sa disposition pour projeter une leçon (+1), ce qui lui fournit alors un cadre implicite de construction du thème mathématique (+2). Dans ce cas, une conception épistémologique sous-jacente serait implicitement induite par les documents disponibles pour le professeur. Par « documents disponibles », nous entendons ici les documents qui sont visibles et légitimes, depuis la position singulière d'un professeur donné. Ainsi, visibilité et légitimité sont relatives, pour un professeur donné, aux conditions d'exercice et plus généralement à son histoire personnelle, nous

reviendrons sur ce point dans la section 13.2. Cependant, le contraint et le possible issus des niveaux « inférieurs » – ici les niveaux didactique (0) et d'observation (-1) – interviennent également dans le projet possible du professeur (niveau +1). Ainsi, un professeur a pu conserver un document qu'il a conçu et utilisé en classe lors d'une précédente année. Le souvenir des réactions des élèves au cours de telle situation d'enseignement peut avoir légitimé (ou au contraire délégitimé) à ses yeux son usage. Ainsi, ce document, qui a été un temps un instrument de son action didactique en classe, pourra faire partie à un autre moment des ressources à la disposition du professeur pour un nouveau projet didactique. Ces éléments, issus du passé des interactions en classe, sont en quelque sorte « enchâssés » dans les ressources (matérielles, expérientielles, cognitives) du professeur qui projette son enseignement. Nous retrouvons ici le caractère emboîté et récursif du modèle des niveaux d'activités issu de la structuration du milieu (Brousseau 1986, 1990). En résumé, nous pouvons dire que les conceptions de l'apprentissage, les conditions qui rendent possible ou impossible telle organisation dans le temps et l'espace de la salle de classe, la prise en compte de son observation des réactions des élèves actuels ou passés dans des situations similaires, sont autant d'éléments constitutifs du système de contraintes dans lequel l'action du professeur se situe. Mais les contraintes et conditions qui déterminent cette action relèvent de différents niveaux solidaires, qui ne s'organisent pas de façon strictement linéaire. Ainsi, l'observation des élèves peut modifier à la fois la mise en œuvre du projet du professeur, l'organisation des savoirs mathématiques dans son enseignement, la progression qu'il avait envisagée sur le thème, voire même sa conception des mathématiques ou de l'enseignement en général. La documentation dont il dispose, sa légitimation par les situations dans lesquelles elle a été rencontrée et travaillée, apparaissent comme un point central pour un professeur qui cherche à concevoir son enseignement, nous rejoignons ici l'importance du travail documentaire dans l'activité du professeur (Chevallard & Cirade Chap. 2, Gueudet & Trouche Chap. 3).

Dans le cadre d'une recherche de l'INRP⁵, nous avons réalisé une enquête durant l'année 2004 auprès de 11 professeurs des écoles volontaires dont 10 enseignent dans une école élémentaire. Il s'agissait d'une étude clinique de type exploratoire, aussi ces professeurs ne constituent pas un échantillon significatif selon des critères prédéterminés. C'est dans la classe de ces professeurs, hors de la présence de leurs élèves, qu'un entretien de type explicatif semi-directif d'une heure a été réalisé selon une trame commune, construite sur le modèle de l'activité du professeur. Pour tous les enquêteurs, les points abordés ont été les suivants : planification sur l'année ; progressions qui articulent les thèmes d'étude ; conception des séances d'enseignement ; gestion de la classe ; traitement des besoins mathématiques des élèves identifiés au cours de l'enseignement. Il s'agissait alors de recueillir ce que pouvait être le discours technologique de ces professeurs pour justifier les techniques mises en œuvre dans la résolution du problème praxéologique du professeur. C'est le résultat de cette enquête que nous allons commenter à présent.

13.3 Genèse de l'œuvre

L'étude de notre corpus qui est analysé de façon détaillée dans Margolinas & Wozniak (2009, sous presse) nous a permis de faire des hypothèses sur la genèse de l'œuvre du professeur, objet de cette section. L'analyse qualitative réalisée nous a permis d'identifier, pour 8 des 10 professeurs interrogés, un document⁶ auquel il se réfère principalement au cours des entretiens, et que nous appelons *document principal*. Ce document est parfois le seul document dont il parle ; parfois, c'est le premier dont il est fait mention avant d'évoquer, de façon assez marginale, d'autres documents. Il s'agit toujours d'un document essentiel dans la pratique mathématique du professeur au moment où il est interrogé. Le document principal est ainsi un fait d'observation : c'est le document dont parle « principalement » le professeur. Il peut être un outil de régulation de son activité (comme une grille de compétences pour [4]), la résultante de son activité (un cahier d'élève pour [2]) ou la ressource sur laquelle l'œuvre s'est construite (un manuel ou le livre du maître associé pour [1, 6, 8, 10, 11]).

Mais si le professeur évoque la diversité des documents qu'il utilise, il en est un qui semble à l'origine de son œuvre, nous l'appelons le *document générateur*⁷. En effet, c'est autour d'un document « élémentaire » que se cristallise le travail de développement de l'œuvre du professeur, comme la

⁵ Équipe Démathe (Développement des Mathématiques à l'École) de l'Institut National de Recherche Pédagogique (INRP), ont participé à cette enquête : Margolinas C. (responsable), Canivenc B., De Redon M.-C., Rivière O., Wozniak F.

⁶ On trouvera en annexe l'ensemble des documents évoqués par les professeurs interrogés.

⁷ Par facilité d'écriture, nous utiliserons le singulier à propos du document générateur. Dans notre enquête, il semble qu'il y ait en effet un seul document qui structure l'œuvre à son commencement. Néanmoins on pourrait imaginer, mais nous en doutons, que plusieurs documents soient utilisés comme ressources à l'origine d'une œuvre.

perle de l'huître se construit autour du grain de sable. Pour le dire autrement, c'est dans le document générateur que se trouve la source de l'œuvre.

Au début de l'œuvre, le document générateur est très visible et reconnu comme tel par le professeur. Cependant, nous constatons dans nos entretiens que plus l'œuvre se construit comme une réponse personnelle, plus le document générateur est masqué par l'œuvre elle-même. À titre d'illustration, citons deux cas qui nous semblent typiques de ces deux états.

Au moment de l'entretien, [11] achève sa première année d'enseignement en classe de CP⁸ après avoir longtemps enseigné en école maternelle. Son œuvre, pour le niveau de classe qu'elle a en charge à ce moment-là, est donc au début de son élaboration. Pour chaque séance d'enseignement, les pages correspondantes du fichier⁹ de l'élève ont été découpées, les indications données dans le livre du maître pour mettre en scène le fichier ont été transcrites et « mises à sa sauce », les corrections explicitement écrites, le matériel à destination des élèves fabriqué, etc. Son œuvre est ainsi très proche du document dont elle parle principalement – le livre du maître associé au fichier élève – et commence à se constituer à partir de celui-ci par l'ajout d'autres éléments, nous y reviendrons. Ce document joue en fait le rôle d'un germe pour la construction de son œuvre : il s'agit donc également du document générateur de son œuvre.

En revanche, [2] a 30 ans d'expérience dont 23 passées alternativement en CM1¹⁰ et CM2¹¹. Lorsqu'on lui demande ce qu'il utilise comme documents pour concevoir son enseignement, il répond, sans ambages : « j'ai ma bible entre guillemets ou [les élèves] ont leur bible/ c'est ce que j'appelle leur cahier de leçons ». Tous les deux ou trois ans, il garde un cahier d'élève comme unique trace de l'élaboration de son enseignement. Ainsi, au fil du temps, ce professeur s'est construit son propre « manuel » dont il n'hésite pas à dire « il s'améliore d'année en année/ quand je vais m'arrêter je vais être au top/ ça va être dommage », œuvre toujours en (re)-construction, totalement habitée et portée par le professeur dont la fin de carrière marquera son achèvement si ce n'est son aboutissement. Mais bien entendu, le cahier de l'élève n'est pas le germe de l'œuvre du professeur, qu'il faudra chercher ailleurs dans le discours du professeur. L'entretien a permis de révéler que le document générateur de son œuvre est un manuel qui n'est plus conforme au programme d'enseignement actuel – ni dans l'esprit, ni dans les contenus – mais qui était très valorisé au moment de sa formation initiale à l'École Normale¹², le Eiler¹³. C'est sans doute cette non-conformité qui pousse [2] à éprouver le besoin de justifier son usage en utilisant des arguments liés à sa propre personnalité, se qualifiant lui-même de professeur « traditionnel », tout en affirmant que les changements du programme sont « souvent sur des détails ».

Ainsi, dans le premier cas évoqué on perçoit combien le document dont parle principalement le professeur au cours de l'entretien – le document principal – est le document qui génère son œuvre en devenir – le document générateur. Dans le second cas, en revanche, le document principalement cité est la résultante de l'activité du professeur alors que le document au fondement de son œuvre – le document générateur – n'est plus spontanément présent dans son discours. Mais le document générateur ne circonscrit pas l'œuvre du professeur, il n'en est que le germe. Ainsi [1] utilise d'autres documents pour alimenter des ateliers en marge de l'activité régulière de la classe ; [6] complète ponctuellement avec un autre manuel, elle explique que « depuis deux trois ans je fais des choix et j'adapte un petit peu », ce qui correspond au processus progressif avancé. Il semble en effet qu'il faille une certaine aisance, une certaine maîtrise des savoirs à enseigner, pour dépasser l'usage « à la lettre » du document générateur et s'autoriser à enrichir et développer son œuvre comme réponse personnelle.

Mais au-delà du document générateur, comment se construit l'œuvre du professeur ? Quels sont les éléments qui contribuent à son développement ? Voici ce qu'en dit [4] :

« s'il fallait classer les modes de reconstruction ou de modifications/ elles sont de plusieurs ordres/ il y a celles dont je ne suis pas satisfait de la présentation/ alors là ça se divise en deux classes encore/ présentation parce que c'est gourmand en feuille, si on doit faire des feuilles [...] et dans les écoles on

⁸ Première classe de l'école élémentaire, élèves de 6-7 ans.

⁹ Collection « Cap Maths » éditions Hatier, auteurs Roland Charnay, Marie-Paule Dussuc, Paul Madier.

¹⁰ Quatrième classe de l'école élémentaire, élèves de 9-10 ans.

¹¹ Cinquième et dernière classe de l'école élémentaire, élèves de 10-11 ans.

¹² École de formation des professeurs des écoles, remplacée en 1991 par les Instituts Universitaires de Formation des Maîtres (IUFM), intégrés à partir de 2008 dans les universités françaises.

¹³ Collection de manuels des éditions Hachette. L'auteur principal, Robert Eiler, était directeur de l'institut de formation des maîtres où ont été formés [2] et [3]. Cette collection, très en vogue dans les années 70-80, n'est plus éditée depuis le milieu des années 90.

n'a pas un budget illimité donc je les refais [...] c'est la première modification de forme/ et puis il y en a d'autres où tout me paraît intéressant mais pas la formulation de la consigne ou la présentation de la consigne/ alors pareil, je refais/ ça c'est pour l'aspect modification à cause de la structure de l'exercice/ après il y a les modifications qui sont induites par les élèves/ ou par le vécu de classe/ donc un jour je vais l'adapter un petit peu avant ou bien pour réduire des variables ou pas/ donc ça va être plutôt des transformations/ des modifications de l'ordre du didactique plutôt que de la présentation et puis il y a celles de test/ celles de test recherche dans lesquelles j'aime bien me retrouver de temps en temps où je vais essayer un nouveau truc/ ça pourrait être intéressant que cela puisse marcher aussi quoi/ ça permettrait peut-être à d'autres élèves de se sentir mieux dans celle là plutôt que dans une autre/ d'avoir un corpus encore plus important »

En premier lieu, donc, une question d'intendance induite par une contrainte matérielle, la restriction du nombre de photocopies que les professeurs peuvent faire. Dans l'échelle des niveaux de codétermination didactique, on reconnaît là une contrainte qui relève de l'École, mais plus encore de la société française au travers des moyens matériels qu'elle alloue à ses écoles. Ainsi l'œuvre se construit-elle comme le fruit d'un compromis dans un système de conditions et de contraintes déterminées, et ce qui pourra exister ici, là ne le pourra pas. En second lieu, des modifications d'ordre didactique : le professeur peut juger une consigne peu compréhensible pour les élèves et décider de la reformuler (certains professeurs ne voient là qu'une modification de forme, alors qu'il s'agit bien souvent d'une modification du type de tâches proposé) ou la modifier par le jeu sur les variables didactiques. Ce type de transformation est le fruit d'une analyse de la ressource considérée (voir Wozniak, à paraître). Mais [4] ne nous dit rien des savoirs mathématiques, didactiques ou plus généralement professionnels qui permettent une telle analyse : quels sont les savoirs mobilisés pour produire une connaissance relative au « vécu de la classe » ? Enfin, dans le troisième type de reconstruction, nous trouvons ce qui est le plus souvent évoqué par les professeurs : l'expérimentation d'un exercice ou d'une situation didactique modifiés « juste pour voir », sans que les changements opérés aient été réellement pensés. Le milieu qui est alors convoqué pour interroger les ressources mobilisées par le professeur est la classe elle-même.

Ainsi donc, l'œuvre du professeur s'élabore autour d'un document qui en est la source, mais qui ne la circonscrit pas. La difficulté méthodologique réside dans la mise au jour de ce document générateur car, nous l'avons évoqué, il n'est pas toujours présent dans le discours spontané des professeurs.

13.4 Le problème du contrôle épistémologique de l'œuvre

Nous avons évoqué les éléments constitutifs de l'œuvre du professeur, mais comment ces éléments, divers et épars, s'articulent-ils entre eux ?

Le document générateur qui a nourri l'œuvre du professeur a des caractéristiques propres du point de vue de l'organisation mathématique, voire même préfigure-t-il certaines « formes de l'agir » (Ligozat Chap. 16). Produit d'une transposition didactique, il propose une « progression », une mise en texte du savoir singulière, dont on peut supposer qu'elle est structurée dans une organisation mathématique globale qui articule de façon cohérente les organisations mathématiques régionales, locales et ponctuelles (Chevallard 2002a). Cependant le producteur de cette transposition didactique n'est pas le professeur lui-même, mais l'auteur (souvent les auteurs) de la ressource utilisée. Selon les documents, la cohérence interne qui fonde cette transposition est plus ou moins explicite. Rappelons en ce point que les professeurs d'école sont polyvalents et qu'ils ont rarement fait des études scientifiques. Ainsi, tel professeur peut-il, s'il ne se sent pas à l'aise en mathématiques, « se reposer » entièrement sur les choix transpositifs du manuel, pour ne retenir que le produit de cette transposition en termes de « leçons », dans une logique *ascendante* que nous avons décrite précédemment. L'organisation mathématique globale du manuel détermine une *écologie des savoirs*¹⁴ (Artaud 1997) fondée sur les choix et les analyses didactiques de leur(s) auteur(s) qui lui donnent sa cohérence. Or les professeurs déclarent fréquemment qu'ils ne peuvent pas « tout faire » dans un manuel, ce qui veut dire que les choix écologiques des auteurs de la ressource utilisée peuvent être bouleversés par les choix du professeur, choix dont nous avons dit qu'ils n'étaient pas nécessairement motivés par des raisons liées à l'organisation mathématique, mais par d'autres types de contraintes.

¹⁴ L'écologie des savoirs détermine les conditions d'existence de ces savoirs. Ainsi, le fait de ne plus (ou pas) enseigner tel objet de savoir peut empêcher que tel autre objet de savoir soit enseigné et donc vive dans la classe. Par exemple, l'éviction dans les programmes de Terminale scientifique de la notion de fonction réciproque a évidemment une incidence sur l'enseignement des fonctions exponentielle et logarithme.

Qu'en est-il de l'œuvre du professeur du point de vue de l'écologie des savoirs ? Le travail de développement dont le document générateur est la source prend-il en compte la façon dont se structurent les savoirs enseignés entre eux et dans leur ensemble ? Si l'œuvre se construit à partir d'un document générateur par ajouts, retraites, modifications de documents pédagogiques et didactiques hétérogènes, cette construction préserve-t-elle sa cohérence du point de vue de son organisation mathématique globale ? Quand un élément est adjoint, rien ne garantit qu'il soit compatible avec l'organisation préexistante. Cette cohérence interne, dont on peut supposer qu'elle existait au départ, est-elle perdue dans le cours du travail de l'œuvre ? La construction réalisée n'est-elle qu'une juxtaposition d'organisations mathématiques locales ou ponctuelles au sein d'une entité plus large qu'est le document générateur ? En d'autres termes, le professeur exerce-t-il un contrôle épistémologique de la construction de son œuvre ? Quelles sont alors les techniques que le professeur met en œuvre pour effectuer ce contrôle épistémologique ? Dans quelles conditions et sous quelles contraintes apparaissent « des blancs c'est-à-dire certaines praxéologies manquantes » (Chevallard & Cirade Chap. 2) ? Notre étude ne nous permet pas de répondre de façon définitive à ces questions. Cependant, le témoignage de certains professeurs interrogés semble illustrer que cette question est insuffisamment prise en compte.

Ainsi par exemple, [11] a introduit les « cartes à points¹⁵ » alors que « c'était pas du tout abordé de cette façon-là dans Cap maths », elle constate que « du coup on a devancé le fichier et on se retrouvait avec des exercices où les élèves ne voyaient pas le problème parce qu'ils pouvaient le résoudre avec leurs cartes à points ». Mais les propos de ce professeur ne vont pas au-delà du simple constat : [11] ne sait pas dire si cet ajout fait que les élèves comprennent mieux et plus vite ou bien s'ils ont ainsi sauté des étapes essentielles de la construction du savoir visé.

Si les professeurs dressent les grandes lignes de la progression suivie en nommant les thèmes d'étude – « je fais ma division au début du 2^e trimestre » dit [3] –, en revanche, d'une année sur l'autre, ce ne sont pas nécessairement les mêmes exercices qui sont repris pour travailler un sujet d'étude donné. Ainsi notre étude permet de supposer – d'après les dires des professeurs interrogés – que l'œuvre, cristallisée autour d'un document générateur, présente une certaine stabilité en matière d'organisation mathématique globale, comme la programmation des thèmes d'études, par exemple. Une étude sur plusieurs années permettrait de valider cette hypothèse forte. Mais parallèlement l'œuvre du professeur semble présenter une certaine souplesse en matière d'organisations mathématiques ponctuelles relatives aux sujets d'étude ; par exemple dans le choix, mouvant, des exercices proposés aux élèves d'une année à l'autre.

Les moments de changements de programmes d'enseignement sont des moments qui viennent perturber l'équilibre architectural de l'œuvre du professeur. Certains savoirs restent comme « enkystés » dans le nouveau programme alors qu'ils ne peuvent plus vivre au sein de la nouvelle écologie scolaire. C'est ainsi que le professeur se croit autorisé à introduire des objets de savoirs dont il sait que leur enseignement n'est pas prescrit à ce moment-là de la scolarité. D'autres professeurs persistent à enseigner des savoirs devenus obsolètes ou dont l'enseignement est prescrit à un autre moment de la scolarité. Il est difficile d'interpréter ces pratiques : s'agit-il d'une forme de passéisme nostalgique pour des savoirs autrefois enseignés ou est-ce le produit d'une analyse écologique – éventuellement incomplète – de la part du professeur ? Seul [2] évoque cette question pour justifier qu'il déborde du programme d'enseignement. Voici ce qu'il dit au sujet des nombres premiers¹⁶ : « c'est le petit bonus en maths mais quand on fait ça [les critères de divisibilité] je me vois mal ne pas faire ça [les nombres premiers]/ je leur explique ce qu'est un nombre premier/ je leur fais trouver ce qu'est un nombre premier/ on remarque qu'ils ne correspondent à aucun caractère/ ils portent un nom spécial ». L'introduction de la définition des nombres premiers vient apporter, du point de vue de ce professeur, un « supplément d'âme » à l'enseignement des critères de divisibilité dont la raison d'être n'est pas explicite dans le curriculum à ce moment-là. Cependant, dès lors que notre enquête ne permet pas de déterminer si l'introduction des nombres premiers a une réelle fonctionnalité au sein de l'organisation mathématique construite dans la classe, il est difficile de dire si elle est le fruit d'une analyse écologique ou le témoignage d'un conservatisme.

Le professeur, dont la solitude est parfois évoquée dans nos entretiens, n'a sans doute guère l'occasion de défendre son œuvre, ce qui est pourtant un des éléments régulateurs de l'activité d'étude. Le plaisir surpris manifesté par les professeurs interrogés d'avoir l'occasion de parler de cette

¹⁵ Voir <http://pagesperso-orange.fr/jean-luc.bregeon/Page%208.htm> site de Jean-Luc Brégeon, co-auteur de manuels des collections Diagonales et Millemaths chez l'éditeur Nathan.

¹⁶ Notons que les nombres premiers sont abordés en classe de seconde comme objet d'étude mais sont présents en acte dans la classe de mathématiques du collège avec l'équivalence d'écritures fractionnaires, notamment avec des fractions dites irréductibles, par exemple.

part invisible de leur activité, comme l'absence d'un discours justifiant les choix qu'ils réalisent pour concevoir leur enseignement, semblent symptomatiques de ce que le travail hors classe de préparation est regardé, par les professeurs eux-mêmes, comme la *part privée* du lieu d'exercice de leur « liberté pédagogique ». Oser dire qu'il y a des mathématiques à apprendre pour enseigner les mathématiques de l'école n'est pas chose aisée, même si le climat de confiance installé lors de nos entretiens a permis de lever – un peu – le voile sur cette question.

Néanmoins, étant donné le caractère limité de notre étude, pour affirmer d'une façon plus générale la nature de la construction de l'œuvre, il serait nécessaire de mettre en place un dispositif d'observation de la pratique effective du professeur sur un temps long (plusieurs mois, voire plusieurs années), qui pourrait fournir des informations sur les mécanismes de construction de l'œuvre et sur les relations que peuvent entretenir les différentes œuvres disciplinaires entre elles.

Par ailleurs, notre étude ne fait pas apparaître de recours important aux documents numériques présents notamment sur l'Internet (notre enquête a été faite en 2003-2004), or il est vraisemblable que ces documents, ressources potentielles, pénètrent de plus en plus dans les pratiques des professeurs. D'après notre enquête, nous pouvons supposer que cette pénétration devrait se faire, dans un premier temps d'une façon marginale : fiches pour les élèves dont il faut gérer les temps de travail d'une façon spécifique (élèves en difficulté ou bien rapides), ajouts ponctuels au document principal. C'est d'ailleurs ce qu'il s'est produit pour [11] qui a recherché sur l'Internet des informations complémentaires à propos du matériel des *cartes à points* dont elle avait eu connaissance par un article dans une revue professionnelle. Ainsi il est probable que la place de ce type de ressources devienne plus grande dans l'avenir. La construction épistémologique, même implicite, qui est à l'œuvre dans le document générateur structure l'œuvre du professeur. Si le document générateur n'était plus un seul document (comme les manuels, fichier d'élève ou livre du maître) lui-même construit dans une certaine cohérence épistémologique, mais un ensemble de documents divers, piochés de façon erratique sur l'Internet, le document générateur ne pourrait alors plus jouer son rôle structurant (voir Bruillard Chap. 12). De ce point de vue, il pourrait donc y avoir des enjeux épistémologique et didactique importants à proposer des ressources disponibles sous forme numérique sur l'Internet qui permettrait d'avoir accès à une organisation des savoirs pensée dans sa globalité.

13.5 Un nouveau type de document pour les professeurs ?

Notre étude fait apparaître une certaine stabilité des pratiques documentaires des professeurs. Cette stabilité peut s'expliquer par l'investissement des professeurs dans l'élaboration de leur œuvre commençante : un tel investissement (rappelons-nous [11] à qui ce travail a pris « tout un été ») ne peut être renouvelé fréquemment, d'autant que la stabilité est productrice de connaissances.

En effet, le professeur qui enseigne enrichit ses connaissances d'observation (niveau -1 du tableau 1) qui concernent en particulier les réactions, les difficultés, les stratégies des élèves durant la leçon. Ces connaissances d'observation, qui forment sans doute une grande part de ce que l'on appelle d'une façon un peu vague « l'expérience », se construisent d'autant mieux que les leçons sont suffisamment stables. Tel l'acteur qui, au fil des répétitions, maîtrise toujours mieux son texte et acquiert ainsi plus de liberté pour développer son jeu de comédien, c'est dans une meilleure maîtrise de l'organisation mathématique et de l'organisation didactique qui la fait vivre que le professeur trouve la disponibilité pour observer les effets produits sur les apprentissages des élèves. Ainsi, d'après notre enquête, ce sont les observations des élèves et de leurs difficultés qui semblent être à la base du désir du professeur de modifier sa pratique, sur certains points, comme nous le déclare [6] qui, interrogée sur ce qu'elle aimerait recevoir en cadeau comme document, répond :

« oh ben moi j'aimerais bien avoir un livre où/ je puisse comprendre pourquoi les enfants ne comprennent pas/ c'est cette solitude dont je te parlais tout à l'heure et c'est en maths comme ailleurs/ pourquoi il comprends pas/ parce qu'il est pas mature/ parce que son cerveau n'est pas mûr/ parce que ce que je lui propose n'est pas adapté mais peut-être qu'il y aurait une autre proposition mathématique à lui faire/ ça oui qu'on me/ je sais qu'il y a pas de recette miracle/ je sais que ça n'existe pas/ mais se pencher sur les difficultés d'apprentissage des élèves/ essayer de comprendre pourquoi [...] comment mettre au mieux ses connaissances en mathématiques pour les enfants en difficulté/ comment proposer peut-être autre chose aux enfants en difficulté/ différemment/ parce que c'est vrai que c'est souvent les mêmes erreurs ».

Cette demande de [6], d'un document qui, en mathématiques, lui permette de mieux comprendre les difficultés des élèves, ce qui demande une meilleure maîtrise des mathématiques utiles pour enseigner, rejoint ce que Neyret (1995) appelle un *traité*. La rédaction de tels types de document nous

paraît envisageable dès à présent, au moins sur certains thèmes mathématiques. En effet, les travaux en didactique des mathématiques publiés depuis 1970, en particulier les travaux de thèse, comportent des réflexions épistémologiques fondamentales, à l'origine d'investigations empiriques et d'ingénieries. Le travail conduit au COREM¹⁷ par Guy Brousseau et son équipe a en effet conduit à des études complètes (de la réorganisation des connaissances mathématiques par les situations fondamentales à la transformation en projet d'enseignement par adaptation à des situations adidactiques, jusqu'aux réalisations et à l'observation des processus d'enseignement et d'apprentissage) répétées pendant de nombreuses années, dont la plus connue est celle qui concerne l'enseignement des rationnels et des décimaux à l'école obligatoire (Brousseau & Brousseau 1987). Le rôle de l'ingénierie a longtemps été compris comme une sorte de modèle possible d'un enseignement en classe, ce que Guy Brousseau a toujours énergiquement combattu. Les différentes « leçons » des rationnels et des décimaux présentent par contre une dimension de réorganisation des savoirs tout à fait remarquable, dont l'effet sur l'épistémologie d'un professeur ayant participé à l'ingénierie a été mis en évidence par (Quilio 2008). Néanmoins, le document de Guy et Nadine Brousseau se présentant comme un ensemble de leçons, le comprendre comme un document essentiellement épistémologique n'est pas aisé.

Dans l'idée de traité, dont le prototype, selon Neyret (*op. cit.*) pourrait être du type de celui de Lebesgue ("La mesure des grandeurs", 1975), il s'agit d'autre chose que de simples manuels ou livres du maître affichant une certaine proximité avec les recherches en didactique des mathématiques. Il s'agirait d'ouvrages qui permettraient de réfléchir aux mathématiques à enseigner, de les mettre à distance et ainsi d'outiller le professeur par l'apport de savoirs mathématiques, didactiques et épistémologiques. Il nous semble que de tels ouvrages, complémentaires de l'offre de manuels ou de documents pédagogiques existants, répondraient aux besoins de ressources pour le professeur qui, ayant déjà construit une œuvre stabilisée dans ses fondements, cherche à la retoucher sans la refonder entièrement, tout en lui donnant les éléments d'un contrôle épistémologique de l'œuvre ainsi construite. C'est le travail initié par le groupe de développement *DéMathE* qui se propose de rendre accessible aux professeurs des écoles une réflexion épistémologique et didactique sur des thèmes mathématiques ciblés.

Le premier thème mathématique sur lequel nous avons travaillé est celui de l'énumération. Nous avons choisi ce thème parce que, d'une part la réflexion épistémologique de la thèse de Joël Briand (1999) nous paraissait particulièrement bien développée et, d'autre part, parce que l'énumération, bien qu'elle pose de très nombreux problèmes aux élèves en mathématiques et aussi dans d'autres domaines (Margolinas & Laparra 2009a), est méconnue des enseignants.

Nous avons alors été confrontés à une difficulté particulière : le traitement souvent « physique » des difficultés liées à l'énumération à l'école maternelle. Pour rendre intelligibles les difficultés des élèves, il fallait voir les gestes même de leur activité dans leur dimension corporelle (Forest & Mercier Chap. 17). Nous avons donc choisi, sans l'avoir pensé comme un *a priori*, un format numérique pour ce document, sans négliger cependant l'importance de ce choix (Remillard Chap. 11). Au-delà du caractère « opportuniste » de ce choix, la nécessité de travailler sur les connaissances d'observation du professeur grâce aux documents filmés et aux commentaires associés nous semblait essentiel. La forme choisie répond à cette nécessité : les connaissances que nous visons doivent être rendues accessibles par des médiations matérielles appropriées (Bachimont Chap. 4). Par rapport à d'autres documents de même support (en particulier Briand, Loubet, & Salin 2004), nous avons fait le choix d'un document qui ne propose pas une multiplicité d'entrées : sa lecture est linéaire, le modèle en est un livre ou un film qui raconte une histoire, pas un catalogue. En effet, nous voulons proposer au professeur une réflexion qui soit prise en compte dans sa complexité et sa cohérence globale, nous avons donc utilisé le média numérique dans sa dimension narrative, ce qui nous semble correspondre à une des possibilités de l'informatisation (Bruillard Chap. 12). Il s'agit de faire, des enjeux de savoir, l'objet même de la communication au professeur et non pas un arrière-plan souvent non visible (Ligozat Chap. 16).

Nous l'avons vu dans ce chapitre, dans la conception de documents qui pourraient être regardés comme des ressources par les professeurs d'école, il nous apparaît incontournable de prendre en compte, d'une part l'existence d'un document générateur qui induit une certaine stabilité dans la structuration de l'œuvre du professeur et, d'autre part, le défaut de vigilance épistémologique. Ceci conduit à une exigence : ces documents doivent intégrer une organisation des savoirs pensée dans sa globalité, qui va au-delà de ce qui est nécessaire pour fonder une ingénierie. Comme le soulignent

¹⁷ Centre d'Observation et de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, 1970-2000, Talence.

Chevallard & Cirade (Chap. 2), il s'agit là d'un défi vital pour l'enseignement des mathématiques que la recherche en didactique doit relever.

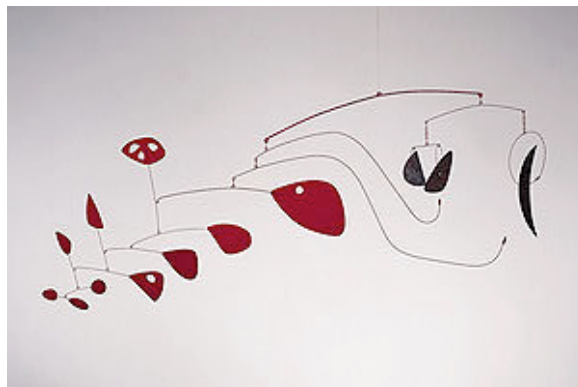
Références

- Artaud, M. (1997). Introduction à l'approche écologique du didactique. L'écologie des organisations mathématiques et didactiques. In M. Bailleul (dir.), *IXe École d'été de didactique des mathématiques* (pp. 101-139). Paris : ARDM.
- Briand, J. (1993). *L'énumération dans le mesurage des collections*. Thèse de doctorat. Université Bordeaux 1.
- Briand, J. (1999). Contribution à la réorganisation des savoirs prénériques et numériques. Étude et réalisation d'une situation d'enseignement de l'énumération dans le domaine prénérique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(1), 41-76.
- Briand, J., Loubet, M., Salin, M.-H. (2004). *Apprentissages mathématiques en maternelle*. Paris : Hatier.
- Brousseau, G. (1986). La relation didactique : le milieu. In 4^e école d'été de didactique des mathématiques (pp. 54-68). Paris : IREM Paris 7, en ligne à l'adresse http://math.unipa.it/~grim/brousseau_03_milieu.pdf
- Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 309-336.
- Brousseau, G., & Brousseau, N. (1987). *Rationnels et décimaux dans la scolarité obligatoire*. Bordeaux : IREM.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1996). La fonction professorale : esquisse d'un modèle didactique. In R. Noirfalise, M.-J. Perrin-Glorian (dir.), *Actes de la VIIIe école d'été de didactique des mathématiques* (pp. 83-122). Clermont-Ferrand : IREM, en ligne à l'adresse http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/La_fonction_professorale.pdf
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221-266.
- Chevallard, Y. (2001). Les TPE comme problème didactique. In T. Assude & B. Grugeon (dir.), *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques*. Paris : IREM Université Paris 7 et ARDM.
- Chevallard, Y. (2002a). Organiser l'étude. Ecologie et régulation. In J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot, R. Floris (dir.), *Actes de la 11ème école d'été de Didactique des Mathématiques* (pp. 41-56). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (2002b). Organiser l'étude. Structures et fonctions. In J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot, R. Floris (dir.), *Actes de la 11ème école d'été de Didactique des Mathématiques* (pp. 3-22). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Goigoux, R., Margolinas, C., Thomazet, S. (2004). Controverses et malentendus entre enseignants expérimentés confrontés à l'image de leur activité professionnelle. *Bulletin de psychologie*, 57 (Numéro spécial : Fonctionnement / développement : perspective historico-culturelle), 65-70.
- Laparra, M., Margolinas, C. (2008). Les premiers apprentissages de l'écrit : doxa et malentendus des écrits authentiques. Actes du colloque *Les didactiques et leur rapport à l'enseignement et à la formation*, Bordeaux, en ligne <http://www.aquitaine.iufm.fr/infos/colloque2008/cdromcolloque/communications/lapa.pdf>
- Lebesgue, H. (1975). *La mesure des grandeurs*. Paris : Librairie scientifique et technique Albert Blanchard.
- Margolinas, C. (1995). La structuration du milieu et ses apports dans l'analyse a posteriori des situations. In C. Margolinas (dir.), *Les débats de didactique des mathématiques* (pp. 89-102). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Margolinas, C. (1998). Relations between theoretical field and practical field. In A. Sierpiska, J. Kilpatrick (Eds.), *Mathematics Education as a Research Domain: A search for Identity* (pp. 351-357). Dordrecht: Kluwer.
- Margolinas, C. (2002). Situations, milieux, connaissances : analyse de l'activité du professeur. In J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot, R. Floris (dir.), *Actes de la 11ème Ecole d'Été de Didactique des Mathématiques* (pp. 141-156). Grenoble : La Pensée sauvage.

- Margolinas, C., Laparra, M. (2008). Quand la dévolution prend le pas sur l'institutionnalisation. Actes du colloque *Les didactiques et leur rapport à l'enseignement et à la formation*, Bordeaux, en ligne : <http://www.aquitaine.iufm.fr/infos/colloque2008/cdromcolloque/communications/marg.pdf>
- Margolinas, C., Laparra, M. (2009). Savoirs invisibles et connaissances cruciales : le cas des mathématiques en maternelle. In C. Passerieux (dir.), *La maternelle. Première école, premiers apprentissages* (pp. 99-107). Lyon : Chronique sociale.
- Margolinas, C., Wozniak, F. (2009). Place des documents dans l'élaboration d'un enseignement de mathématiques à l'école primaire. In I. Bloch, F. Conne (dir.), *Nouvelles perspectives en didactique des mathématiques* (pp. 135-146). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Margolinas, C., Wozniak, F. (sous presse). Usage des manuels dans le travail de l'enseignant : l'enseignement des mathématiques à l'école primaire. *Revue des sciences de l'éducation, Numéro spécial. Les manuels scolaires : réformes curriculaires, développement professionnel et apprentissages des élèves*.
- Neyret, R. (1995). *Contraintes et déterminations des processus de formation des enseignants: nombres décimaux, rationnels et réels dans les Instituts de Formation des Maîtres*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier Grenoble 1.
- Quilio, S. (2008). *Contribution à la pragmatique didactique. Une étude de cas dans l'enseignement des nombres rationnels et des décimaux à l'école élémentaire*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille 1.
- Wozniak, F. (2007). Conditions and constraints in the teaching of statistics: the scale of levels of determination. In D. Pitta-Pantazi, G. Philippou (eds.), *Proceedings of the European Society for Research in Mathematics Education. CERME 5* (pp. 1808-1818). University of Cyprus, en ligne <http://ermeweb.free.fr/CERME%205/CERME5%20Proceedings%20Book.pdf>
- Wozniak, F. (à paraître). Transposition didactique interne et dialectique des médias et des milieux. In A. Bronner, M. Larguier, M. Artaud, M. Bosch, Y. Chevillard, G. Cirade, C. Ladage (dir.), *Diffuser les mathématiques (et les autres savoirs) comme outils de connaissance et d'action. Ile congrès international sur la TAD*. Université Montpellier 2.

Partie 4

Ressources du professeur et action didactique



Chap. 14 – Ressources et documents, le cas de la démarche expérimentale en mathématiques

Fabrice Vandebrouck

Les programmes de mathématiques de l'enseignement secondaire français¹ accordent depuis 2000 une importance à la démarche expérimentale en mathématiques, sans vraiment en proposer une description explicite. Cette démarche concerne aussi - et se comprend alors peut-être mieux - les sciences physiques ou les sciences de la vie et de la terre. En mathématiques, elle apparaît relativement liée à l'intégration des TICE, ce qui peut simultanément constituer un levier et un obstacle à sa réelle mise en œuvre dans les classes ordinaires. Cette importance de la démarche expérimentale dans l'enseignement des mathématiques trouve son expression dans la mise en place d'une épreuve pratique² de mathématiques au baccalauréat³ scientifique (S), testée depuis juin 2007 dans certains établissements. Dans cette épreuve, il est attendu des élèves qu'ils utilisent des TICE afin de résoudre un exercice mathématique dont le degré d'ouverture nécessite une démarche expérimentale, c'est-à-dire, plus ou moins selon les exercices proposés, une activité autonome de problématisation, de modélisation, d'observation, de conjecture et de démonstration du résultat conjecturé.

Nous avons suivi, à partir de la rentrée 2007 un groupe d'enseignants de lycée, constitué en groupe de l'IREM⁴ de Paris 7, qui souhaitaient, volontairement ou par nécessité, préparer leurs élèves de Terminale S à l'épreuve pratique pour la session 2008. A cette occasion, nous avons eu accès aux énoncés des séances de travaux pratiques (TP) qu'ils ont créés pour leurs élèves au fil des mois, ainsi qu'à l'observation de certaines de leurs séances de TP en classe. Les enseignants ont pu, par leur participation dans le groupe, échanger des ressources concernant leurs progressions et leurs énoncés de TP, bénéficiant ainsi de l'expérience acquise progressivement et collectivement. Deux enseignantes sont plus particulièrement suivies dans ce chapitre.

Dans la première partie, nous détaillons les enjeux que nous voyons dans la démarche expérimentale en mathématiques intégrant des TICE. Nous présentons également notre questionnement, centré sur les équilibres entre stabilités et évolutions dans les pratiques des enseignants, et les perspectives théoriques que nous retenons pour aborder ce questionnement, conjuguant *approche documentaire du didactique* (Gueudet & Trouche Chap. 3) et *double approche didactique et ergonomique des pratiques enseignantes* (Robert & Rogalski J. 2002). Nous explicitons de plus notre méthodologie. Nous dressons dans la deuxième partie le profil de deux enseignantes dont nous avons étudié la progression des énoncés de TP et que nous avons observées en classe durant deux années. Nous rentrons enfin (§ 14.3) dans le détail de l'analyse de certains énoncés de TP, de leurs évolutions au fil des mois, en lien avec des déroulements observés ou commentés. Ces analyses, croisées avec celles des profils des deux enseignantes, nous permettent de préciser stabilités et évolutions, et d'interpréter celles-ci en termes de *genèses documentaires* et de *composantes des pratiques* (§ 14.4).

14.1 Cadre théorique, problématisation et méthodologie

Nous nous plaçons, pour expliquer nos analyses et rendre compte de nos résultats, dans un cadre théorique issu de la théorie de l'activité, telle qu'elle a été développée à la suite des travaux de Vygotski (1934/1997) et de Leontiev (1984) par des chercheurs francophones (Vandebrouck 2008). Ce développement s'appuie sur deux notions clés (Leplat 1997, Rogalski 2003) : celle de *sujet* (que ce soit, pour l'instant, un sujet élève ou un sujet enseignant) et celle de *situation*, au sens de situation de travail ou situation de formation. La théorie de l'activité s'intéresse à un sujet individualisé et permet de rechercher, de manière dialectique et compte tenu des situations, des invariants et des variabilités dans les relations entre le sujet et son activité en situation. La théorie différencie par ailleurs tâche et activité, qui sont respectivement « du côté de la situation » et « du côté du sujet ». La tâche est ce qui est à faire, le but qu'il s'agit d'atteindre sous certaines conditions. L'activité est ce que développe le sujet lors de la réalisation de la tâche.

L'activité du sujet en situation est par ailleurs *productive* et *constructive* (Samurçay & Rabardel 2004, Pastré 2005) : par ses actions, le sujet modifie la situation (de façon matérielle ou symbolique), il

¹ <http://eduscol.education.fr/D0015/LLPHPR01.htm>

² <http://educmath.inrp.fr/Educmath/en-debat/epreuve-pratique/>

³ Diplôme de grade 12, en fin des études secondaires en France.

⁴ Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques.

transforme le réel, c'est le versant activité productive, mais, ce faisant, le sujet se transforme aussi lui-même, en ce sens qu'il développe ses connaissances ou se construit des connaissances nouvelles, c'est le versant activité constructive. Bien que distinctes, activité productive et activité constructive sont indissociables. Il n'y a en particulier pas d'activité productive sans activité constructive, ce qui justifie pour ce chapitre notre méthodologie d'observation des résultats de l'activité productive des enseignants pour renseigner les effets de leur activité constructive, et en particulier leur développement professionnel. Cependant, un détour par une analyse de l'activité des élèves, telle qu'elle est organisée par ces enseignants, nous semble nécessaire pour dégager les caractéristiques pertinentes pour notre propos des évolutions de l'activité, du développement professionnel et donc des genèses documentaires des enseignants.

Pour analyser les tâches mathématiques proposées par les professeurs et donc l'activité potentielle des élèves qu'elles sous tendent, les outils d'analyse de tâches développés par Robert (1998) sont importés. Nous retenons essentiellement *les types de connaissances* et la *nature des mises en fonctionnement* de ces connaissances (Robert & Rogalski M. 2002). Cela signifie que nous étudions si les connaissances mathématiques à appliquer, anciennes, récemment apprises ou bien enjeu d'apprentissage, doivent être disponibles ou bien si elles sont explicitement appelées par l'énoncé. Nous analysons aussi si les tâches appellent à des applications immédiates de ces connaissances ou bien s'il y a au contraire des adaptations à effectuer (reconnaisances des modalités d'application, introduction d'intermédiaires, d'étapes, mises en relation...).

Dans le cadre d'une démarche expérimentale en mathématiques⁵, nous nous attendons à ce que l'activité potentielle des élèves soit enrichie par rapport à une démarche plus traditionnelle reposant sur des exercices classiques. En ce sens, la démarche expérimentale doit être l'occasion pour les élèves de mettre en fonctionnement des connaissances non nécessairement explicitées (au niveau disponible) et en dépassant les applications immédiates de ces connaissances (problématiser, modéliser, conjecturer, prouver...). Le scénario global, c'est-à-dire l'organisation des séances dans le temps, les dialectiques entre cours et exercices, l'articulation entre les activités TICE et les activités papier-crayon, participe également à cet enrichissement. Enfin, l'enseignant par les aides qu'il apporte aux élèves pendant les déroulements des séances, peut ou non renforcer les apprentissages attendus, par la portée et le moment de ses aides en fonction de l'activité effective des élèves. Robert (2008) a introduit à ce sujet la dialectique entre aides *constructives* et aides *procédurales*, ces dernières étant plus directement tournées vers la réalisation des tâches par les élèves.

L'intégration de TICE au sein de cette démarche expérimentale doit être une occasion supplémentaire d'enrichir l'activité des élèves. D'une part, l'usage de l'outil peut faciliter l'activité de conjecture ; d'autre part, il peut permettre à l'élève d'entrer en activité face à une démonstration qui lui demande de nombreuses adaptations de connaissances, comme des introductions d'étapes intermédiaires ou bien des choix de méthodes. C'est là que réside, à nos yeux, l'intérêt d'articuler des activités nouvelles mettant en jeu les TICE avec l'activité mathématique des élèves. Cependant, l'articulation de connaissances mathématiques et de connaissances liées à l'outil est en elle-même une adaptation de connaissances. L'intégration de l'outil ne peut donc se faire sans une prise en main progressive de la part des élèves, organisée par l'enseignant dans son scénario et ses énoncés de TP. Artigue (2002) parle de *genèse instrumentale* pour expliquer la dialectique qui doit se nouer entre les processus *d'instrumentalisation* (Gueudet & Trouche Chap. 3) des outils par les élèves et les constructions de connaissances associées à des processus *d'instrumentation* (ibidem).

Nos analyses des séances de TP, du point de vue de leur inscription dans un scénario global, des énoncés proposés aux élèves et des déroulements, sont ainsi guidées par des analyses des activités potentielles des élèves, telles que les enseignants les organisent. Il s'agit donc bien d'une analyse sous le point de vue didactique de l'activité productive des enseignants, celle par laquelle ils modifient les situations d'enseignement en mettant et en maintenant en activité leurs élèves.

La *double approche didactique et ergonomique* (Robert & Rogalski J. 2002) pour l'étude des pratiques enseignantes complète notre cadre d'analyse de l'activité des enseignants pour les séances de TP. Dans cette approche, le terme *pratique* désigne : « tout ce qui se rapporte à ce que l'enseignant pense, dit ou ne dit pas, fait ou ne fait pas, sur un temps long » (Robert 2008, p. 59). Plus précisément, Robert et Rogalski postulent que la pratique d'un enseignant est stable à une certaine échelle, plus large que celle des seules situations de TP. Elles introduisent deux premières composantes de la pratique d'un enseignant : une composante *cognitive* caractéristique des choix récurrents de l'enseignant au niveau de ses scénarios et des contenus qu'il propose à ses élèves, et une composante *médiative* caractéristique de la façon qu'il a d'aider ses élèves, par la forme de ses

⁵ http://www.inrp.fr/vst/Dossiers/Demarche_experimentale/sommaire.htm

énoncés ou par son discours pendant les déroulements, indépendamment de situations spécifiques d'enseignement. Pour prendre en compte les déterminants des pratiques enseignantes, elles introduisent également trois autres composantes : les composantes *sociales* et *institutionnelles*, externes au sujet enseignant et la composante *personnelle* liée aux conceptions du savoir qu'a l'enseignant, à sa représentation des modes d'apprentissage des élèves et à son expérience propre d'exercice du métier. En outre, la pratique d'un enseignant est aussi cohérente et complexe, c'est-à-dire non réductible à la juxtaposition des cinq composantes. Cohérence, complexité et stabilité de la pratique d'un enseignant se conjuguent à l'évolution de son activité au fil des situations de TP. Ceci rejoint Remillard (Chap. 11), qui développe l'idée d'une stabilité des *modes d'engagement* des professeurs. Les composantes ne signifient cependant pas l'invariance de l'activité enseignante mais l'adaptation des formes d'organisation de l'activité aux situations d'enseignement (Vergnaud 2002). De même, les genèses documentaires sont porteuses de stabilité comme d'évolutions. Toutes les composantes de la pratique influent sur ces genèses, et peuvent être modifiées sur le long terme par celles-ci. Notre travail articule ainsi l'étude des genèses documentaires que peuvent développer des enseignants et celle des composantes.

Pour cette étude, deux enseignantes, Sophie et Clarisse, sont suivies avec leurs classes de Terminales S. Leurs composantes personnelles, et leurs liens avec des caractéristiques des composantes cognitives et médiatives de leurs pratiques, sont tout d'abord renseignées par des réponses à un questionnaire qui a été proposé lors de l'année 2007-2008, à propos des pratiques antérieures au démarrage du groupe IREM et actuelles. Ces réponses sont complétées par des entretiens avant et après les séances de TP observées et quelques enregistrements ou notes sur les échanges au sein du groupe IREM pendant les deux années d'observation. Un profil des deux enseignantes est ainsi dressé, traduisant les composantes personnelles de leurs pratiques et leurs imbrications avec les composantes cognitives et médiatives. Dans ce profil, les caractéristiques de la composante cognitive retenues et pertinentes pour notre problématique sont renseignées dans le questionnaire par des questions du type « quels usages faites vous des TICE en relation avec votre cours de mathématiques », « citer trois mots qui définissent le mieux ce qu'est la nouvelle épreuve pratique »... Les caractéristiques de la composante médiative sont mieux renseignées par les entretiens, les commentaires généraux des enseignantes et les questions du type « vous arrive-t-il d'être en difficulté avec des élèves pendant une séance TICE ? », « comment définiriez vous l'autonomie des élèves pendant une séance TICE »... L'étude des composantes institutionnelles et sociales, respectivement affectées par l'injonction institutionnelle de préparer les élèves à l'épreuve pratique et infléchies par la participation au groupe IREM, ne sont pas centrales dans notre chapitre.

Nous analysons ensuite, avec les outils d'analyse des tâches introduits plus haut, les supports (essentiellement des énoncés de TP) issus du travail documentaire des deux enseignantes. Le plus souvent, les ressources mobilisées pour ce travail sont des énoncés de l'épreuve de baccalauréat de l'année précédente ; il peut s'agir aussi cependant d'élaborations d'un ou plusieurs des membres du groupe IREM. Dans tous les cas, une partie du travail documentaire est *collectif* (Gueudet & Trouche Chap. 7), prenant place dans ce groupe ; les deux enseignantes effectuent des enquêtes documentaires (Assude Chap. 18) en partie communes. Nous décrivons l'évolution de ces ressources entre les mains des deux enseignantes observées, en termes d'activité possible des élèves. Nous analysons également comment ces ressources s'intègrent dans des scénarios plus globaux. Ces analyses sont complétées par des caractéristiques des déroulements de séances de TP, réellement observés par le chercheur ou parfois relatés par les enseignantes, essentiellement en termes de difficultés des élèves et de types d'aides fournies par elles-mêmes. Nous croisons dans la dernière partie les évolutions observées au cours du temps avec les composantes de la pratique des enseignantes, et évoquons les genèses documentaires associées.

14.2 Profils personnels des deux enseignantes

Sophie et Clarisse sont deux enseignantes de lycée (à Paris et en très proche banlieue) expérimentées. Elles ont cependant deux profils assez différents quant à leur utilisation des TICE, en lien avec les mathématiques et leur enseignement, ainsi que vis-à-vis de la démarche expérimentale en classe.

Avant le test de l'épreuve pratique, Sophie utilisait déjà fréquemment les TICE dans ses classes, de la Seconde à la Terminale, même si ce n'était jamais en salle informatique : il pouvait s'agir ou bien de les utiliser en vidéo projection dans sa salle de classe traditionnelle, ou bien de faire utiliser aux élèves leurs calculatrices graphiques et/ou formelles (i.e. intégrant un logiciel de calcul formel). Clarisse, quant à elle, utilisait de manière plus occasionnelle les TICE, le plus souvent en salle informatique et uniquement avec sa classe de Terminale S. Concernant la mise en place d'une

démarche expérimentale, avant l'introduction de l'épreuve pratique au baccalauréat, Sophie explique qu'elle faisait déjà adopter une telle démarche à ses élèves de manière occasionnelle, tandis que Clarisse dit ne jamais avoir proposé cette démarche dans ses classes. Selon Sophie, la démarche expérimentale est liée à des activités telles que : poser le problème, modéliser, expérimenter, conjecturer, confirmer sa conjecture avec des outils TICE et démontrer, tandis que Clarisse intègre les TICE dès le départ : traduire le problème avec un logiciel, observer, conjecturer, tester des conjectures avec le logiciel et enfin valider par une démonstration de ces conjectures.

Les deux enseignantes ont donc deux profils *a priori* assez différents, dont on peut penser qu'ils sont liés à leur différence d'expérience dans le temps à la fois avec les TICE et avec une démarche expérimentale. En lien avec sa composante cognitive, Sophie justifie l'usage des TICE par des arguments plus orientés vers l'activité des élèves : possibilité de réaliser des figures animées, de faire des calculs longs et pénibles, de faire travailler sur des conjectures. La fréquentation des TICE, plus faible pour Clarisse, se ressent dans les intérêts qu'elle voit à leur usage en lien avec son enseignement : préparer des séances, préparer des séances informatiques, préparer une figure ou une feuille de calcul à projeter. On retrouve aussi une potentialité plus grande de la démarche expérimentale en terme d'activité des élèves dans les propos de Sophie : problématiser et modéliser *versus* traduire ; confirmer sa conjecture et démontrer *versus* tester.

Pour compléter les renseignements fournis par les questionnaires, nous avons demandé aux enseignantes, au début de l'année 2008-2009, c'est-à-dire à l'issue de la première année d'existence du groupe IREM, un « bon » exemple de sujet de TP amenant à une démarche expérimentale des élèves avec des TICE. Sophie a proposé le sujet suivant, qui nécessite l'usage du tableur :

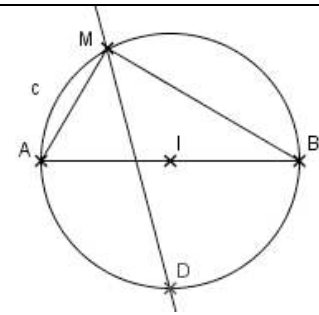
Sophie, exemple de sujet de TP proposé en réponse à la demande des chercheurs
Soit k un entier naturel, déterminer les valeurs de k pour lesquelles $A_k=2^k-1$ est divisible par 7.

Dans cet exercice, nous analysons que les élèves n'ont ni à poser le problème, ni à modéliser, mais bien à traduire le problème dans un tableur, ce qui semble en décalage avec la vision déclarée de Sophie quelques mois auparavant. Cette traduction amène cependant les élèves à émettre la conjecture que les valeurs de k sont les multiples de 3. Il n'y a pas possibilité de le confirmer plus avant avec le tableur, mais la connaissance de cette conjecture permet d'initier une démonstration par récurrence, plus facilement peut-être que sans l'outil tableur. Le sujet proposé par Clarisse, même s'il n'est pas pour une classe de Terminale, mais pour une classe de Seconde, ne reflète quant à lui plus du tout ce qu'elle déclarait voir dans une démarche expérimentale au moment du questionnaire :

Clarisse, exemple de sujet de TP proposé en réponse à la demande des chercheurs

Tracer deux points A et B, le cercle (C) de diamètre [AB] et un point M du cercle. Tracer la bissectrice de l'angle AMB. Le point M parcourt un demi cercle d'extrémité A et B.

- 1) Que peut-on dire de la bissectrice ?
- 2) La bissectrice semble passer par un point fixe. Appeler D ce point. Proposer une définition de D indépendante du point M
- 3) Démontrer que la bissectrice de l'angle AMB passe toujours par D (on pourra considérer le point E symétrique de D par rapport à I).



Dans l'exercice de Clarisse, l'activité de traduction du problème dans le logiciel est réduite à une activité de reproduction de la figure déjà donnée dans l'énoncé. Les activités de conjecture et d'observation sont appauvries par le fait que le point D soit donné. La conjecture est présente dans la fin de la question 2), mais il s'agit seulement de reconnaître D comme intersection de la médiatrice de [AB] et du cercle. Ceci peut se faire grâce à la figure donnée, sans l'outil TICE, de même que la démonstration de la question 3.

Ces deux énoncés, proposés par Sophie et Clarisse, montrent pour les deux enseignantes des évolutions sur le plan cognitif entre les réponses au questionnaire et ce qu'elles considèrent comme un « bon » exemple à l'issue d'une année. En effet, Sophie n'inclut dans son exemple qu'une partie des activités possibles pour des élèves, parmi celles qu'elle voyait initialement dans une démarche expérimentale. Clarisse s'éloigne encore plus nettement de ses réponses au questionnaire : pas

d'activité de traduction dans le logiciel, observation limitée, pas de possibilité de test d'une conjecture... éloignant par là même les activités possibles de celles d'une démarche expérimentale.

Du côté de la composante médiative, l'analyse des questionnaires, les commentaires généraux des enseignantes sur leur pratique ainsi que les réponses lors d'entretiens avant ou après les séances observées montrent encore des différences entre les deux enseignantes. Clarisse signifie de manière récurrente dans ses propos qu'elle a une tendance à trop simplifier les tâches qu'elle propose à ses élèves, soit par la forme des énoncés d'exercices, soit par les aides qu'elle leur fournit pendant les déroulements. Par exemple, dans l'un de ses commentaires à propos d'énoncés de TP pour des classes de Seconde, elle signale : « Ce sont des TP pour les Secondes, pour démarrer avec GeoGebra, ils sont très détaillés comme à mon habitude... ». Dans ses réponses au questionnaire et dans ses commentaires après un TP en avril 2008, elle exprime toujours sa difficulté à ne pas tomber dans cette simplification des tâches : « ce qui m'a paru difficile à moi, c'est de trouver des indications à donner aux élèves pour les mettre sur la voie sans leur dire tout ». Sophie fait moins de commentaires sur les aspects médiatifs de sa pratique. Mais à propos de l'autonomie des élèves, elle explique que, quand les élèves sont bloqués, « c'est dans leur démarche, à cause des problèmes informatiques ou dans la compréhension », ce sur quoi elle peut les aider : « Ce n'est pas sur le problème mathématique lui-même ». On peut donc penser *a priori* que les aides de Sophie portent plus sur la démarche, l'informatique et la bonne compréhension des énoncés alors que les aides de Clarisse peuvent être plus procédurales, sans pour autant, comme elle l'explique, tout dire aux élèves.

14.3 Evolution de l'activité liée à la préparation et au déroulement des séances de TP

Sophie et Clarisse ont commencé à préparer leurs élèves de classes de Terminale à l'épreuve pratique quelques mois après la rentrée 2007, au moment où les réunions du groupe IREM ont commencé. Nous les avons suivies au cours de l'année 2007-2008, ainsi qu'au début de l'année scolaire 2008-2009. Les deux années, l'organisation globale de leur enseignement en classe de Terminale S a été la même et a été très proche d'une enseignante à l'autre, traduisant l'importance des composantes institutionnelle (liée au travail documentaire impliquant les programmes, les manuels et des genèses associées) et sociale (liée au travail documentaire collectif avec des collègues de l'établissement, et au sein du groupe IREM, notamment lors d'échanges sur les progressions).

Au cours des deux années, l'étude des suites et le langage des limites sont introduits assez tôt en septembre ou octobre, puis la fonction exponentielle et la méthode d'Euler pour la résolution de l'équation différentielle $y'=y$ sont traitées aux mois de novembre et décembre ; ces deux domaines mathématiques donnent lieu pour les enseignantes à la préparation de séances de TP avec le tableur. Ensuite le travail sur les fonctions, exponentielle et logarithme notamment, est l'occasion d'énoncés de TP avec le logiciel GeoGebra. Enfin, en fin d'année, l'approche de l'épreuve de baccalauréat impose une revisite de toutes les notions, les enseignantes prenant appui en 2007-2008 sur des modèles de sujets pour l'épreuve pratique de 2007 ou des sujets d'annales⁶ de 2007 et en 2008-2009 sur des sujets d'annales de 2008. Pour une raison de longueur, seule la première période des deux années est précisément analysée ici.

14.3.1 Enoncés de TP, le cas de Sophie

Sophie propose, comme premier énoncé de TP en 2007 à ses élèves de Terminale S, un sujet présenté lors d'une conférence de Jacques Lubczanski, « A la mode hongroise »⁷, proposant l'étude de la suite (W_n) définie comme le quotient de la suite (U_n) de la somme des entiers par la suite (V_n) de la somme des carrés d'entiers. Les questions du sujet, qui ne mettent en fonctionnement que des connaissances de Première S et sont reprises telles quelles par Sophie, commencent comme suit :

A la mode hongroise, sujet de Lubczanski repris tel quel (Sophie, 2007, TP 1)

A) Mise en place du calcul

1) Ouvrez une nouvelle feuille de classeur. Créer 5 colonnes intitulées n , u , n^2 , v et w

2) La ligne sous les entêtes correspondra à $n=1$: saisir les valeurs correspondantes dans chacune des colonnes

3) Dans la ligne suivante, saisir les formules qui permettront d'obtenir par recopiage vers le bas les valeurs successives de n , U_n , n^2 , V_n et W_n

⁶ Les annales donnent les sujets qui ont été proposés à l'examen (ici le baccalauréat), souvent avec une solution.

⁷ <http://revue.sesamath.net/spip.php?article111>

B) Observations et Conjectures

(...)

2) Quelle nouvelle colonne pouvez-vous créer pour mettre à l'épreuve cette conjecture ? Faites-le !

3) A quelle formule $W_n=f(n)$ conduit votre conjecture précédente ? Créer une colonne intitulée $f(n)$ où vous saisissez la formule permettant d'obtenir les valeurs successives de $f(n)$ par recopiage vers le bas. Les valeurs obtenues dans la colonne $f(n)$ coïncident-elles avec celles obtenues pour W_n ?

C) Travail théorique (...)

Il y a un effort dans ce TP pour accompagner les genèses instrumentales des élèves, qui *a priori* découvrent ici l'usage du tableur. Cependant la question 3) peut être analysée comme difficile. Dans cette question, il y a, d'une part, une adaptation mathématique liée au passage des définitions explicites données des suites (U_n) , (V_n) , (W_n) en fonction de n à des expressions par récurrence et, d'autre part, une mise en fonctionnement de la connaissance tableur de « recopie vers le bas ». Dans les commentaires après la séance, Sophie signale d'ailleurs que cette question est celle qui a posé les premières difficultés majeures aux élèves et qu'il faudrait la scinder en deux sous-questions. L'activité d'expérimentation et de conjecture du fait que W_n est égale à $(2n+1)/3$ est organisée dans la partie B) du sujet. Cependant, là encore, cette activité est accompagnée, à la fois sur le plan mathématique et sur le plan instrumental. Il reste des activités de traduction des observations faites sur le tableur en expression algébrique, notamment exprimer W_n en fonction de n , ce qui participe de l'activité expérimentale. Enfin, la partie théorique est également accompagnée en balisant deux méthodes pour établir l'expression explicite de (V_n) et (W_n) , mais il reste là encore de l'activité mathématique à la charge des élèves. Ainsi, les connaissances mathématiques utiles sont des connaissances anciennes mais une démarche expérimentale est bien en germe dans ce sujet, et les apprentissages instrumentaux des élèves sont également réfléchis.

Le deuxième sujet proposé par Sophie est inspiré d'un sujet d'Annales de l'épreuve pratique 2007 (il s'agit du sujet 21). Ce sujet 21, tel qu'il a été proposé au baccalauréat, est le suivant :

Sujet 21 des Annales 2007 (ressource utilisée par Sophie et Clarisse)

Soit l'équation différentielle $y'=-2y$. On admet que la fonction f solution de cette équation définie sur \mathbb{R} et vérifiant $f(0)=1$ est la fonction f telle que $f(x)=\exp(-2x)$. On cherche à comparer $f(1)$ aux valeurs approchées obtenues en utilisant la méthode d'Euler avec différents pas. On se place sur l'intervalle $[0,1]$ en prenant un pas h égal à $1/n$...

(...)

$x_0=1$, $y_0=1$ et pour tout k , $x_{k+1}=x_k + 1/n$ et $y_{k+1}=(1-2/n)y_k$

1) Déterminer l'expression de y_k en fonction de k (n étant une valeur donnée)

2) A l'aide d'un tableur, reproduire à l'écran et compléter le tableau suivant :

(...)

3) En déduire une valeur approchée de $f(1)$

Appeler l'examineur et lui présenter le tableau de valeurs construit avec $n=10$. Lui expliquer comment modifier le tableau lorsque $n=20$ et $n=30$

(...)

Une analyse en terme d'activité potentielle des élèves révèle les difficultés de cet énoncé prévu pour des élèves de fin de Terminale S. Par exemple, du point de vue mathématique, dès la première question, il faut reconnaître que la suite (y_k) est une suite géométrique, avec qui plus est une raison dépendante du paramètre n . Du point de vue de l'usage du tableur, la question 2 qui propose de reproduire et compléter un tableau nécessite la disponibilité de l'usage du \$, ce qui ne peut se faire qu'en ayant compris le statut de paramètre du pas n . Du point de vue du caractère expérimental de la démarche, il n'y a ni observation à faire, ni conjecture à établir. Les commentaires donnés à propos de ce sujet à l'issue de l'épreuve 2007 soulignent « contrairement aux autres sujets, on ne demande ici ni conjecture, ni démonstration : cet aspect est souligné et regretté dans plusieurs lycées... » Sophie s'empare cependant de ce sujet. Elle utilise les commentaires pour simplifier le sujet. Elle signale vouloir insister sur la valeur x_n lorsque le pas vaut $1/n$ en consacrant une question. Elle signale également vouloir simplifier en n'utilisant que la notation $f(x_k)$ plutôt que la notion y_k qui complexifie inutilement. Le sujet devient le suivant :

Adaptation du sujet 21 (Sophie, 2007-2008, TP 2)

Soit f une fonction définie et dérivable sur \mathbb{R} vérifiant $f(0)=1$ et $f'(x)=-2f(x)$ sur \mathbb{R}

On cherche à déterminer, en utilisant la méthode d'Euler des valeurs approchées de $f(1)$ avec des pas différents.

1) On se place dans l'intervalle $[0,1]$ en prenant un pas $h=1/n$.

On pose $x_0=0$ et $x_{k+1}=x_k + 1/n$. Que vaut x_n ?

Appeler l'examineur pour vérifier votre résultat.

2) Dans le cas général d'un pas $h=1/n$.

Quelle est la formule donnant une approximation affine de $f(x_1)$?

Quelle est la formule permettant d'exprimer $f(x_{k+1})$ en fonction de $f(x_k)$?

3) A l'aide d'un tableur, construire un tableau permettant d'avoir des valeurs de x_k et les valeurs approchées de $f(x_k)$ dans le cas où $n=10$ (c'est-à-dire avec un pas $h=0,1$).

(...)

6) Etude de la nature de la suite $f(x_k)$ définie dans le cas général avec un pas $h=1/n$.

En déduire une expression de $f(1)$ directement en fonction du pas.

Retrouver les valeurs obtenues ci-dessus avec le tableur.

Sophie tient compte aussi des commentaires concernant l'aspect expérimental du sujet. Au-delà des simplifications mathématiques, il y a une volonté de problématiser : chercher en utilisant la méthode d'Euler des valeurs approchées de $f(1)$ sans savoir a priori que c'est $\exp(-2)$. L'étude de la fonction \exp correspond d'ailleurs au chapitre étudié par les élèves à ce moment là de l'année. Sophie cherche ainsi à introduire un caractère expérimental manquant à ce sujet. Enfin, la progressivité dans l'usage du tableur est ménagée puisque l'usage du \$ n'est nécessaire dans le sujet de Sophie qu'à partir de la question 6). Les difficultés restantes du côté des élèves sont liées à la présence simultanée de deux indices n et k , ce qui fait dire à Sophie après sa séance qu'elle s'y prendra autrement l'année d'après.

A la rentrée 2008, Sophie s'est renseignée sur le fait que ses élèves savent pour la majorité d'entre eux manipuler le tableur, mieux que l'année précédente, notamment la fonctionnalité de recopie liée à la notion de récurrence et qui avait posé problème l'année d'avant. Elle propose directement un sujet issu d'Annales du baccalauréat 2008 mais ne mettant en fonctionnement que des connaissances de Première S. Le sujet est le suivant :

Suites récurrentes (Sophie, 2008-2009, TP 1)

On considère les suites (U_n) et (V_n) définies par :

$$a_0=20 \quad a_{n+1}=(2a_n+b_n)/4$$

$$b_0=60 \quad b_{n+1}=(a_n+2b_n)/4$$

1) En utilisant un tableur ou une calculatrice, calculer les 50 premiers termes des suites (a_n) et (b_n) .

2) Peut-on penser que ces suites sont convergentes et quelle conjecture peut-on formuler quant à la limite de la suite (a_n) et de la suite (b_n) ?

3) Soient (U_n) et (V_n) les deux suites définies, pour tout entier n , par $U_n=a_n+b_n$ et $V_n=b_n-a_n$

a) Compléter la feuille de calculs avec les 25 premiers termes des suites (U_n) et (V_n) .

b) Quelle conjecture peut-on faire quant à la nature de chacune de ces suites ?

c) Vérifier expérimentalement sur la feuille de calcul la conjecture émise, validée par l'examineur.

4) Démontrer la conjecture de la question 3 b).

(...)

Sophie s'appuie sur le fait qu'une majorité d'élèves peut dépasser simultanément les difficultés logicielles et les difficultés mathématiques, pour entrer dans une démarche expérimentale nouvelle pour eux. La plupart des étapes que Sophie voit dans la démarche expérimentale sont d'ailleurs présentes dans ce choix de sujet, notamment observation, conjecture et confirmation expérimentale de cette conjecture avec le logiciel, dans la question 3) c). La démonstration et le travail de rédaction sont laissés en travail à la maison.

Le deuxième sujet en 2008 concerne à nouveau la méthode d'Euler, mais ce nouveau sujet transformé par Sophie est maintenant bien loin du sujet 21 des annales 2007. Conformément à ses commentaires à l'issue de la même séance l'année précédente, Sophie supprime les deux paramètres. L'ordre des questions est totalement inversé par rapport à la version 2007 et correspond mieux à une démarche expérimentale, même si celle-ci peut encore sembler limitée : calcul de $f(1)$ avec un pas de $1/10$, puis de $1/20$, puis de $1/50$, puis en général pour retrouver les trois cas précédents et accéder à un pas $1/100$.

Méthode d'Euler (Sophie, 2008-2009, TP 2)

Soit f une fonction définie et dérivable sur \mathbb{R} vérifiant $f(0)=1$ et $f'(x)=-2f(x)$ sur \mathbb{R}

On cherche à déterminer, en utilisant la méthode d'Euler des valeurs approchées de $f(1)$ avec des pas différents.

1) On se place dans l'intervalle $[0,1]$ en prenant un pas $h=1/10$

On pose $x_0=0$ et $x_{k+1}=x_k + 1/10$. Que vaut x_{10} ?

Avec un tableur calculer les valeurs de $f(x_k)$ pour k dans $\{0...10\}$; En déduire $f(1)$

(...)

Appeler l'examineur pour vérifier votre résultat.

2) Recommencer avec un pas de $1/20$ (...)

3) Recommencer avec un pas de $1/50$ (...)

Démonstration. Dans le cas général d'un pas de $h=1/n$ (...)

Créer un tableau donnant $f(1)$ directement en fonction du pas $h=1/n$ pour $n=10, 20, 50, 100$.

14.3.2 Enoncés de TP, le cas de Clarisse

Clarisse commence l'année 2007-2008 avec un TP sur le tableur, dont elle a conçu elle-même l'énoncé. Il s'agit surtout pour elle d'introduire le tableur auprès de ses élèves. Trois exercices, qui ne mettent en jeu aucune connaissance de Terminale, ni même de Première, sont proposés : le premier n'a pas d'objectif mathématique, le deuxième porte sur des suites arithmétiques et le troisième essentiellement sur le maniement de données numériques et sur la maximisation d'une fonction polynôme de degré 3 par lecture graphique. La prise en main du tableur est donc gérée sans avancée des connaissances mathématiques et les techniques tableur ne relèvent que de la familiarisation avec le logiciel. On trouve beaucoup de questions semblables à celle ci-dessous :

Initiation au tableur, extrait (Clarisse, 2007-2008, TP 1)

3) Recopier la formule jusqu'en C3 avec la croix noire. Observer comment elle a été modifiée et expliquer pourquoi le résultat du tableur est 0.

En outre, les potentialités du tableur ne sont pas vraiment exploitées. La puissance de la « recopie vers le bas », par exemple, n'est pas visible, puisqu'il n'est demandé que de recopier jusqu'à la troisième ligne. La terminologie utilisée dans l'énoncé est très proche de l'artefact (exemple : « la croix noire » plutôt que « la poignée de recopie », plus reliée à l'existence d'une formule récurrente). Ce sujet est peu susceptible d'amener une démarche expérimentale, les conjectures ne portent que sur les fonctionnalités du tableur, comme dans la question suivante :

Initiation au tableur, extrait (Clarisse, 2007-2008, TP 1)

Si on recopiait la formule en C2 comme ci-dessus, quelle formule se trouverait en C2 ? Effectuer cette recopie pour vérifier.

Après ce premier TP d'initiation au tableur, Clarisse, qui a communiqué avec Sophie au sein du groupe IREM, entreprend de traiter le sujet des « suites hongroises ». Comme on l'a déjà signalé, ce sujet est bien adapté chez Sophie pour une prise en main du tableur par les élèves puisqu'il met en jeu des connaissances de Première S et détaille suffisamment les questions tant du point de vue mathématique que du point de vue instrumental. Les élèves de Clarisse qui ont déjà rencontré et utilisé la recopie n'ont pas de problème avec ce deuxième TP. Il ne leur apporte pas grand-chose du

point de vue de l'outil, mais leur permet de rentrer dans une démarche expérimentale, qui est cette fois certainement très guidée pour une deuxième séance de TP.

Clarisse propose à ses élèves en 2007 une troisième séance TP sur le tableur. Mais contrairement à Sophie qui avait partiellement adapté le sujet 21 à partir des commentaires l'accompagnant, Clarisse le propose tel quel à ses élèves. Elle dit « avoir voulu mettre ses élèves dans la situation de l'examen, sans leur donner d'indications en les laissant chercher tout seuls ». Ces derniers éprouvent de nombreuses difficultés à faire ce sujet délicat. Clarisse commente, à l'issue de cette troisième séance, le fait qu'elle a mal anticipé le travail des élèves : « j'ai cru qu'ils auraient fini rapidement et j'avais ajouté un exercice à la suite. Il n'a pas du tout été abordé ». De nombreuses interventions individuelles de sa part sont nécessaires pour que tous les élèves avancent. Clarisse doit répéter de nombreuses fois les mêmes aides, pour toutes les questions. Il faut presque 20 minutes pour que les élèves terminent la question 1) (voir plus haut le sujet 21). Clarisse prend aussi conscience, après cette troisième séance tableur, que l'une des difficultés des élèves est l'utilisation du \$. Elle conclut ses commentaires par la décision qu'elle adaptera le prochain sujet de type bac qu'elle proposera.

Le premier sujet de Clarisse pour l'année 2008-2009 est effectivement un sujet construit à partir du sujet 21 sur la méthode d'Euler mais aussi à partir de son énoncé de prise en main 2007-2008. La première partie concerne la prise en main :

Prise en main du tableur et méthode d'Euler (Clarisse, 2008-2009, TP 1)

A) Prise en main du logiciel

- 1) Entrer 2 dans la cellule A1. Se positionner ensuite sur la cellule A2. Entrer la formule =A1+3. Valider. Changer le nombre dans la cellule A1 et observer le changement.
 - 2) Positionner la souris dans le coin droit en bas de la cellule A2 pour faire apparaître une petite croix noire, cliquer et tirer alors vers le bas sur une dizaine de lignes puis relâcher. Indiquer ici la formule contenue dans la cellule A5 :
 - 3) Soit (Un) la suite de nombres commencée dans la colonne A. Comment peut-on la définir ?
- (...)

Cette prise en main est à la fois plus rapide et plus mathématisée. Par exemple la question 3) ci-dessus demande aux élèves de faire le lien entre les manipulations tableur et la notion de Première S de suite géométrique définie par son premier terme et sa raison. L'entrelacement entre l'usage du logiciel et les mathématiques reste cependant encore limité, il reste aussi un langage très proche de l'artefact (« une petite croix noire » plutôt que « poignée de recopie »). La deuxième partie de ce premier énoncé porte sur la méthode d'Euler. Bien qu'inspiré du sujet 21 de 2007, il est totalement réécrit par Clarisse.

Prise en main du tableur et méthode d'Euler (Clarisse, 2008-2009, TP 1)

B) Méthode d'Euler

- 1) Rappeler l'approximation affine de $f(a+h)$ pour une fonction f dérivable en a et h voisin de 0
 - 2) On cherche maintenant des valeurs approchées d'une fonction f dérivable sur \mathbb{R} et vérifiant pour tout x , $f'(x)=f(x)$ et $f(0)=1$. Justifier que $f(0,1)\approx f(0)+0,1f'(0)$, que $f(0,2)\approx f(0,1)+0,1f'(0,1)$, que $f(0,3)\approx f(0,2)+0,1f'(0,2)$.
 - 3) (...) Démontrez que pour tout entier naturel n , une valeur approchée de $f(x_{n+1})$ est $f(x_n) + 0,1 f'(x_n)$
 - 4) Reproduire le tableau suivant dans une nouvelle feuille de calcul. Compléter à l'écran la colonne des valeurs approchées de $f(x_n)$. Attention : dans les formules, il faut faire référence à la cellule A2 pour pouvoir par la suite modifier son contenu.
- (...)
- 5) Vérifier que les résultats s'actualisent quand on remplace le contenu de la cellule A2 par 0,5. (...)
 - 6) Revenir à $h=0,1$. Représenter graphiquement ces valeurs à l'aide de l'option « Nuages de points reliés par une courbe ».
- (...)

La connaissance mathématique (l'approximation affine d'une fonction), essentielle pour la méthode d'Euler, enjeu d'apprentissage en Terminale, est explicitement appelée par l'énoncé dans la question

1). Il s'agit ensuite de l'appliquer de façon immédiate, notamment dans les questions 2) et 3). La question 4) sous entend l'utilisation par les élèves du \$ qui a été introduit juste avant dans la partie « prise en main ». Ainsi l'énoncé est relativement facile pour une bonne partie des élèves de Clarisse et cette première séance se termine avec 4 élèves qui n'ont plus d'activité en attendant la fin de la séance. Pour ce TP, les élèves doivent répondre aux questions sur la feuille d'énoncé distribuée mais ils ne doivent pas la rendre à l'enseignante.

14.4 Conclusion et discussion

Nous retenons des analyses exposées ci-dessus l'articulation de stabilités et d'évolutions dans les pratiques des deux enseignantes, effets des genèses documentaires que l'approche en termes de composantes nous permet de préciser.

En termes de démarche expérimentale, et d'emploi du tableur pour cette démarche, Sophie propose dès le début des énoncés de TP qui engagent les élèves, plus nettement que ne le fait Clarisse, dans une activité mathématique de type expérimental. Sophie organise l'entrée dans cette démarche dès la première année avec le sujet de Lubczanski. Elle semble s'approprier rapidement les attentes de l'institution. Dès la première année aussi, elle introduit le caractère expérimental manquant dans le sujet 21, puis l'accentue l'année d'après - même si le sujet a ses propres limites. Le sujet-type qu'elle propose dans son questionnaire pour illustrer le mieux une démarche expérimentale reste en cohérence avec sa représentation personnelle de ce genre de sujet, l'activité potentielle des élèves y reste riche et y est simplifiée « à la marge » pour permettre un déroulement fluide en classe. Clarisse, de son côté, éprouve des difficultés à proposer à ses élèves des sujets suffisamment ouverts pour permettre à une démarche expérimentale de se développer. Même quand le groupe IREM, à la fin de la première année, lui redonne l'occasion d'expérimenter un énoncé type bac, elle réécrit et fragmente totalement le sujet choisi par le groupe. Il est ainsi remarquable qu'il n'y ait pas chez elle d'évolution de l'activité au niveau de la mise en œuvre d'une démarche expérimentale en classe, au point qu'en l'absence même de toute contrainte liée à la mise en place effective avec des élèves, le sujet-type que propose Clarisse dans son questionnaire ne permet pas non plus de développer ce genre d'activité.

En terme de gestion des équilibres entre apprentissages mathématiques et apprentissages instrumentaux, les énoncés proposés par Sophie mettent en jeu des connaissances peu anciennes et enjeu de consolidation lorsqu'ils doivent permettre la prise en main des logiciels par les élèves, puis des connaissances nouvelles lorsque les genèses instrumentales sont déjà engagées. Les adaptations de connaissances, qu'elles soient liées à l'outil TICE ou aux mathématiques, semblent bien analysées et les difficultés, en particulier reliées aux genèses instrumentales, semblent dans la mesure du possible anticipées, voire aménagées d'une année à l'autre. L'articulation du travail des élèves en TP et du travail de l'écrit semble régulièrement prise en compte par des comptes rendus rédigés à rendre en fin de séance ou à la séance suivante, par l'envoi parfois de leur production par mail à l'enseignante ou encore en faisant imprimer leur travail par les élèves. En outre, Sophie semble être en mesure, la deuxième année, de pouvoir gérer ses premières séances en exploitant l'aspect collectif des genèses instrumentales des élèves. Pour Clarisse, en revanche, la prise en main des logiciels pour les élèves est systématiquement isolée des exercices qui ont un enjeu mathématique pour la classe de Terminale. La familiarisation aux logiciels demeure, la deuxième année, très proche du « langage artefact » et reste souvent isolée des mathématiques. Clarisse reste concentrée sur des séances de TP en salle informatique et ne semble pas prendre en charge, à l'occasion des TP, le travail de rédaction ou le travail sur l'écrit nécessaire à ses élèves. Enfin, elle doit souvent répéter les mêmes aides à chacun des élèves, dans toutes les séances observées, se fatiguant toujours, alors que Sophie sait jouer sur l'aspect collectif des genèses instrumentales, au moins à partir de la deuxième année. Chez Clarisse, l'évolution porte seulement sur le niveau des connaissances qui supportent la prise en main du tableur. D'une familiarisation sans contenu mathématique ou au mieux des connaissances très anciennes (suites arithmétiques, lectures graphiques, fonction polynôme de degré 3...), ces prises en main se combinent avec des connaissances plus complexes dès le milieu de la première année.

Clarisse et Sophie enseignent dans le même type d'établissement, elles sont membres du même groupe IREM. Nous avons signalé (§ 14.3) les similarités que cette situation entraîne en termes d'organisation globale, en lien avec les composantes sociale et institutionnelle des pratiques. Cependant, si leurs genèses documentaires sont en partie communes, elles révèlent également des stabilités et des évolutions très différentes chez chacune des deux enseignantes. L'expertise initiale plus grande de Sophie la place bien sûr dans une position plus confortable, qui explique certainement qu'elle se trouve rapidement en mesure d'articuler l'accompagnement des genèses instrumentales

des élèves et l'accompagnement de leurs apprentissages mathématiques, tant par les énoncés que par les déroulements. Les composantes cognitives et médiatives de sa pratique semblent donc dans son cas permettre des genèses documentaires amenant les élèves à adopter une démarche expérimentale avec des technologies. Les énoncés retenus et les déroulements chez Clarisse ne traduisent pas de telles genèses. Nos analyses nous conduisent à faire l'hypothèse que ce sont les caractéristiques de la composante personnelle de Clarisse qui expliquent pourquoi ses genèses documentaires la conduisent à ne faire que peu évoluer ce qui touche aux activités de médiation, avec la constante fragmentation des énoncés notamment. Tout se passe comme si la composante médiative, intriquée à la composante personnelle dans la pratique de Clarisse, avait une trop forte stabilité ; les genèses documentaires étant surtout reliées à la composante cognitive et n'apportant des évolutions que dans l'organisation globale de l'activité des élèves. Pour Sophie au contraire, il semble que ses composantes personnelle et médiative notamment étaient dès le départ cohérentes avec la possibilité de laisser les élèves en situation ouverte.

Au-delà des questions que cette étude soulève sur la mise en place d'une démarche expérimentale avec des TICE en classe de mathématiques, elle montre comment le recours aux composantes permet de préciser l'articulation des évolutions et des stabilités portées par les genèses. Celles-ci affectent, et sont affectées par les composantes. Lors de genèses en parties communes (Gueudet & Trouche Chap. 7), les différences relevées semblent pouvoir être expliquées par la composante personnelle, mais également par la composante médiative.

Références

- Artigue, M. (2002). Learning mathematics in a CAS environnement: The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 7(3), 245 -274.
- Leontiev, A. (1984). *Activité Conscience Personnalité*, Moscou : Editions du Progrès (1ère édition, 1975, en russe).
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*, Paris : PUF.
- Pastré, P. (2005). La deuxième vie de la didactique professionnelle. *Education permanente*, 165, 29-46.
- Robert, A. (2008). La double approche didactique et ergonomique pour l'analyse des pratiques d'enseignants de mathématiques. In F. Vandebrouck (dir.), *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants*, (pp. 59-68). Toulouse : Octarès Edition.
- Robert, A. (1998). Outil d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'université. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 18(2), 139-190.
- Robert, A., Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Revue Canadienne de l'Enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies* 2(4), 505-528.
- Robert, A., Rogalski, M. (2002). Comment peuvent varier les activités mathématiques des élèves sur des exercices ? Le double travail de l'enseignant sur les énoncés et sur la gestion en classe. *Petit x*, 60, 6-25.
- Rogalski, J. (2003). Y a-t-il un pilote dans la classe ? Une analyse de l'activité de l'enseignant comme gestion d'un environnement dynamique ouvert. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 23, 343-388.
- Samurcay, R., Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences : propositions. In R. Samurcay et P. Pastré (dir.) *Recherches en Didactique Professionnelle*, (pp. 163-180). Toulouse : Octarès.
- Trouche, L. (2004). Environnements informatisés et mathématiques : quels usages pour quels apprentissages ? *Educational Studies in Mathematics* 55, 181-197.
- Vandebrouck, F. (2008). *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants*, Toulouse : Octarès Editions.
- Vergnaud, G. (2002). La conceptualisation, clef de voûte des rapports entre pratique et théorie. Dans *Analyse de pratiques et professionnalité des enseignants, Actes de la DGESCO de l'Université d'Automne*, (pp. 48-57), CRDP de l'Académie de Versailles .
- Vygotski, L. (1934/1997). *Pensée et langage*, Paris : La dispute.

Chap. 15 – Documentation et décisions didactiques des professeurs

Jana Trgalova

Dans ce chapitre, nous étudions les *décisions didactiques* des professeurs en relation avec leur *documentation* (Gueudet et Trouche Chap. 3). Nous nous attachons en particulier à identifier les éléments des ressources et des connaissances professionnelles sur lesquelles se fondent leurs décisions. Le point d'entrée dans notre problématique est donc la notion de décisions didactiques qui désigne les décisions du professeur visant à accompagner un apprentissage. Nous nous intéressons plus particulièrement aux décisions prises lorsque le professeur n'est pas en présence des élèves, notamment en situation de *projet de séance*. Pour analyser les décisions, nous nous appuyons sur le *modèle de l'activité du professeur* (Margolinas 2002). A chacun des niveaux de ce modèle, le professeur interagit avec un ensemble de *ressources* qui peuvent être des documents curriculaires (manuels, logiciels éducatifs...), mais également des élèves et leurs productions qui sont essentielles pour la prise de décisions didactiques ciblées. En nous appuyant sur *l'approche documentaire* (Gueudet et Trouche Chap. 3), nous proposons une analyse de ces interactions pour identifier des éléments de schèmes d'utilisation des ressources (projets de séance) qui émergent du travail documentaire des professeurs et les mettre en relation avec leurs connaissances professionnelles.

15.1 Eléments du cadrage théorique

Comme Margolinas et Wozniak (Chap. 13), nous considérons que la préparation d'une séance d'enseignement constitue une dimension importante de l'activité du professeur. Elle nécessite la prise de nombreuses décisions concernant le choix des problèmes à proposer aux élèves, la nature des questions à leur poser, le moment opportun de les poser ou encore les artefacts à mettre à leur disposition, dans l'objectif d'assister leurs apprentissages. Ce sont précisément ces décisions, que nous qualifions de *didactiques*, qui sont au cœur de notre étude. Nous présentons dans ce qui suit nos éléments de cadrage théorique.

15.1.1 La situation du professeur

L'élève construit ses connaissances dans le jeu avec un *milieu adidactique*. Brousseau décrit ce milieu comme une structure « emboîtée », en « oignon », ayant au centre l'élève qui interagit avec un milieu matériel (Brousseau 1988, p. 319). Margolinas, en reprenant le modèle de Brousseau pour pouvoir analyser la situation du professeur parallèlement à celle de l'élève, propose un *modèle des niveaux de l'activité* du professeur qui permet de rendre compte de la complexité de son activité et d'appréhender les éléments avec lesquels il interagit (Margolinas 1993, 2002, Margolinas et Wozniak Chap. 13). Ce modèle fait apparaître cinq niveaux de situation du professeur (Figure 1). La situation du niveau +1 interagit naturellement avec le niveau 0, et ceci, non seulement lors de la réalisation effective de cette séance, mais aussi « *quand le professeur anticipe ce qui pourrait se passer dans la réalisation* » (Margolinas et Rivière 2005, p. 35). Un projet de séance s'inscrit généralement dans la construction plus large, appelée construction du thème (+2), où le professeur conçoit les grandes lignes de l'enseignement d'un thème ou d'un chapitre. Le niveau +3 a une influence certaine sur les niveaux précédents, mais peut aussi interagir avec eux de manière plus complexe, comme l'expliquent les auteurs : « *parfois une « façon de faire » en classe (niveau 0) conditionne les projets (+1) et les constructions de thème (+2), impliquant, parfois à l'insu du professeur, une certaine conception de l'enseignement qui peut être en désaccord avec celle à laquelle il croît* » (*ibid.*). Enfin le niveau -1 est celui où le professeur observe les élèves en activité. Les auteurs (*ibid.*) appellent l'ensemble de ces niveaux *la situation du professeur* parce que « *le professeur n'a jamais une situation déterminée à un seul de ces niveaux, mais toujours l'ensemble, avec une plus ou moins grande lisibilité* » (p. 36).

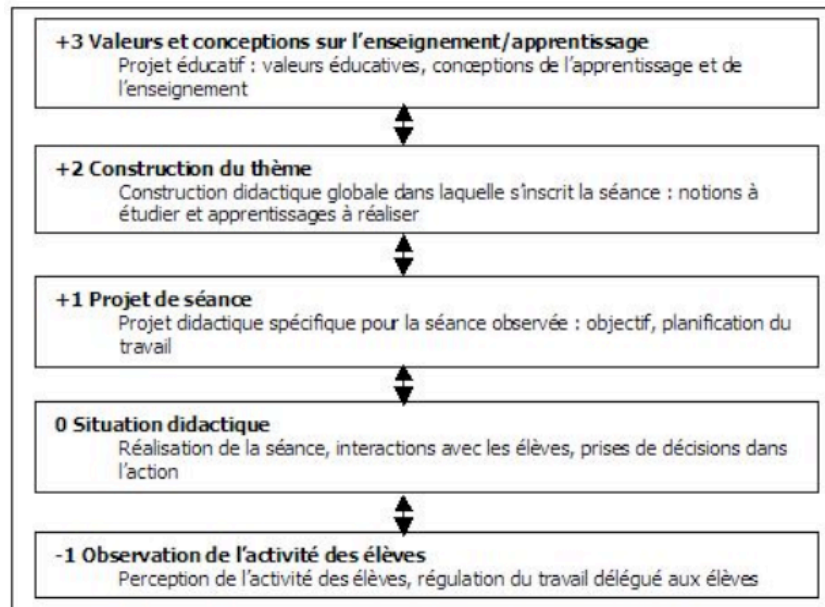


Figure 1. La situation du professeur (ibid. p. 36)

Ce modèle nous servira dans l'étude des décisions didactiques du professeur en situation de projet de séance et pour examiner la nature et le rôle des ressources et des connaissances mobilisées dans ce processus.

15.1.2 Ressources et connaissances du professeur

Regardons de plus près les *ressources* qui peuvent nourrir le projet de séance du professeur et les *connaissances* de celui-ci qui en permettent l'exploitation. Cela nous amène à examiner une partie du travail documentaire du professeur qui consiste à sélectionner des ressources, les adapter, modifier, envisager les modalités de leur usage (Gueudet et Trouche Chap. 3).

Comme Adler (2001 et Chap. 1), nous considérons le mot *ressource* au sens large, désignant tout « *ce qui peut (re)ressourcer* » la pratique du professeur. Cette conceptualisation mène à envisager des ressources de nature diverse : matérielle (ex. tableau noir, manuels), humaine (ex. professeurs et leurs connaissances, élèves et leurs réactions), sociale et culturelle (ex. langage, temps). Dans notre étude, nous portons une attention particulière aux copies d'élèves comme ressource essentielle pour la construction d'un projet de séance ciblé.

De nombreux travaux s'interrogent sur la nature des connaissances professionnelles du professeur. Shulman (1986) identifie trois composantes de ces connaissances : *connaissance du contenu* (content knowledge), *connaissance pédagogique* (pedagogical knowledge) et *connaissance pédagogique du contenu* (pedagogical content knowledge). Bloch (2006), en se référant à Shulman, propose les catégories suivantes de connaissances du professeur :

- « - le domaine des compétences mathématiques ;
- un domaine que nous pouvons appeler *didactique pratique* ou *pratique de la didactique* (correspondant plus ou moins au *pedagogical content knowledge* de Shulman) ;
- le domaine *pédagogique des régulations dans la classe* » (p. 2).

Ces trois domaines entretiennent d'étroites relations et il n'est pas aisé d'établir des frontières entre eux. En effet, d'après Lima (2006), le professeur, pour réaliser un « bon » enseignement, doit non seulement avoir une bonne maîtrise de l'objet mathématique, mais il doit également être capable d'analyser les connaissances de l'élève sur la notion en jeu, d'identifier les sources de ses erreurs et de concevoir des situations didactiques favorisant les apprentissages. Ces compétences relèvent à la fois du domaine des compétences mathématiques et de celui de la didactique. Portugais (1996) va jusqu'à affirmer que le savoir didactique contient le savoir mathématique, car les connaissances didactiques du professeur dépendent de ses connaissances mathématiques.

En lien avec le modèle de la situation du professeur de Margolinas (1993), Comiti *et al.* (1995) proposent une caractérisation des connaissances du professeur en relation avec les différents niveaux de la situation (pp. 101-103) :

- niveau +3 : connaissances sur la notion mathématique et l'apprentissage ;
- niveau +2 : connaissances relatives à la situation d'enseignement/apprentissage ;
- niveau +1 : connaissances globales sur les connaissances et les difficultés habituelles des élèves à propos de la notion mathématique en jeu ;
- niveau 0 : connaissances qui sont des interprétations et/ou des représentations des erreurs des élèves et de leurs causes ; elles vont servir pour les décisions « dans le feu de l'action » ;
- niveau -1 : connaissances permettant de distinguer, dans le travail de l'élève, les erreurs ou les difficultés qui relèvent du savoir à enseigner.

Ce modèle constitue le cadre de notre étude des décisions didactiques.

15.1.3 Décisions didactiques du professeur

Nous supposons que les décisions didactiques seront d'autant plus pertinentes si le professeur peut prendre en compte les connaissances antérieures de l'élève. Ceci nous amène à considérer les décisions en référence à un modèle de l'élève relatif à la notion mathématique en jeu. Balacheff (1995) propose le modèle $cK\phi$ « conception, connaissance, concept » permettant de caractériser les conceptions de l'élève. Une conception¹ C est décrite par un quadruplet (P, R, L, Σ), où P est l'ensemble des problèmes à la résolution desquels la conception C participe, R est l'ensemble des opérateurs qui sont des outils pour l'action dans la résolution des problèmes de P, L est un système de représentation qui permet l'expression des éléments de P, R et Σ , et enfin Σ est la structure de contrôles qui rassemble « des jugements, des décisions et plus généralement les moyens de choix » (Balacheff et Margolinas 2005, p. 84). L'apprentissage est alors considéré comme le passage d'une conception vers une autre. Une question essentielle pour l'apprentissage, et donc pour l'enseignement, se pose : comment favoriser ce passage ? En supposant qu'il existe des problèmes qui peuvent révéler la fausseté ou les limites d'une conception, des problèmes qui permettent mieux que d'autres de la renforcer ou au contraire de la déstabiliser et la faire évoluer, cette question renvoie à la manière de définir une suite de problèmes favorisant l'évolution des conceptions de l'élève. Balacheff et Margolinas (*ibid.*) précisent qu'« un processus didactique est alors le produit d'une fonction de décision dont l'argument est un ensemble de conceptions diagnostiquées au terme d'une activité de résolution de problèmes ou de l'accomplissement d'une tâche et dont le produit est un problème ou une tâche ». Ce processus (Figure 2), soulève de nombreuses questions concernant notamment la caractérisation des problèmes, l'établissement des relations entre les conceptions et les problèmes et la recherche de trajectoires entre conceptions. Cette problématique est celle de l'ingénierie des situations didactiques susceptibles de provoquer les apprentissages visés chez l'élève (Brousseau 1998). Une des facettes de l'activité du professeur en situation de projet de séance consiste alors à chercher des situations problématiques (appelées *problèmes* dans la suite, en référence au modèle $cK\phi$) appropriées pour faire évoluer les conceptions des élèves. Ceci nous amène à étudier les décisions didactiques du professeur liées au choix de problèmes qui vont conduire à la construction de son projet d'enseignement.

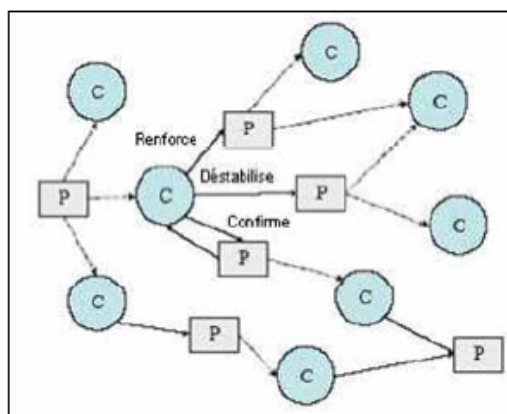


Figure 2. Graphe des problèmes et conceptions (*ibid.*, p. 103)

¹ La conception dans le modèle $cK\phi$ est définie comme « l'état d'équilibre d'une boucle action/réaction du système [sujet->milieu] sous des contraintes proscriptionnelles de viabilité » (Balacheff et Margolinas 2005, p. 80).

Nous retenons donc que le choix d'un problème se fait en fonction de la conception supposée ou diagnostiquée chez l'élève et il est toujours motivé par une *intention* du professeur. Comme Dessus *et al.* (1993), nous pensons que le comportement du professeur est « *intentionnel, c'est-à-dire qu'il vise la poursuite de buts et la maximisation de l'utilité des situations didactiques dont il a la charge* ». Le mot *intention* est ici à comprendre dans le sens courant du terme, désignant le but, la finalité vis à vis de la conception de l'élève qui préside le choix du problème, sans que l'on cherche à le formaliser, par exemple dans le cadre proposé par Sensevy (chap. 8). Une *décision didactique* envisagée dans le cadre du modèle cK ϕ serait alors le couple *intention - problème choisi*.

15.2 Décisions didactiques du professeur en situation du projet : une étude empirique

Cette étude s'appuie sur la thèse de doctorat² de Lima (2006), qui s'inscrit dans la problématique de modélisation de décisions didactiques du professeur (voir aussi Lima et Trgalova 2008). Le corpus pour développer cette étude provient de la partie expérimentale de cette thèse.

15.2.1 Dispositif expérimental

Précisons d'abord que la notion mathématique en jeu est la symétrie orthogonale étudiée de manière systématique en classe de 6^e du collège français (élèves de 11-12 ans). Nous avons donc sollicité des professeurs de collège pour participer à notre expérimentation. Nous avons choisi de nous adresser aux professeurs expérimentés supposant qu'ils auraient plus de facilité à « jouer le jeu », tout en étant dans une situation très particulière. En effet, si la situation de projet de séance est dans la plupart de temps tout à fait ordinaire, dans le sens où tout professeur y est très souvent confronté, la situation que nous leur avons proposée a été particulière pour deux raisons :

- d'une part, nous voulions observer le processus de construction d'un projet de séance au sens du modèle cK ϕ , c'est-à-dire une séquence de problèmes jugés appropriés pour faire évoluer les conceptions d'un élève. Afin de pouvoir comparer les projets des professeurs, nous avons envisagé une situation où ceux-ci devaient élaborer un projet de séance pour un même élève, pour garantir qu'ils partagent l'objectif de leurs projets : faire évoluer les mêmes conceptions initiales. Quelques copies d'élèves ont alors été fournies aux professeurs (§ 15.2.2). Notons que la conception initiale a été la même pour tous les professeurs seulement au plan théorique (il s'agissait de productions des mêmes élèves), car en pratique, les professeurs devaient d'abord effectuer un diagnostic des connaissances des élèves (Figure 4) qui pourrait bien évidemment différer d'un professeur à l'autre, car il est le fruit de ce qu'il observe dans la copie et de l'interprétation de ses observations – c'est ce que nous analysons plus loin ;

Voici les copies de quatre élèves de quatrième qui ont travaillé sur quelques problèmes autour de la symétrie axiale.

Au vu des résultats, quelle séquence d'enseignement proposeriez-vous à chacun de ces élèves ? Pour construire ces séquences vous devez appuyer sur les problèmes proposés dans l'annexe. Chaque copie est accompagnée de deux questions où l'on vous demande de justifier le plus précisément possible tous les choix que vous faites : les éléments pris en compte, les raisons du choix des problèmes, conditions d'utilisation de ces problèmes (quels instruments, techniques, moyens de validation sont à disposition de l'élève).

Si aucun des problèmes proposés ne vous convient, précisez pourquoi et ce que vous proposeriez à l'élève.

Figure 3. Consigne donnée aux professeurs (Lima 2006, p. 199)

- d'autre part, un ensemble de problèmes a été proposé aux professeurs (cf. annexe 2). Notre objectif étant de pouvoir caractériser les problèmes choisis par les professeurs au moyen de variables didactiques, nous avons cherché à en limiter le nombre, ce qui nous a conduit à présélectionner 18 problèmes en fonction des variables identifiées dans l'étude a priori des conceptions et des décisions didactiques concernant la symétrie. Afin de ne pas trop contraindre les choix et les décisions des professeurs, nous avons précisé dans la consigne (Figure 3) que si aucun problème de la liste ne leur

² Co-encadrée par N. Balacheff et l'auteur du présent chapitre.

convenait, ils avaient le droit d'en proposer d'autres ou de proposer des adaptations des problèmes fournis, tout en veillant à en expliciter les raisons et les modifications apportées.

- 1) Pourriez-vous décrire ce qu'est la symétrie orthogonale pour cet élève (propriétés attribuées pour cette notion par l'élève, types d'erreurs, moyen de contrôle ...)?
- 2) Quelle séquence d'enseignement proposez-vous pour cet élève? Justifiez tous les choix faits dans cette séquence :
 - a. Les éléments pris en compte ;
 - b. Les raisons du choix de problèmes et conditions d'utilisation de ces problèmes (quels instruments, techniques, moyens de validation sont à disposition de l'élève) ;
 - c. Autres remarques.

Figure 4. Questionnaire accompagnant la copie d'élève (ibid., p. 200)

Notre professeur se trouve donc au niveau +1 du modèle de la situation du professeur. Son milieu, à ce niveau contient notamment deux types de *ressources* : des *copies* d'élèves (« observé » d'une situation -1 antérieure), dans lesquelles il cherchera des informations sur leur état de connaissance, et un *ensemble de problèmes* parmi lesquels il pourra choisir ceux qu'il jugera appropriés pour construire son projet de séance. Par ailleurs, il interagit également avec les niveaux +2 et +3. En revanche, comme le professeur sait que son projet n'est pas destiné à être réalisé, nous supposons que ses interactions avec le niveau 0 n'exerceront pas d'influence significative sur celui-ci.

Concernant la notion mathématique en jeu, une des raisons du choix de la symétrie orthogonale a été le fait qu'elle occupe une place importante dans l'enseignement des mathématiques français. De plus, de nombreux travaux portant sur l'étude des difficultés des élèves dans l'apprentissage de cette notion ont permis d'identifier les conceptions fréquemment mises en œuvre dans la résolution de problèmes de symétrie (Hart 1981, Grenier 1988, Tahri 1993). Ces résultats nous ont servi de point de départ pour élaborer un modèle de l'élève³ concernant la symétrie. A l'aide du modèle cKç, nous avons pu caractériser, au moyen des ensembles d'opérateurs et de contrôles, les conceptions pouvant être mobilisées dans la résolution de problèmes relevant de la symétrie.

15.2.2. Ressources proposées aux professeurs

Ont été proposés aux professeurs des copies d'élèves et un ensemble de problèmes.

Copies d'élèves

Trois copies d'élèves (nommés Anissa, Béatrice et Cédric) ont été soumises aux professeurs. Les copies d'Anissa et de Cédric sont artificielles, construites à partir des réponses données par les élèves⁴ ayant participé à une expérimentation antérieure. La copie de Béatrice est une vraie copie d'élève. Les trois copies ne sont pas représentatives des réponses des élèves, elles ont été construites en fonction de nos objectifs de recherche. La copie d'Anissa (Annexe 1), la seule concernée par l'étude de cas présentée plus loin, a été conçue de sorte que les réponses, toutes erronées, et les démarches de résolution présentent une certaine convergence. Ce choix a été motivé par le souhait d'observer les informations que les professeurs cherchent dans la copie d'un élève (regardent-ils seulement la validité des réponses? s'intéressent-ils aussi aux connaissances sous-jacentes à ces réponses et aux erreurs éventuellement identifiées?) et si cette convergence se reflète dans les décisions des professeurs (les projets de séance sont-ils ressemblants? dans quelle mesure et sur quels aspects?).

Analysons la copie d'Anissa à l'aide du modèle cKç. L'ensemble P contient 4 problèmes résolus par l'élève : deux problèmes de reconnaissance de figure symétrique (déterminer parmi plusieurs figures proposées celle qui est symétrique da la figure donnée par rapport à un axe) et deux problèmes de construction de figure symétrique (construire le symétrique d'une figure donnée par rapport à un axe). L'analyse des réponses aux problèmes de reconnaissance est faite en terme de contrôles

³ La présentation de ce modèle n'est pas indispensable pour la compréhension de ce texte. Le lecteur désireux d'en savoir plus pourra se reporter à (Lima 2006), notamment le chapitre 3.

⁴ 51 élèves de deux classes de 4^e d'un collège ont participé à une expérimentation où ils devaient résoudre un certain nombre de problèmes de la symétrie orthogonale.

uniquement, car dans ce cas, contrairement aux problèmes de construction, l'élève n'a pas laissé de trace d'actions éventuelles sur la copie (mesures, tracés d'objets auxiliaires, codages...) qui puisse attester de la mobilisation d'opérateurs.

Dans le premier problème de reconnaissance de figure symétrique (Flèche), l'élève choisit la figure qui « *va dans le même sens* » et justifie sa réponse en évoquant la superposition de la figure et de son image lorsqu'on plie la feuille selon l'axe. Tous les segments de la figure choisie sont parallèles aux segments correspondants de la figure donnée, il semble donc que l'élève considère qu'un segment et son symétrique sont parallèles (contrôle Σ parallélisme). Quant à la direction joignant un point et son symétrique, étant donné que l'axe est vertical, l'élève a pu choisir aussi bien la direction orthogonale qu'horizontale. Ainsi, l'élève a mobilisé soit le contrôle relatif à la direction horizontale (Σ hor), soit celui relatif à la direction orthogonale à l'axe (Σ ortho). L'analyse des réponses de l'élève aux problèmes suivants nous fera pencher pour le contrôle Σ hor.

Dans le deuxième problème (Losange) l'élève a dû identifier le symétrique d'un segment par rapport à une droite dans une figure complexe. Elle a encore choisi un segment parallèle (Σ parallélisme), dans la direction horizontale (Σ hor), ayant une extrémité sur l'axe tout comme le segment donné (Σ extrémité_sur_axe).

Le troisième problème (Segment) concerne la construction du symétrique d'un segment par rapport à une droite oblique. L'élève trace un segment parallèle au segment donné, « *juste à côté* » de celui-ci, en dit avoir utilisé la règle à la fois pour mesurer « *le trait* » et pour construire le symétrique. Il semble alors qu'elle a construit un segment de même longueur que le segment donné (Σ taille), en faisant glisser la règle horizontalement (Σ hor et Σ parallélisme). L'expression « *juste à côté* » fait penser qu'Anissa a pris en compte une certaine distance globale entre les segments (Σ dist). Enfin, le fait que le segment et son symétrique coupent l'axe laisse supposer que l'élève a mobilisé le contrôle Σ intersection_F/axe selon lequel le symétrique d'une figure a autant de points d'intersection avec l'axe que la figure donnée. L'action de l'élève peut alors être décrite au moyen d'un opérateur qui pourrait être le suivant : « faire glisser la règle dans la direction horizontale à une certaine distance du segment donné et tracer un segment parallèle, de même longueur et qui a le même nombre de points d'intersection avec l'axe que le segment donné ».

Dans le dernier problème (Maison), il s'agissait encore de construire le symétrique d'une figure par rapport à un axe oblique, mais cette fois la figure était plus complexe et représentait un objet réel, une maison. L'élève a pu mettre en œuvre l'une des procédures suivantes : (1) procédure globale, consistant à construire l'image de la figure de l'autre côté de l'axe (Σ demi_plan), à la même distance de celui-ci (Σ dist), dans la direction horizontale (Σ hor), tout en conservant les dimensions (Σ taille), la forme (Σ forme) et le sens (Σ même_sens) de la figure, ou (2) procédure semi-analytique, consistant à construire d'abord le symétrique d'un point de la figure dans la direction horizontale et à la même distance à l'axe, puis construire, à partir de ce point, de manière globale, une figure identique. Dans le cas d'une procédure globale, l'opérateur « construire une figure identique de l'autre côté de l'axe, à la même distance de celui-ci, dans la direction horizontale » serait mobilisé. Une procédure semi-analytique suppose la mise en œuvre de 2 opérateurs : d'abord « construire le symétrique d'un point de la figure dans la direction horizontale et à la même distance de l'axe de l'autre côté de celui-ci », puis « construire, à partir d'un point, la figure identique ».

L'analyse de l'ensemble des réponses d'Anissa montre que, pour elle, la figure F' symétrique d'une figure F par rapport à un axe donné semble être une « *translatée* » de F de l'autre côté de l'axe, dans la direction horizontale, par conséquent F et F' ont même forme, même taille, même sens et les segments correspondants de F et F' sont parallèles. De plus, l'élève semble considérer qu'une distance à l'axe est conservée par la symétrie orthogonale. Cette conception correspond à la conception « *parallélisme* » décrite par (Tahri 1993).

Ensemble des problèmes

La seconde ressource (Annexe 2) mise à disposition des professeurs contient 18 problèmes dont la sélection s'est appuyée à la fois sur l'étude des programmes et des manuels et sur la considération des variables didactiques dont nous avons fait l'hypothèse qu'elles ont favorisé la mobilisation de tel ou tel contrôle identifié dans les copies des trois élèves proposées aux professeurs. Le tableau en annexe 3 présente la caractérisation des problèmes en termes de principales variables didactiques⁵ considérées.

⁵ Pour la liste complète, voir (Lima 2006), notamment le chapitre 6.

15.3. Analyse des projets de séance

Dix professeurs de collège français (élèves de 11-15 ans) ont participé à l'expérimentation qui s'est déroulée à distance, cette modalité ayant été choisie par les professeurs, compte tenu de la complexité de la tâche demandée et de l'investissement en temps nécessaire à sa réalisation. Un dossier contenant les copies d'élèves, l'ensemble des problèmes et les consignes, a été envoyé à chaque professeur. Les professeurs ont renvoyé, dans un délai d'environ 15 jours, leurs productions, à savoir, pour chaque élève, un diagnostic de l'état de connaissance concernant la symétrie et un projet de séance. De plus, un entretien en présentiel a été organisé avec les professeurs dont les réponses nécessitaient davantage d'explicitation.

Pour notre étude, nous avons fait le choix d'analyser les réponses de deux professeurs concernant la copie d'Anissa. Cette copie est plus simple à analyser, comme les réponses de l'élève révèlent la mobilisation d'une même conception, contrairement à Béatrice qui mobilise des conceptions locales différentes d'un problème à un autre. Anissa présente ainsi un plus grand intérêt pour la comparaison des projets des professeurs à son égard. Par ailleurs, la copie de Cédric contient très peu d'erreurs, les projets des professeurs s'adressant à cet élève sont donc moins riches. Les deux professeurs, désignés par Prof1 et Prof2, dont les réponses seront présentées, ont été choisis pour leurs analyses très différentes de la copie qui ont influencé de manière significative leurs projets de séance.

Nous analysons les réponses des professeurs à trois niveaux :

- nous étudions d'abord leurs décisions didactiques en analysant leurs projets de séance et en nous référant au modèle des conceptions de la symétrie orthogonale, notamment leurs structures de contrôle ;
- nous dégagons ensuite la trajectoire menant de la conception de l'élève diagnostiquée par le professeur vers une conception cible, cette trajectoire étant constituée des problèmes proposés par le professeur ;
- enfin, nous cherchons à comprendre le travail documentaire des professeurs et à identifier leurs connaissances qui ont permis l'exploitation des différentes ressources à leur disposition (section 15.4).

15.3.1 Professeur 1

Prof1 ne s'arrête pas au repérage des erreurs commises dans la copie, mais il cherche à en identifier les sources. Il met ainsi en évidence quatre propriétés attribuées par l'élève à la symétrie et mises en œuvre dans la résolution de problèmes proposés (Figure 5) : (P1) L'image d'un segment par la symétrie est un segment parallèle, (P2) Le segment et son image ont même longueur, (P3) Le segment-image est obtenu en déplaçant horizontalement le segment antécédent, (P4) Le segment et son image sont de part et d'autre de l'axe. Ces propriétés permettent d'inférer les contrôles suivants dans la conception de l'élève : Σ parallélisme (P1), Σ taille (P2), Σ translation, Σ hor (P3) et Σ demi_plan (P4). Parmi ces contrôles, certains sont corrects (ex. Σ taille), d'autres non⁶ (ex. Σ parallélisme).

1. Pour Anissa:
P₁: "L'image d'un segment par la symétrie est un segment parallèle": toutes les figures correspondent à cette conception.
Sauf en 5a: "le segment et son image ont même longueur". P₂
Sauf en 5a.b: "le segment-image est obtenu en déplaçant horizontalement le segment antécédent". P₃
Sauf en 3: "le segment et son image sont de part et d'autre de l'axe". P₄

Figure 5. Extrait de la production du Prof1

Dans le Tableau 1, nous avons reconstitué les *intentions didactiques* du professeur à partir de ses indications données en relation avec son projet de séance. On remarque que le professeur tient

⁶ Le domaine de validité d'un contrôle est souvent non vide (ex. Σ hor est valide si l'axe est vertical). Nous dirons qu'un contrôle est correct s'il est toujours valide et qu'il est incorrect sinon.

compte du diagnostic de l'état de connaissance de l'élève. Il cherche non seulement à « corriger » les connaissances erronées, mais également à renforcer les connaissances correctes. Le tableau met en évidence quatre types d'intentions sous-tendant le choix des problèmes par le professeur : déstabiliser les contrôles erronés de la conception initiale, dégager de nouveaux contrôles, renforcer les nouveaux contrôles dégagés et confirmer les contrôles valides de la conception initiale. Chaque contrôle identifié est traité : s'il est correct, un problème pour le confirmer/renforcer est proposé, s'il est incorrect, le problème proposé vise à le déstabiliser avant de le remplacer, si nécessaire, par un contrôle correct.

Intention	Problème	Extraits de la production du Prof1
Déstabiliser le contrôle Σ parallélisme en invalidant les réponses de l'élève en utilisant le papier calque. Dégager le contrôle Σ effet_miroir (contrôle perceptif comme moyen de validation).	Ex1 de la copie Ex2 de la copie	<i>Faire comprendre à Anissa qu'un segment et son image ne sont pas forcément parallèles.</i> <i>En disposant verticalement l'axe, j'attirerai l'attention de cette élève sur l'effet-miroir de la symétrie ; c'est très visuel et les élèves captent assez vite ce moyen de contrôle « à vu d'œil ».</i>
Amener l'élève à dégager les contrôles Σ ortho (perpendicularité) et Σ dist. Déstabiliser les contrôles Σ hor et Σ translation.	Pb01	<i>Faire observer les deux propriétés fondamentales de la symétrie : perpendicularité et distances des points à l'axe égales.</i> <i>Il s'agit de constater que P_3 est fausse.</i>
Faire formuler les deux « propriétés fondamentales » de la symétrie (explicitation de contrôles Σ ortho et Σ dist)	Pb15	<i>Pour justifier le choix de C ou D, Anissa doit reformuler avec ses mots la propriété de perpendicularité. Ensuite, pour discriminer C et D, elle reformulera la ppte des distances.</i>
Renforcer les contrôles Σ ortho et Σ dist. Confirmer le contrôle Σ taille.	Pb02	<i>Pour renforcer l'assimilation et l'énonciation des deux ppts.</i> <i>Le dessin b permet en outre à Anissa d'évoquer la non-isométrie des figures, ppte qu'elle semble avoir bien intégrer.</i>
Amener l'élève à mettre en œuvre les contrôles Σ ortho et Σ dist.	P04	<i>Je demande à Anissa de nommer les points puis leur image.</i> <i>Elle choisit elle-même ses instruments. Je l'invite à contrôler avec le calque, si l'observation « à vue d'œil » ne suffit pas.</i> <i>En complément, je lui demande de rédiger un programme de construction.</i>
Renforcer les contrôles Σ ortho, Σ dist et Σ demi_plan.	Pb05	<i>Les segments isométriques apparaissent clairement. En se servant de plus de sa ppte P4, Anissa devrait identifier C et E comme images de B et D (par exemple) [...]. Dans ce Pb05, les deux ppts fondamentales de la symétrie sont vérifiées.</i>
Renforcer les contrôles Σ ortho, Σ dist (en arrivant à conclure qu'il n'y a pas de symétrie si ces deux propriétés ne sont pas vérifiées).	Pb12	<i>Pour que Anissa formule successivement dans a puis b la non-vérification de ces deux propriétés.</i>

Tableau 1. Projet de séance de Prof1

La mise en relation des problèmes proposés et des intentions sous-jacentes à ces choix permet de caractériser le projet du professeur en terme de trajectoire de la conception initiale vers une conception cible que nous représentons dans le Tableau 2.

La conception cible peut être résumée comme suit : *le symétrique d'une figure par rapport à un axe est une figure de mêmes dimensions (Σ taille), située de l'autre côté de l'axe (Σ demi_plan), à une distance égale (Σ dist), cette distance étant prise le long de la direction orthogonale à l'axe (Σ ortho). De plus, la structure de contrôles de cette conception contient un contrôle perceptif permettant de reconnaître des figures symétriques « à vu d'œil » (Σ effet_miroir). Ce tableau montre que Prof1 vise une évolution progressive de la conception initiale de l'élève vers une conception où les contrôles erronés sont remplacés par les deux contrôles correspondant aux « propriétés fondamentales » de la symétrie orthogonale. Le professeur propose à la fin de la séance des problèmes dans le but de renforcer les contrôles correspondant à ces deux propriétés, ainsi que de confirmer les contrôles corrects de la conception initiale. Notons enfin que la séance proposée est considérée comme « une*

première remédiation » et d'autres séances sur la symétrie devraient donc suivre, comme en témoigne cet extrait du protocole du professeur : « J'arrête là avec Anissa [...] je pense que cela suffit pour une première remédiation. J'ai volontairement omis [...] de montrer à Anissa le cas où un segment et son image sont parallèles. Ce sera pour plus tard ».

Problème	Intention	Conception en terme de Σ
		C0 Σ parallélisme, Σ taille, Σ translation, Σ hor, Σ demi_plan
Ex1 Ex2 avec du papier calque	Déstabiliser C0, en particulier Σ parallélisme, et par conséquent Σ translation Dégager Σ effet_miroir	C1 Σ taille, Σ hor, Σ demi_plan, Σ effet_miroir
Pb01 expliciter les propriétés fondamentales	Déstabiliser C0, en particulier Σ hor et Σ translation Dégager Σ ortho et Σ dist	C2 Σ ortho, Σ dist, Σ taille, Σ demi_plan, Σ effet_miroir
Pb15	Renforcer Σ ortho et Σ dist	C2
Pb02	Renforcer Σ ortho et Σ dist Confirmer Σ taille	C2
Pb04 rédiger un programme de construction	Renforcer Σ ortho, Σ dist, Σ effet_miroir	C2
Pb05	Renforcer Σ ortho et Σ dist Confirmer Σ demi_plan	C2
Pb12	Renforcer Σ ortho et Σ dist	C2

Tableau 2. Relations conceptions-problèmes dans le projet de Prof1

15.3.2 Professeur 2

Prof2 caractérise les connaissances d'Anissa avec ces mots : « Le mot pliage est écrit mais il n'a aucune signification pour elle car elle effectue des glissements horizontaux (confusion avec la translation qui est au programme de 4^e ?) ». Ainsi, ce professeur identifie les contrôles Σ translation et Σ hor. A cela, nous pouvons ajouter l'absence, constatée par le professeur, chez Anissa d'images mentales assurant le contrôle du pliage. Le professeur, n'ayant identifié aucune connaissance correcte chez l'élève, construit son projet (Tableau 3) en se disant que « tout est à retravailler ». La première étape est appelée par le Prof2 « phase des yeux » ce qu'il justifie comme suit : « Les élèves sont très, très visuels [...]c'était une enfant qui avait vraiment de très grosses difficultés et qu'elle n'a pas du tout assimilé ce qu'était la symétrie. [...] Donc appuyer énormément sur le visuel [...] » (extrait de l'entretien avec Prof2). Cette phase, constituée uniquement de problèmes de reconnaissance de figures symétriques et d'observation des propriétés de symétrie, vise d'abord la déstabilisation de la procédure de l'élève mise en œuvre pour construire le symétrique d'une figure (ex. 4 de la copie) en amenant l'élève à comparer sa réponse avec une situation similaire (Pb02-a) où il est dit que les figures ne sont pas symétriques ; l'élève doit donc arriver à la conclusion que « son exercice 4 est faux ». Prof2 propose ensuite le problème Pb01 qui doit permettre de travailler le lien entre le pliage et l'axe de symétrie, de déstabiliser le contrôle Σ translation lié au glissement de la figure utilisé par l'élève pour obtenir la figure symétrique, de dégager les contrôles Σ sens_inverse (les figures symétriques ont leurs sens opposés), Σ ortho et Σ dist et d'amener l'élève à développer des images mentales de figures symétriques « en [les] visualisant ». Le professeur envisage d'introduire le travail sur ce problème par des questions suivantes : « Les figures sont symétriques. On a plié suivant quelle droite ? On a effectué une symétrie par rapport à... ». L'élève peut donner facilement la réponse attendue à ces questions sans nécessairement s'appuyer sur des propriétés de la symétrie, par un effet de *contrat didactique* (Brousseau 1988). S'agirait-il d'une stratégie d'enseignement visant à éviter l'erreur ?

Intention	Problème	Extraits de la production du Prof2
Invalider la réponse de l'élève à l'ex. 4 en comparant un cas similaire où on sait que les figures ne sont pas symétriques.	Pb02 a (à l'oral)	<i>Les figures ne sont pas symétriques, c'est écrit... donc son exercice 4 est faux (ce doit être <u>sa</u> conclusion)</i>
Etablir la relation entre pliage et axe de symétrie (on plie le long de l'axe). Déstabiliser Σ translation et amener à dégager Σ sens_inverse. Faire dégager Σ ortho et Σ dist en observant les propriétés correspondantes sur le dessin. Amener l'élève à développer les images mentales de figures symétriques.	Pb01 (à l'oral)	<i>Les figures sont symétriques. On a plié suivant quelle droite ? On a effectué une symétrie par rapport à... On remarque à nouveau que les oiseaux sont face à face et pas « dans le même sens », pas de glissement. Elle répond aux questions posées en visualisant l'orthogonalité et les distances égales (codage marqué). [...] je lui proposerais de tourner la feuille et de visualiser la figure quand l'axe est horizontal, vertical.</i>
Amener l'élève à utiliser les contrôles Σ ortho et Σ dist dans un problème de justification (figures non symétriques). Renforcer les images mentales de figures symétriques.	Pb02 b, c, d (à l'oral)	<i>Je lierai le c au reflet de la maison dans l'eau</i>
Amener l'élève à utiliser Σ ortho et Σ dist dans des problèmes de reconnaissance.	Pb17 (à l'oral)	<i>Toujours à l'oral mais sans justification (lien avec sa réponse 3)</i>
Amener l'élève à utiliser Σ ortho et Σ dist dans des problèmes de construction de points symétriques (avec quadrillage).	P15 Pb07	<i>La phase des « yeux » étant terminée, elle doit apprendre à <u>construire</u> des images (à l'équerre) (celle au compas étant liée à la notion propriété de la médiatrice, je l'étudierais ultérieurement)</i>
Amener l'élève à utiliser Σ ortho et Σ dist dans des problèmes de construction de points symétriques (sans quadrillage).	Pb08	
Amener l'élève à utiliser Σ ortho et Σ dist pour construire le symétrique d'un triangle.	Construire symétrique d'un triangle	<i>Je lui proposerais [...] de construire les symétriques d'un triangle avec l'axe hors du triangle et vertical, puis oblique.</i>
Amener l'élève à utiliser Σ ortho et Σ dist pour construire le symétrique d'une figure. Effectuer un nouveau diagnostic.	Pb04 c, a, b	<i>Symétrique d'une figure Pb04 : commencer par le c, puis a, puis b et je vérifierais à chaque étape pour analyser les erreurs éventuelles.</i>
Renforcer Σ ortho et Σ dist	Pb18	<i>A la maison Pb18 (la maison est à droite de l'axe !!)</i>

Tableau 3. Projet de séance du Prof2

Le problème Pb02 (b, c, d) est ensuite proposé pour amener l'élève à mettre en œuvre les propriétés de la symétrie (orthogonalité, distance à l'axe et conservation de longueurs) pour dire pourquoi les figures données ne sont pas symétriques. Cette phase visuelle se termine par la proposition du problème Pb17 pour utiliser les propriétés de la symétrie dans un problème de reconnaissance de symétrique d'un segment par rapport à une droite, en lien avec l'exercice 3 de la copie. Le professeur prévoit le travail de cette phase à l'oral uniquement. Lors de l'entretien, il explicite la raison de ce choix : « Parce que s'il y a une erreur, elle n'est pas écrite là [...] Donc à mon avis, il me semble qu'elle s'efface plus vite de la tête de l'enfant, première chose. Deuxième chose, ils n'aiment pas trop écrire, ils ont des difficultés avec l'écriture [...] alors que quand c'est à l'écrit, il faut déjà donner du temps [...] ». Cet extrait témoigne d'un effort d'évitement de l'erreur et de l'anticipation de la gestion du temps jugée plus difficile lorsque le travail de l'élève intègre des phases d'écriture. La « phase des yeux » est suivie d'une phase où l'élève « doit apprendre à construire des images ». La suite de problèmes proposés vise l'apprentissage pas à pas de construction du symétrique d'un point (avec quadrillage – Pb15 et Pb07, puis sans quadrillage – Pb08), puis d'un triangle (axe vertical, puis oblique) et enfin d'une figure complexe (axe horizontal, puis vertical et enfin oblique – Pb04 c, a, b). Dans les termes du modèle cK ϕ , il s'agirait d'amener l'élève, par le jeu sur les variables didactiques - support, orientation de l'axe, complexité de la figure - à développer des opérateurs permettant la résolution de problèmes de construction de figures symétriques dont le niveau de difficulté augmente progressivement. Le professeur propose encore le Pb18 en devoir à la maison, en précisant : « Je préfère à domicile parce qu'il y a quand-même beaucoup de travail ... et pour le faire en classe, ça prendrait un sacré temps ». Le professeur anticipe à nouveau la difficulté liée à la gestion du temps lors de la réalisation de cette séance en classe.

Analysons à présent la relation entre les problèmes proposés par Prof2 et les intentions didactiques sous-jacentes à ces choix afin d'identifier la conception de la symétrie visée (Tableau 4). Ce tableau montre que le professeur vise une évolution rapide de la conception initiale de l'élève vers une conception où le contrôle erroné associé à la translation est remplacé par le contrôle du sens opposé des figures symétriques. La structure de contrôles de cette conception comprendrait également les contrôles correspondant aux propriétés d'orthogonalité et d'égalité des distances à l'axe, ainsi qu'un contrôle perceptif associé au pliage. Prof2 propose ensuite plusieurs problèmes dans le but de renforcer les contrôles de cette conception, tout en amenant l'élève à développer des opérateurs permettant de résoudre des problèmes de construction de figures symétriques. Notons que, comme dans le cas du Prof1, cette séance devrait être suivie par d'autres séances permettant d'aborder d'autres aspects de la symétrie, comme en témoignent cet extrait du protocole du professeur : « [la construction] au compas étant liée à la notion propriété de la médiatrice, je l'étudierais ultérieurement ».

Problème	Intention	Conception en terme de Σ
		C0 Σ translation, Σ hor Absence Σ pliage
Pb02 a	Déstabiliser C0	C0 déstabilisée
Pb01	Dégager Σ pliage Déstabiliser C0, en particulier Σ translation Dégager Σ sens_inverse, Σ ortho et Σ dist	C1 Σ pliage, Σ sens_inverse, Σ ortho, Σ dist
Pb02 b, c, d ; Pb17 ; Pb15 ; Pb07 ; Pb08 ; Construire le symétrique d'un triangle	Renforcer Σ ortho et Σ dist	C1
Pb04 c, a, b	Renforcer Σ ortho et Σ dist Effectuer un nouveau diagnostic	C1
Pb18 en devoir maison	Renforcer Σ ortho et Σ dist	C1

Tableau 4. Relation conceptions-problèmes dans le projet de Prof2

15.4. Travail documentaire des professeurs

En nous situant dans le cadre de l'*approche documentaire* (Gueudet et Trouche Chap. 3), nous pouvons considérer l'élaboration des projets de séance par les professeurs comme un travail documentaire consistant à exploiter un ensemble des ressources à leur disposition (dont la copie d'élève et l'ensemble des problèmes). Les suites de problèmes proposés par les professeurs (qui sont de nouvelles ressources composées d'un ensemble des ressources sélectionnées, adaptées, modifiées...), si elles sont associées à un schème d'utilisation, pourront être vues comme des documents né de processus de genèses documentaires. Comme le précisent Gueudet et Trouche (*ibid.*), « [c]'est sur le temps long qu'on peut vraiment comprendre les genèses, repérer des trajectoires, situer des schèmes, identifier des invariants opératoires ». Cependant, il nous semble possible d'observer, dans l'élaboration de projets de séance, des genèses et la naissance de schèmes. D'après les auteurs (*ibid.*) « [u]n schème d'utilisation comporte en particulier des règles d'action et des invariants opératoires qui sont ici des connaissances professionnelles [...] des professeurs » (*ibid.*). Essayons donc de dégager des éléments de genèses documentaires des deux professeurs. Comme le travail documentaire est toujours lié à une classe de situations, nous considérons que la classe de situations concernée est « concevoir un projet de séance relatif à la symétrie orthogonale ».

Nous avons vu que les professeurs n'ont pas exploité la copie d'élève de la même manière. Prof1 en a fait une analyse approfondie lui permettant d'identifier aussi bien des connaissances erronées à l'origine des réponses incorrectes, que des connaissances correctes. Le résultat de cette analyse a influencé de manière considérable son projet de séance puisque, comme on l'a vu (§ 15.3.1), les décisions didactiques de ce professeur visaient en particulier la déstabilisation des contrôles sous-jacents aux connaissances erronées et le renforcement de ceux sous-jacents aux connaissances correctes. Il en résultait un projet adapté aux difficultés de l'élève. Prof2, qui n'a repéré dans la copie que des résultats erronés qu'il a attribués aux manques de connaissances, a proposé un projet de séance plutôt générique, s'adressant à un élève en début de l'apprentissage de la symétrie orthogonale. Face à une copie d'élève, les professeurs semblent donc mettre en œuvre des règles

d'action différentes. Pour Prof1, nous pouvons considérer la règle d'action « identifier, dans une copie d'élève, les connaissances, correctes et erronées, qui relèvent du savoir à enseigner », dont nous pouvons inférer un invariant opératoire « l'enseignement doit prendre en compte les connaissances de l'élève ». Cet invariant est lié à la pratique préconisée par l'institution scolaire, comme en témoigne l'extrait des programmes du collège (ressource au niveau +3) : « *L'enseignement prend en compte les connaissances antérieures des élèves : mise en valeur des points forts et repérage des difficultés de chaque élève à partir d'évaluations diagnostiques* »⁷. Dans le cas de Prof2, la règle d'action pourrait être « dans une copie d'élève, relever les réponses erronées » et un invariant opératoire sous-jacent « comme les réponses erronées traduisent le manque de connaissances chez l'élève, il faut recommencer l'enseignement à zéro ». Par ailleurs, l'analyse d'une copie suppose, chez le professeur, des connaissances didactiques lui permettant d'identifier les erreurs et leur origine (-1).

Les projets de séance devaient s'appuyer sur un ensemble des problèmes fourni aux professeurs. Analyser ces problèmes, en sélectionner certains pour les intégrer dans le projet de séance (processus d'instrumentation), les modifier, compléter, envisager leur mise en œuvre - quelles consignes ? quels instruments ? qui valide la réponse ? comment ? (processus d'instrumentalisation) faisait alors partie du travail documentaire des professeurs. Reprenons à nouveau le projet de Prof1. Son choix d'utiliser le papier calque pour reprendre avec l'élève les exercices 1 et 2 de la copie peut relever de sa connaissance des programmes de la classe de 6^e où la symétrie orthogonale est travaillée (+2). En effet, nous pouvons lire que « *dans la continuité du travail entrepris à l'école élémentaire, les activités s'appuient encore sur un travail expérimental (pliage, papier calque) [...]* »⁸. Prof1 introduit l'effet-miroir de la symétrie comme moyen de validation, en disant que « *c'est très visuel* » et que « *les élèves captent assez vite ce moyen de contrôle* ». Ce choix peut être considéré comme une règle d'action dont nous pouvons inférer un invariant opératoire qui pourrait être « les élèves apprennent plus facilement la symétrie s'ils disposent de moyens de contrôle visuels ». Cet invariant témoigne d'une connaissance professionnelle concernant les élèves et leur fonctionnement cognitif développée au cours des années de pratique (-1). Le problème Pb01 proposé ensuite est jugé le mieux adapté pour amener l'élève à dégager les propriétés de la symétrie appelées « fondamentales » par le professeur. Ce choix permet d'entrevoir les connaissances mathématiques du professeur concernant la symétrie orthogonale (+2). La sélection des problèmes restants est basée sur un jeu sur les variables didactiques : support (quadrillage, papier blanc), nature du problème (reconnaissance, construction de figures symétriques, construction de l'axe de symétrie), nature de la figure (point, polygone), ce qui témoigne des connaissances didactiques de Prof1 relatives à la symétrie (+2). Finalement, l'investigation au niveau +3 nous permet d'obtenir un aperçu de sa conception d'enseignement/apprentissage dont nous pouvons inférer quelques invariants opératoires qui peuvent se rapporter à une classe de situations plus générale du type « concevoir un projet de séance relatif à un savoir à enseigner » :

- *l'élève n'apprend pas de nouvelle connaissance tant qu'il n'a pas pris conscience de l'insuffisance de ses connaissances anciennes.* Suivant ce principe, les décisions du professeur visent la déstabilisation des connaissances erronées chez l'élève avant d'en dégager de nouvelles ;
- *l'apprentissage doit être progressif et s'inscrire dans la durée.* Nous avons vu en effet que le projet du professeur visait une évolution progressive vers une conception intermédiaire et que ce projet s'inscrivait dans un projet plus global ;
- *l'explicitation de connaissances favorise leur apprentissage.* Le professeur exige à plusieurs reprises de formuler les propriétés ou de rédiger des programmes de construction.

Quant au projet de séance de Prof2, celui-ci débute par un travail « dialogué » sur l'aspect visuel de la symétrie, notamment le sens opposé des figures symétriques. Nous retrouvons ici une règle d'action similaire à celle de Prof1 concernant le développement chez l'élève de moyens de contrôle visuels. Le choix d'un travail « dialogué » s'appuie sur la conception de l'apprentissage/enseignement du professeur qui le mène à ne pas demander à écrire en début de l'apprentissage afin d'éviter qu'une erreur éventuelle ne « *s'incrute dans la tête de l'élève* ». Il s'agit ici d'une règle d'action dont on peut inférer un invariant opératoire du type « un travail à l'oral en début d'apprentissage permet d'éviter les erreurs chez les élèves » (+3). Cette conception a pu également amener Prof2 à supposer que l'élève a « la tête vide » en ce qui concerne la symétrie (« *[...] c'était une enfant qui avait vraiment de très*

⁷ Programmes des collèges. *Mathématiques*. BO Hors série N°5, 9 septembre 2004, p. 5.

⁸ *Ibid.*, p. 14.

grosses difficultés et qu'elle n'a pas du tout assimilé ce qu'était la symétrie. Donc, dans la mesure où il n'y avait plus rien, voire même quelque chose de faux [...] ») et de choisir de « la remplir » rapidement au moyen du problème Pb01 permettant de dégager les propriétés jugées principales par le professeur : sens opposé des figures, orthogonalité et distance à l'axe (+2). Dans le choix des problèmes restants visant à renforcer la nouvelle conception ainsi développée nous pouvons identifier le jeu sur les variables didactiques (+2) : complexité de la figure (point, triangle, polygone à n sommets avec $n > 3$), support (quadrillage, papier blanc), orientation de l'axe de symétrie (horizontale, verticale, oblique). Par ailleurs, Prof2 a organisé son projet en 2 phases : « phase des yeux » autour de problèmes de reconnaissances, puis phase de construction de figures symétriques. Nous retrouvons ici une règle d'action du type « il ne faut pas proposer de problèmes de construction en début de l'apprentissage de la symétrie orthogonale » dont on peut inférer un invariant opératoire « le travail sur des problèmes de reconnaissance permet d'identifier les propriétés de la symétrie à mettre en œuvre dans des problèmes de construction ». A plusieurs reprises, il sembler que les décisions de Prof2 soient influencées également par l'anticipation du déroulement effectif de la séance et notamment de la contrainte temporelle (0) : éviter l'écrit ou encore proposer un problème en devoir à la maison car cela exigerait beaucoup de temps. Enfin les propos de Prof2 recueillis dans son protocole écrit, ainsi que lors de l'entretien, nous permettent d'inférer quelques invariants opératoires se rapportant à une situation générale de projet de séance :

- *si les réponses de l'élève à des problèmes concernant une notion mathématique sont erronées, alors l'élève n'a pas assimilé cette notion et il faut « tout retravailler »*. Le professeur propose en effet un projet de séance s'adressant à un élève au début de l'apprentissage de la notion en jeu ;
- *pour un apprentissage efficace, il faut éviter l'erreur*. En effet, de nombreux choix du professeur ont été faits dans le but d'éviter que l'élève puisse commettre une erreur.

15.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les décisions didactiques des professeurs de collège en situation très particulière de projet de séance autour de la symétrie orthogonale, s'adressant à un élève dont une copie leur a été fournie. Cette étude s'est appuyée d'une part sur le modèle de la situation du professeur qui nous a permis d'analyser les ressources et les connaissances sur lesquelles les professeurs fondaient leurs décisions, et d'autre part sur le modèle cK ϕ nous permettant de décrire les projets de séance des professeurs en terme d'évolution des conceptions de l'élève. Nous avons ensuite essayé de mettre en parallèle le processus de prise de décisions avec le travail documentaire des professeurs, ce qui nous a permis d'identifier l'amorce de schèmes d'utilisation (règles d'actions, invariants opératoires) des ressources, conçues par ces professeurs, que sont leurs projets de séance.

Cette étude montre que le projet de séance mobilise de nombreuses ressources et connaissances professionnelles à tous les niveaux de la situation du professeur. Au niveau +3, c'est notamment la conception de l'enseignement/apprentissage qui semble déterminer les choix fondamentaux du projet tels que prendre en compte ou non les connaissances antérieures, éviter l'erreur ou au contraire la provoquer. Au niveau +2 interviennent notamment les connaissances du domaine des compétences mathématiques (qui se manifestent en particulier dans le choix d'aspects du savoir à enseigner jugés fondamentaux) et du domaine de la didactique pratique (ces connaissances permettent notamment l'identification des difficultés des élèves relevant du savoir à enseigner). Ces connaissances influencent directement les décisions didactiques des professeurs et par conséquent les choix des problèmes. Le niveau 0, contrairement à nos attentes, a eu un impact sur le projet de séance des professeurs dans la mesure où ceux-ci ne pouvaient pas s'empêcher d'anticiper le déroulement effectif de la séance, notamment la gestion du temps. Les connaissances du niveau -1 concernent en particulier les connaissances que les professeurs ont des élèves et de leur fonctionnement cognitif.

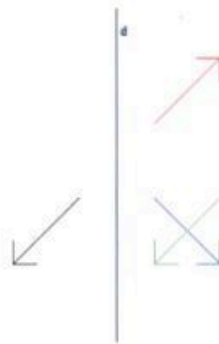
Quant à la copie de l'élève, c'est une ressource essentielle permettant au professeur de prendre des décisions didactiques ciblées à condition qu'il réussisse à la transformer en instrument de construction du projet de séance. C'était le cas de Prof1 qui, en s'appuyant à la fois sur des ressources institutionnelles (programmes) et sur ses connaissances professionnelles, a pu « augmenter » la copie d'un diagnostic de conceptions de l'élève et fonder son projet sur la prise en compte des connaissances antérieures de cet élève, aussi bien correctes qu'erronées. En revanche, le projet de Prof2 est resté à un niveau général et peu adapté aux difficultés de l'élève faute d'une analyse pertinente de la copie.

Références

- Adler, J. (2001). Re-sourcing practice and equity: A dual challenge for mathematics education. In B. Atweh et al. (Eds.) *Sociocultural research in mathematics education: An international perspective*, 185-200, Lawrence Erlbaum Associates.
- Balacheff, N. (1995), Conception, Connaissance et Concept. In *Didactique et technologies cognitives en mathématiques. Séminaires 1994-95*, 219-244. Grenoble : Université J. Fourier.
- Balacheff, N., Margolinas, C. (2005), cK ϕ Modèle de connaissances pour le calcul de situations didactiques. In A. Mercier, C. Margolinas (dir.), *Balises en Didactiques des Mathématiques*, 75-106, Grenoble : La Pensée sauvage.
- Bloch, I. (2006), Peut-on analyser la pertinence des réactions mathématiques des professeurs dans leur classe ? Comment travailler cette pertinence, en formation, dans des situations à dimension didactique ? *Actes du Séminaire National de Didactique des Mathématiques 2005*, 77-114, IREM de Paris 7.
- Brousseau, G. (1998), *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Brousseau, G. (1988), Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques* 9(3), 309-336.
- Comiti, C., Grenier, D., Margolinas, C. (1995), Niveaux de connaissances en jeu lors d'interactions en situation de classe et modélisation de phénomènes didactiques. In G. Arzac et al. (dir.), *Différents types de savoirs et leur articulation*, 93-129, Grenoble : La Pensée sauvage.
- Dessus, P., Maurice, J.-J., Nez, A., Baillé, J. (1993), Éléments d'une modélisation de l'acte d'enseigner : planification et décision. *Premier congrès d'actualité de la recherche en éducation et formation*. Paris : Cnam/AECSE, 25-27 mars.
- Gueudet, G., Trouche, L. (2008), Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. Le cas des mathématiques. *Education et didactique* 2, 7-33.
- Grenier, D. (1988), *Construction et étude du fonctionnement d'un processus d'enseignement sur la symétrie orthogonale en sixième*. Thèse, Université J. Fourier, Grenoble.
- Hart, K. M. (1981), *Children's understanding of mathematics: 11-16*. Alden Press, Oxford, London.
- Lima, I. (2006), *De la modélisation de connaissances des élèves aux décisions didactiques des professeurs : étude didactique dans le cas de la symétrie orthogonale*. Thèse, Université J. Fourier, Grenoble.
- Lima, I., Trgalova, J. (2008), Connaissances des professeurs susceptibles d'influencer leurs décisions didactiques. 2^o *Symposium International de Recherche en Didactique des Mathématiques (SIPEMAT)*, 28 juillet-1 août, Recife (Brésil).
- Margolinas, C. (1993), *De l'importance du vrai et le faux dans la classe de mathématiques*, Grenoble : La Pensée sauvage.
- Margolinas, C. (2002). Situations, milieux, connaissances. Analyse de l'activité du professeur. In J. L. Dorier et al. (dir.) *Actes de la 11e Ecole d'été de didactique des mathématiques*, 141-156, Grenoble : La Pensée sauvage.
- Margolinas, C., Rivière, O. (2005), La préparation de séance : un élément de travail du professeur. *Petit x* 69, 32-57.
- Portugais, J. (1996), Formation des maîtres : des conditions nécessaires et suffisantes à la théorisation des phénomènes de formation. *Repères-IREM* 23, 109-118.
- Shulman, L. S. (1986), Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher* 15(2), 4-14.
- Tahri, S. (1993), *Modélisation de l'interaction didactique: un tuteur hybride sur CABRI-GEOMETRE pour l'analyse de décisions didactiques*. Thèse, Université J. Fourier, Grenoble.

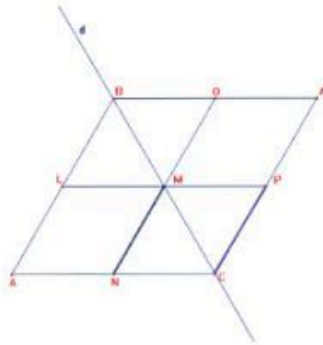
ANNEXE 1. Copie d'élève Anissa

- 1) Quelle est la couleur de la flèche symétrique de la flèche noire par rapport à la droite (d) ? Justifie ta réponse.



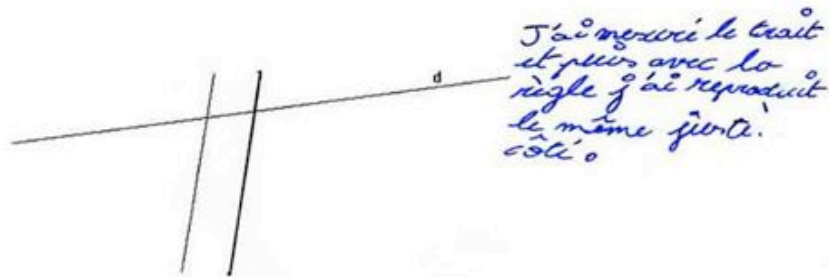
C'est la verte car elle va dans le même sens que la noire et se situe à la même hauteur le trait, les deux flèches seront l'une sur l'autre.

- 2) Soit un triangle équilatéral ABC. Le point A' est le symétrique du point A par rapport à la droite d. L est le milieu du segment [AB], M est le milieu du segment [BC] et N le milieu du segment [AC]. P est l'intersection de la droite (LM) avec la droite (CA') et O est l'intersection de la droite (NM) avec la droite (BA'). Quel est le symétrique du segment [NM] par rapport à la droite d ? Justifie ta réponse.

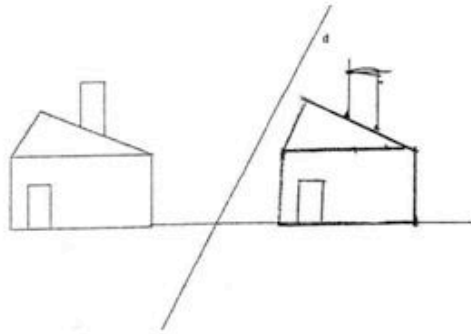


Le symétrique du segment [NM] est [PQ], ça se voit.

3) Avec les instruments usuels construis le symétrique du segment ci-dessous par rapport à la droite d . Explique ta construction.



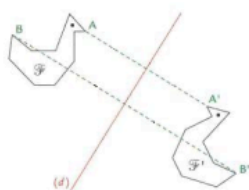
4) Avec les instruments usuels construis le symétrique de la figure ci-dessous par rapport à la droite d . Explique ta construction.



ANNEXE 2. Ensemble de problèmes

Pb 1

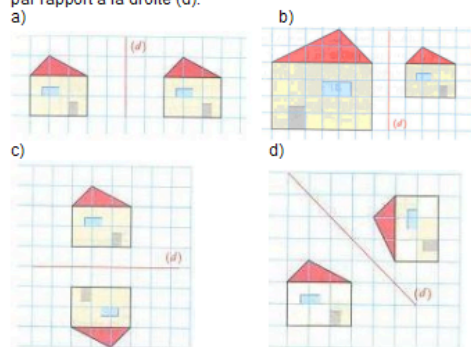
Les figures F et F' sont symétriques (A' est le symétrique de A , B' est le symétrique de B , ...).



- Que peux-tu dire à propos de la droite (d) ?
- Que peux-tu dire à propos des segments $[AA']$ et $[BB']$? (tu peux utiliser l'équerre, la règle graduée ou le compas)

Pb 2

Indique pourquoi les deux maisons ne sont pas symétriques par rapport à la droite (d) .



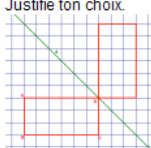
Pb 6

La figure formée par ces deux triangles admet un axe de symétrie. Trace-le avec les instruments de géométrie.



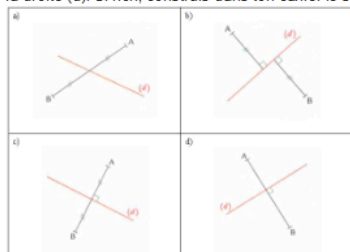
Pb 7

Les deux rectangles ci-dessous sont symétriques par rapport à la droite (d) . Nomme A' , B' , C' , D' les symétriques des sommets correspondants du rectangle $ABCD$. Justifie ton choix.



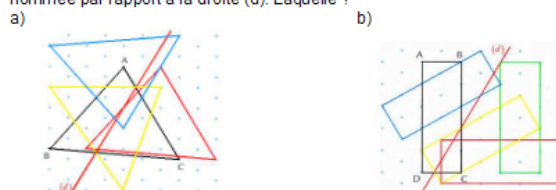
Pb 8

Indique par oui ou non si le point B est le symétrique du point A par rapport à la droite (d) . Si non, construis dans ton cahier le symétrique A' de A .



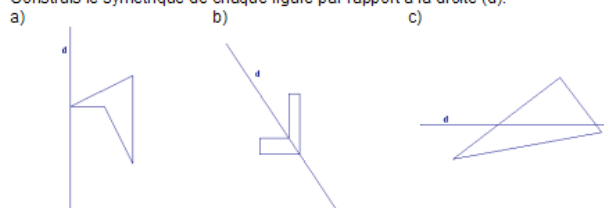
Pb 3

Dans chaque cas, l'une des figures ci-dessous est la symétrique de la figure nommée par rapport à la droite (d) . Laquelle ?



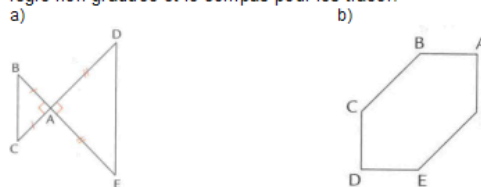
Pb 4

Construis le symétrique de chaque figure par rapport à la droite (d) .



Pb 5

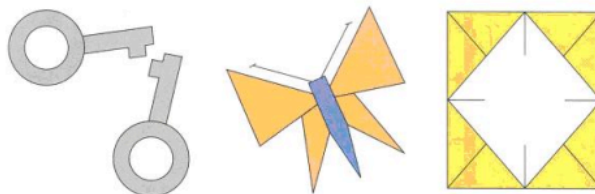
Ces figures admettent-elles des axes de symétrie ? Si oui, utilise la règle non graduée et le compas pour les tracer.



Pb 9

Marjorie a réalisé chacun de ces dessins en utilisant du papier calque qu'elle a plié.

- A ton avis, comment Marjorie a-t-elle procédé ?
- Utilise du papier calque pour retrouver chacune des droites sur lesquelles Marjorie a plié la feuille.



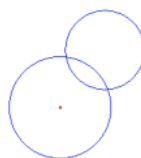
Pb 10

Des élèves jouent dans la cour. Ils partent d'un point D (départ), vont toucher le mur en un point M de leur choix et doivent rejoindre le point A (arrivée) le plus vite possible. On cherche le parcours le plus court.

- Sur une feuille blanche, place les points D et A et trace la droite d (elle représente le mur). Place le symétrique A' du point A par rapport à la droite d .
- Place un point M sur la droite d et compare la longueur des parcours DMA et DMA' .
- Où faudra-t-il placer le point M sur la droite (d) pour que le parcours soit le plus court ? Justifie ton choix.

Pb 11

Trace l'axe de symétrie (d) de cette figure avec les instruments de géométrie. Explique ta construction.



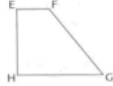
Pb 12

Dans chaque cas, indique si la figure admet un (ou plusieurs) axe(s) de symétrie. Vérifie par pliage et justifie chaque réponse.

a)



b)



c)



Pb 13

Soit un segment $[AB]$, C le cercle de diamètre AB , O son centre, M un point de C , N le symétrique de M par rapport à O . Soit I le milieu de $[MB]$. Montrer que la droite (IO) est l'axe de symétrie du bonnet d'âne $AMBNQ$.

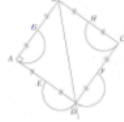
Pb 14

Annie était absente au cours de mathématiques. Son amie Marie lui téléphone pour lui expliquer comment terminer la figure commencée au cours précédent. Elle a déjà construit le carré $ABCD$ et la diagonale (BD) (figure A). Ecrire un programme de construction que Marie communiquerait à Annie pour compléter sa figure comme ci-dessus (Figure B).

Figure A

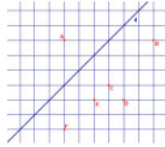


Figure B



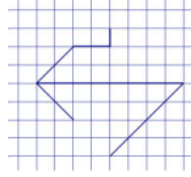
Pb 15

Sur la figure ci-dessous, quel est le symétrique du point A par rapport à la droite (d) ? Explique pourquoi.



Pb 16

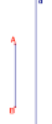
Complète la figure ci-dessous de façon à ce qu'elle possède un axe de symétrie



Pb 17

Dans un seul cas le segment $[A'B']$ n'est pas symétrique du segment $[AB]$. Lequel? Utilise les propriétés de la symétrie que tu connais pour justifier ta réponse.

a)



b)

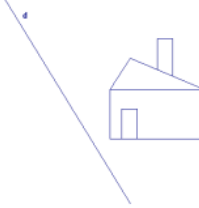


c)



Pb 18

Avec les instruments usuels construis le symétrique de la figure ci-dessous par rapport à la droite d . Explique ta construction.



ANNEXE 3. Analyse des problèmes en termes de variables didactiques

<i>Pb</i>	<i>Nature du problème</i>	<i>Spécificité de la figure</i>	<i>Direction de l'axe</i>	<i>Intersection figure - axe</i>	<i>Support</i>
01	Observation de propriétés des figures symétriques	Figure complexe représentant un objet réel	Oblique	Vide	Papier blanc
02	Reconnaissance de la figure symétrique	Figure complexe représentant un objet réel	Verticale (a, b) Horizontale (c) Oblique (d)	Vide	Quadrillage
03	Reconnaissance de la figure symétrique	Figure géométrique complexe	Oblique	Coupe	Quadrillage
04	Construction de la figure symétrique	Figure géométrique complexe	Verticale (a) Horizontale (c) Oblique (b)	Touche (a) Coupe (b, c)	Papier blanc
05	Reconnaissance et construction d'axe de symétrie	Figure géométrique complexe	Horizontale (a) Oblique (b)	Coupe	Papier blanc
06	Reconnaissance et construction de l'axe de symétrie	Figure géométrique complexe	Oblique	Vide	Papier blanc
07	Reconnaissance de la figure symétrique	Figure géométrique simple (point)	Oblique		Quadrillage
08	Reconnaissance de la figure symétrique	Figure géométrique simple (point)	Oblique		Papier blanc
09	Reconnaissance et construction d'axe de symétrie	Figure complexe représentant un objet réel (fig. 1,2) ou géométrique (fig. 3)	Verticale (fig. 3) Horizontale (fig. 3) Oblique (fig. 1,2,3)	Vide (fig. 1) Coupe (fig. 2,3)	Papier blanc
10	Construction de la figure symétrique	Figure géométrique simple (point)			Papier blanc
11	Construction de l'axe de symétrie	Figure géométrique complexe	Oblique	Coupe	Papier blanc
12	Reconnaissance de l'axe de symétrie	Figure géométrique complexe	Horizontale (c)	Coupe	Papier blanc
13	Preuve mettant en jeu les propriétés de la symétrie				
14	Construction de la figure symétrique	Figure géométrique complexe	Oblique	Vide	Papier blanc
15	Reconnaissance de la figure symétrique	Figure géométrique simple (point)	Oblique		Quadrillage
16	Construction de la figure symétrique	Figure géométrique complexe	Horizontale	Touche	Quadrillage
17	Reconnaissance de la figure symétrique	Figure géométrique simple (segment)	Verticale	Vide	Papier blanc
18	Construction de la figure symétrique	Figure géométrique complexe	Oblique	Vide	Papier blanc

Chap. 16 – Les textes de l'activité mathématique scolaire. Préconstruits et ressources dans la genèse des formes de l'action didactique

Florence Ligozat

Cette contribution se propose d'explorer les liens qui existent entre la manière dont des professeurs d'école primaire organisent leurs pratiques de classe en mathématiques et la structure des documents didactiques qui sont à leur disposition dans un contexte scolaire donné.

16.1 Introduction

L'étude se situe dans le cadre de la théorie de *l'action conjointe* en didactique (TACD) (Sensevy & Mercier 2007, Sensevy Chap. 8, Forest & Mercier Chap. 17, Assude Chap. 18), que nous considérons spécifiée par des formes de savoir socio-culturellement déterminées (Schubauer-Leoni *et al.* 2007). Toutefois, et c'est *la raison d'être de la posture comparatiste* en didactique, l'étude ne vise pas seulement à rendre compte du façonnement du savoir dans les pratiques d'enseignement et d'apprentissage, mais plus largement, du nécessaire rapport dialectique entre les processus de décontextualisation / recontextualisation des œuvres culturelles et les "formes de vie" afférentes dans les institutions où ces œuvres sont amenées à diffuser. Ces deux mouvements solidaires sont au fondement des *faits didactiques*, qui sont ici considérés comme les émergents d'une activité humaine gouvernée par une finalité de modification de la connaissance d'une instance enseignée (l'élève). Dans le cadre du comparatisme en didactique, les premiers travaux qui ont contribué à construire un modèle générique de l'action didactique du professeur et des élèves, se sont d'abord centrés sur l'analyse des transactions didactiques en classe. Il s'agissait de décrire les conditions d'émergence des rapports au savoir établis par le collectif que forment les élèves et le professeur, au risque de découvrir que ces rapports ont souvent une faible densité épistémique (Schubauer-Leoni *et al.* 2007, Ligozat & Leutenegger 2008). Mes travaux récents m'ont amenée à élargir la focale centrée sur les interactions didactiques *in situ*, et modélisées en TACD par les concepts de *contrat didactique*, *mesogenèse*, *topogenèse* et *chronogenèse*¹, pour saisir les niveaux de détermination (Chevallard & Cirade Chap. 2) qui président à la construction du *projet d'enseignement* par les professeurs, à l'échelle d'une année scolaire (Ligozat 2008). J'utilise une double démarche interprétative qui croise les faits observés dans le cours de l'action et leur reconstruction éventuelle dans les discours du professeur d'une part, et l'analyse des textes institutionnels cristallisant des préconstruits épistémiques et idéologiques forgés dans les sphères de la recherche éducative, à différentes époques, d'autre part. Ces préconstruits alimentent des styles de pensée tels que définis par Sensevy (Chap. 8), à la suite de Fleck. Je propose de (re)questionner le rôle des documents qui sont à la disposition des sujets d'une institution donnée (programmes, documents d'accompagnement, méthodologie d'enseignement) comme participant à la *morphogenèse de l'action didactique*; une partie de l'agir observé en classe étant d'abord et toujours projetée dans le travail de préparation du professeur. Cette démarche se situe dans un paradigme socio-interactionniste de compréhension du didactique, dont je fais l'hypothèse qu'elle est compatible avec d'autres élaborations en cours dans le cadre de la TACD. L'étude du projet d'enseignement est actuellement un objet "sensible" dans les recherches en didactique, comme en témoignent les travaux de Margolinas et Wozniak à travers le développement de la notion d'*œuvre didactique* (Chap. 13) et la caractérisation du *travail documentaire* de l'enseignant par Gueudet et Trouche (Chap. 3).

16.2 Du "texte du savoir" aux mises en forme discursives de l'agir didactique

Dans le contexte francophone, les didactiques disciplinaires se distinguent par une tradition d'étude de l'organisation des savoirs scolaires en référence à des pratiques culturelles externes, qu'elles soient de type "pratiques savantes" dans une province de connaissances académiquement reconnue (cas des mathématiques) ou d'une façon plus générale, du type "pratiques expertes" relevant de différentes sphères d'activités sociales. Cette tradition trouve son origine dans le concept de *transposition didactique* mis en avant par Chevallard (1985/1991) pour théoriser les conditions

¹ Rappelons que la mesogenèse décrit la dynamique des rapports établis par les élèves et le professeur aux objets physiques, symboliques et/ou langagiers qui figurent dans la situation. La chronogenèse décrit la dynamique des objets promus par le professeur sur l'axe du temps, en fonction d'un enjeu de savoir à atteindre. La topogenèse décrit la dynamique des responsabilités que se partagent le professeur et les élèves dans l'émergence des différents rapports aux objets de la situation. On trouve la racine de ces concepts chez Chevallard (1985/1991; 1992) et une reformulation substantielle dans la TACD (Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni 2000, Sensevy & Mercier 2007, Ligozat 2008). On pourra aussi se reporter à Assude (Chap. 18).

d'existence des savoirs dans les institutions. Sans m'attarder sur la fécondité de ce concept, je souhaite revenir plus particulièrement sur la question du "texte du savoir" et son articulation dans la dynamique des pratiques de classe, nécessitant un double processus de (re)contextualisation / (re)personnalisation.

16.2.1 Textes et documents : éléments de terminologie

L'étude des textes pour l'enseignement, dans leur *forme écrite* à partir des documents mis à la disposition des enseignants et des élèves par l'institution scolaire, constitue un moyen d'accès privilégié à ce qui est défini comme devant être enseigné et appris, et ce, quelles que soient les disciplines considérées. La notion de *texte* est ici envisagée dans un sens qui s'inspire des travaux de Bronckart (1997) sur les rapports entre les pratiques langagières situées et le système linguistique qui les sous-tend. Selon ce dernier, un texte est une *unité de production verbale*, orale ou écrite, véhiculant un message cohérent (auto-suffisant du point de vue communicationnel), dans une forme langagière socio-historiquement construite. Le texte comporte des régularités de structure² déterminées par le contexte social de production et les finalités *d'adressage* poursuivies par son auteur (à rapprocher de la notion de *mode de destination*, Remillard Chap. 11). Dans le cadre des institutions didactiques, les textes auxquels nous avons affaire comportent généralement des mises en forme discursives et des sémiotisations de pratiques sociales mettant en jeu des savoirs et/ou des savoirs-faire. Le caractère prescriptif /incitatif de ces textes vise une réactualisation de ces pratiques dans l'action conjointe du professeur et des élèves. A ce titre, le texte est supposé être une ressource pour agir, apprendre ou faire apprendre. Dans ce chapitre, le terme de document sera employé pour désigner un artefact qui donne à un texte, une forme stable et communicable par un auteur *in absentia*. Dans un document, le texte peut être associé à des formes de représentations iconiques et/ou symboliques qui contribuent à augmenter le sens. Les documents dont il sera question ici se déclinent selon deux catégories. Les *documents-cadres* regroupent les textes institutionnels généraux, portant sur des manières de faire éducatives et des listes d'items (savoirs, compétences, objectif à évaluer) à destination des enseignants essentiellement (programmes, plan d'étude, documents d'accompagnement). Les *documents-supports* servent d'appui direct au professeur pour traiter d'un type de tâche ou d'un élément de savoir spécifique (guide du maître, méthodologie, canevas de séquence) et /ou sont directement utilisables en classe (fiche d'activités, page de manuel). Un document-support peut bien évidemment être produit par un professeur dans le cadre de son travail documentaire tel que décrit par Guedet et Trouche (Chap. 3), mais dans mon étude, qui concerne des enseignants du primaire, ce cas de figure est rare. Au-delà des spécificités institutionnelles que je vais détailler dans le cas de la Suisse romande, on peut faire l'hypothèse que la polyvalence des enseignants du primaire amène ces derniers à utiliser beaucoup de documents-supports utilisables directement en classe³, ce qui n'exclut pas qu'ils se livrent à une *enquête documentaire* (Assude Chap. 18) pour étayer leur préparation. Dans ce chapitre, documents-cadres et documents-supports sont avant tout des produits institutionnels qui livrent un *texte* à l'usage des professeurs et des élèves.

16.2.2 Le travail de préparation des professeurs

De nombreux travaux didactiques se sont engagés dans l'étude de la transposition dite « externe », c'est-à-dire l'étude des formes de savoir apprêtées dans les textes des programmes et des manuels, en regard des pratiques expertes de la (ou des) discipline(s) de référence. Pour comprendre les tensions qui sont régulièrement observées entre textes officiels et pratiques de classe, les dispositifs de recherche se tournent vers l'étude du travail enseignant et les conditions de réception du curriculum prescrit (Delcambre & Legrand 2009) que ce soit à travers des entretiens ou questionnaires auprès d'enseignants, des entretiens couplés à des observations en classe ou bien des analyses de documents de préparation rédigés par les enseignants. Toutes les recherches qui intègrent des observations de pratiques effectives (et pas seulement les conditions qui seraient faites à ces pratiques à travers les textes) insistent sur la dimension interprétative du travail du professeur par rapport aux documents institutionnels. Les limites de leur normativité se trouvent régulièrement questionnées face à l'amplification de l'interprétation dans les discours des enseignants et /ou formateurs et face aux contraintes qui émergent dans les transactions avec les élèves.

Comment les injonctions didactiques, présentes dans les documents-cadres, se répercutent-elles dans la pratique effective des enseignants? Comment, à partir des documents-supports dont il

² La notion de *genre textuel*, issue des théories soviétiques de l'activité langagière (et plus particulièrement des travaux de Bakhtine et/ou Voloshinov), caractérise les structures textuelles en fonction des nécessités communicatives auxquelles répondent les productions discursives (genre narratif, prescriptif, informatif, injonctif etc.).

³ Notons aussi que les éditeurs scolaires alimentent ces pratiques en proposant de nombreux fichiers directement utilisables par les élèves, ce qui est plus rarement le cas dans l'enseignement secondaire.

dispose, le professeur fait-il vivre des situations d'enseignement / apprentissage dans sa classe? La saisie méthodologique de la strate qui concerne le travail de préparation du professeur reste une affaire délicate car il s'agit d'une dimension de l'activité professorale souvent considérée comme "privée" ou "invisible" puisque d'une part, le travail de préparation des leçons se situe hors de la temporalité des interactions en classe et d'autre part, au niveau des habitudes institutionnelles, les professeurs ne sont pas tenus de procéder à leurs travaux de préparation dans des heures de présence établies, ni sous forme de travail collectif. Quand bien même le chercheur se donne les moyens d'approcher ces moments (Gueudet & Trouche chap.3), il lui faut encore reconstruire les formes de pensée qui sont à l'œuvre dans les processus de personnalisation et (re)contextualisation des documents dits "ressources" pour l'action didactique. La question devient alors : à quelles conditions un texte mis à disposition est-il identifié comme une ressource par le professeur, par rapport aux buts qu'il poursuit ?

Jusqu'ici, les sciences didactiques ont peu étudié les formes d'appropriation et de transformation, par les professeurs, des textes en vue de leur actualisation dans la classe. L'importance des manuels, fichiers, banque d'exercices ou autres (supports électroniques notamment) dans l'orientation des choix effectifs des professeurs reste peu questionnée, comme si leur utilisation relevait d'une logique applicationniste. Les travaux de Coppé (2007) déplorent le fait que les constructions de cours de mathématiques au collège par des professeurs débutants ne semblent reposer *que* sur le "texte du savoir" figé dans les manuels. Les contenus de formations didactiques, le savoir "savant" acquis en formation initiale ne semble pas entrer en jeu pour justifier de l'éclectisme qui se dégage des préparations par des références à plusieurs manuels. Au-delà des problèmes légitimement soulevés, notamment celui de la compatibilité entre les différentes sources utilisées, apparaissent aussi les limites des entretiens d'explicitation comme principal levier pour essayer d'accéder au rapport au savoir des professeurs et aux intentions d'enseignement associées. Si l'on adopte une saisie pragmatiste de l'intention didactique telle que développée par Sensevy (chap. 8), par contraste avec une saisie mentaliste qui cherche à faire dire aux acteurs ce qu'ils ont en tête au moment où ils agissent, c'est dans les observables de l'action elle-même qu'il faut rechercher les systèmes d'intentions, c'est-à-dire les conditions d'apparition des conduites du professeur et les problèmes auxquels ces conduites tentent de répondre. A la suite de Giddens (1997), je considère que la participation du professeur au processus de transposition des savoirs peut être capturée non seulement à travers des éléments de conscience *discursive* (les articulations du savoir dans les discours anticipés ou reconstruits), mais aussi, et peut-être en premier lieu, à travers des éléments de *conscience pratique*⁴, soit les articulations du savoir dans l'action située.

16.2.3 Genèse de l'action didactique conjointe

Le questionnement du travail de préparation pose la nécessité de considérer *les formes d'agentivité* du professeur dans le processus de transposition, au niveau de la construction du jeu didactique. Si l'on accepte que l'activité, au sens de Leontiev, est un format social qui régule les interactions des sujets avec leur environnement (et les artefacts en particulier), *toute forme d'action relève d'un processus interprétatif qui s'opère à partir de l'ensemble des préconstruits collectifs* (Bronckart et al. 2004). Pour ce qui nous occupe, l'activité didactique est spécifiée en ce qu'elle est toujours orientée par une finalité de modifier les connaissances (celles d'autrui ou les siennes propres). Les formes d'actions qui la caractérisent sont à penser (au moins) au niveau des concepteurs de matériaux pour enseigner et au niveau des professeurs et des élèves qui les utilisent. Suivant le point de vue où l'on se place, les buts que les acteurs se donnent ne sont pas les mêmes. Un concepteur rédige des documents qui comportent un *texte possible* pour organiser l'action conjointe du professeur et de l'élève. Le professeur sélectionne un de ces documents pour construire *un dispositif didactique*, soit un texte projeté qui doit se déployer dans le temps (chronogenèse) et qui doit ménager "des choses à faire" du côté de l'élève et du côté du professeur respectivement (topogenèse). A son tour, l'élève confronté à tout ou partie du document (ce peut être une seule consigne donnée oralement ou écrite au tableau) se donne des buts en fonction *des règles du contrat didactique* qu'il identifie (Brousseau 1998), dans le texte de l'action conjointe effective. Le texte du savoir, en tant que forme apprêtée d'éléments de culture sélectionnés, hiérarchisés et chronologisés, vient donc à exister plusieurs fois : dans une forme *figée* au niveau des documents d'une part, et dans une forme *dynamique* propre à la mise en œuvre d'un projet d'enseignement dans la classe d'autre part. Si la

⁴ Dans son *modèle de stratification du soi*, Giddens propose de distinguer conscience discursive et conscience pratique pour comprendre les formes de réflexivité dont les acteurs font preuve dans le cours de l'agir mais dont ils ne font pas forcément état dans leur discours. Ainsi, la réflexivité est d'abord pratique ; l'acteur suit le flux de l'activité dans son contexte physique et social, puis se fabrique une compréhension "théorique" de son action par rapport à celles des autres (à quelles intentions ce faire correspond-il ?), et se dote enfin d'une motivation en tant que fondement de l'activité. Cette approche prend en compte les reconnaissances de forme et les buts que les acteurs se donnent dans la temporalité même de l'agir.

fonction *d'incitation à l'action* est commune à ces différentes strates, des systèmes d'intentions et de buts sont toujours redéfinis au niveau de chaque instance (concepteur, professeur, élève), contribuant ainsi au double processus de (re)contextualisation / (re)personnalisation du texte du savoir.

Le concept de "texte", en tant que mode de sémiotisation de pratiques sociales, permet de penser la *genèse des formes de l'action didactique* selon différentes strates. Qu'il soit écrit ou oral, le texte émane toujours d'un processus interprétatif de la part de personnes dotées de capacités, au sens d'un pouvoir d'agir dans le monde qu'elles s'attribuent par internalisation des évaluations sociales externes (Bronckart *et al.* 2004, à la suite de Habermas), de buts et d'intentions. Les documents-soutiens de l'activité didactique peuvent comporter des consignes ou questions plus ou moins directement posées, préconiser des objets à utiliser, dévoiler des procédures possibles etc. Mais ils ne peuvent générer des situations d'apprentissage que sous le couvert d'un projet porté par le professeur. Car, dans tous les cas, l'élève n'en vient à se confronter à telle ou telle fiche, page du manuel, logiciel ou simple consigne écrite au tableau noir, que parce que le professeur a opéré certains choix au préalable, même minimes, au sein des documents présents dans son environnement professionnel. La notion de *projet d'enseignement* permet de comprendre l'actualisation des ressources textuelles à la disposition du professeur dans des conditions ordinaires. Considérer plusieurs *strates de textes* (écrits et oraux) dans lesquelles de l'action didactique est mise en forme à propos d'un même enjeu doit permettre d'identifier les préconstruits (ou modèles d'action collective) qui *préfigurent* les pratiques professorales, tout en pointant les formes d'agentivité exercées conjointement par les acteurs du système didactique, dans le mouvement de *refiguration*⁵ de ces modèles. Ainsi, le projet d'enseignement est une unité d'analyse construite par le chercheur à la croisée des préconstruits recensés dans les documents didactiques institutionnels, dans la chronique de l'agir conjoint en classe (à l'intérieur d'une séance ou entre plusieurs séances) et dans les discours que le professeur tient pour décrire ses conduites.

16.3 Les documents-soutiens de l'activité didactique et leur devenir dans le projet d'enseignement : étude de cas en Suisse romande

Les documents didactiques principalement utilisés par deux enseignantes, observées respectivement dans les cantons de Genève et de Vaud, sont issus d'un choix collectif fait à l'échelle de la Suisse romande⁶ par la Conférence des Directeurs cantonaux de l'Instruction Publique (CDIP). D'une part, il existe un *Plan d'Etude Romand* qui définit un ensemble de notions et de compétences à acquérir pour les mathématiques (grade 1-6) et d'autre part, une commission inter-cantonale est chargée d'élaborer des *Moyens d'Enseignement pour les Mathématiques qui sont les ressources officielles pour l'enseignant suisse-romand* ; à ce titre, ces documents sont censés prolonger jusque dans la classe, la définition des savoirs à enseigner au niveau du Plan d'Etude. Leur usage est fortement préconisé par l'institution. Les professeurs peuvent procéder à des substitutions ou des compléments en utilisant d'autres sources, mais l'essentiel de leur projet d'enseignement en mathématique doit se fonder sur la "méthodologie" (terme consacré) officielle. Toutefois, chaque canton reste libre d'organiser son système scolaire comme il l'entend (hiérarchie, taille des groupes scolaires, type d'évaluation, transition primaire – secondaire, filières plus ou moins sélectives) et peut notamment redéfinir plus précisément certains objectifs en relation avec les évaluations pratiquées à l'échelle cantonale (par exemple : Objectifs pour l'Ecole Genevoise ; Plan d'Etude Vaudois).

16.3.1 Préconstruits épistémiques et pédagogiques

L'ensemble des textes des Plans d'Etudes et des divers éléments des Moyens d'Enseignement est supposé constituer un *système de ressources* (Gueudet & Trouche Chap. 3) pour l'enseignant. Le *Plan d'étude* dresse une liste de notions et compétences à acquérir (ou en cours d'acquisition) à certains degrés ; les *Commentaires didactiques* donnent une description des théories de l'apprentissage pour les mathématiques et des choix didactiques privilégiés par l'institution pour aborder certaines notions, ainsi qu'un condensé de "savoir savant" sur chaque thème. Les *Moyens d'enseignement* proposent des documents-soutiens pour la classe ainsi que des conseils de mise en œuvre. Pour illustrer les liens organiques entre les éléments de ce système, j'utilise ci-après le thème de la mesure comme plan de coupe.

⁵ La "figuration" de l'agir humain dans les textes est une préoccupation centrale de l'approche interactionniste socio-discursive développée par Bronckart et ses collaborateurs (voir notamment Bronckart & Bulea 2006). En particulier, les notions de refiguration / refiguration empruntées au cercle herméneutique de Ricœur (1983), y sont étendues à toute sorte de textes et pas seulement au genre narratif.

⁶ Cela regroupe les cantons francophones, c'est à dire Genève, Vaud, Valais, Neuchâtel, Jura, Berne (en partie) auxquels s'ajoute le Tessin, moyennant une version italienne. Ce schéma, que je décris ici pour les mathématiques, existe aussi d'autres disciplines scolaires.

Si l'on considère le fichier-guide du maître pour la 4^{ème} année primaire, on constate qu'il est structuré selon des modules thématiques. A l'intérieur d'un module, deux ou trois "champs" catégorisent une vingtaine de fiches d'activité. Par exemple, pour le module 7 "*Problèmes pour mesurer*", on trouve : *Champ A - Imaginer et utiliser diverses techniques de mesurage* et *Champ B - Connaître et utiliser des unités conventionnelles*. La définition des champs est explicitement reliée aux compétences définies dans le Plan d'Etude pour le domaine "Nombres réels et mesure" (CDIP / SR+ TI 1997).

Chaque fiche introduit *un problème*, dont la résolution permet, en principe, d'acquérir une connaissance mathématique nouvelle ou de développer des compétences de résolution de problème. Dans un module donné, les fiches sont classées par ordre alphabétique, en fonction des noms des problèmes. Ces noms sont souvent liés à une pratique courante ou ludique (A Pas de Fourmi, Remplissage, Le Bon Mètre etc.). Selon les concepteurs, les fiches ne sont pas à traiter dans l'ordre où elles sont rangées, de même qu'ils recommandent de ne pas travailler un module après l'autre systématiquement.

"Il convient d'organiser l'enseignement et les apprentissages par champs. Il est en principe utile de travailler chaque champ pour atteindre tous les objectifs du degré. (...) Les activités étant classées par ordre alphabétique, il ne faut pas y voir de hiérarchie ni de succession privilégiée dans le temps. Chaque champ offre une gamme d'activités variable permettant en principe d'introduire ce champ à n'importe quel moment de l'année. C'est pourquoi il n'existe pas de règle précisant l'ordre dans lequel les champs doivent être proposés aux élèves. (...) Il est conseillé de travailler divers champs simultanément (même leçon ou même semaine) afin d'éviter que les élèves se forgent des habitudes stéréotypées liées au travail exclusif dans un module (...)." (Danalet, Dumas, Studer & Villars-Kneubühler / COROME 1999, pp302-303 –Mathématiques, 4^{ème} année, Fichier du maître)

Dans ces conditions, il n'existe pas de séquentialisation, ni de hiérarchisation parmi les documents-supports de l'activité didactique. La méthodologie est faiblement structurée, de façon délibérée. Toutefois, comme en témoignent les accumulations de formes infinitives et impersonnelles disant ce qui doit être fait ou pas, un certain *travail documentaire* (au sens de Gueudet & Trouche chap. 3) est attendu par l'institution. Ce travail revient au professeur, bien que l'on puisse constater que cette instance ne soit pas explicitement nommée. Il consiste en la construction d'un parcours sélectif et cohérent parmi les différents problèmes mis à disposition dans le système de ressources, plutôt qu'en la construction de documents pour la classe⁷. Toutefois, l'approche textuelle de l'action didactique que j'adopte me conduit à considérer que les échanges verbaux observés en classe à partir d'un document-support fourni par l'institution scolaire constituent un texte coproduit par le professeur et les élèves, texte dont la trame générale est sous le contrôle du professeur. Ainsi, la genèse documentaire qui conduit à la production de documents pour enseigner peut-être vue comme un cas spécifique de genèse textuelle au sein du double processus de recontextualisation / repersonnalisation.

L'étude approfondie des textes-cadres pour l'enseignement des mathématiques en Suisse romande montre qu'ils cristallisent au moins deux catégories de préconstruits :

1) les *préconstruits d'ordre épistémique* : ils concernent la description des enjeux de savoir et comment on vient à les apprendre. Globalement, la fonction "mesure" doit être comprise comme une dialectique entre objets et nombres, dialectique qui s'exerce dans le contexte de pratiques socioculturelles. La conceptualisation des grandeurs comme classe d'équivalence sur les objets est évoquée comme principe sous-jacent mais en fait, l'analyse des enjeux dans les documents-supports pour la classe montre que l'accent est mis sur le rôle des unités et changements d'unités (système non conventionnel, système métrique) dans les techniques de mesurage. Les compétences dans le Plan d'Etudes sont très clairement définies en référence aux nécessités de la vie courante (calculer des trajets, convertir des mesures dans différentes unités usuelles, estimer des grandeurs etc.). Néanmoins, ces compétences sont très larges; elles définissent des catégories d'activités (organiser un mesurage, estimer des grandeurs, utiliser des unités conventionnelles de longueur, aire, volume, angles etc.), mais les savoirs sur lesquelles elles reposent ne sont pas explicités. Ces savoirs devront être recherchés au cœur même des fiches de la méthodologie.

2) les *préconstruits d'ordre pédagogique* : ils concernent les manières de faire du professeur, qu'elles soient explicitement prescrites ("il ne faut pas voir de hiérarchie", "il est conseillé de travailler plusieurs champs simultanément") ou implicitement présentes dans la structure et les liens entre les textes. Par exemple, le fait que les concepteurs précisent que "le travail de chaque champ de la méthodologie permet d'atteindre les objectifs" dispense le professeur (d'une certaine façon) de remonter à ces objectifs pour organiser sa pratique. Sélectionner quelques fiches dans chaque champ, et pour tous

⁷ Par rapport à la terminologie proposée par Margolinas et Wozniak (Chap. 13), on est ici dans un cas où le document générateur du projet d'enseignement fait aussi office de document principal pour travailler avec les élèves.

les modules, est déjà un geste professionnel adéquat en soi. De plus, le caractère officiel des Moyens d'Enseignement fait que toutes les fiches sont potentiellement aptes à enseigner les contenus de savoir ciblés par l'institution scolaire. L'absence de hiérarchie et de séquençage entre les supports didactiques peut laisser penser que quelle que soit leur organisation temporelle, les liens conceptuels entre les activités mathématiques sont du ressort de l'élève exclusivement. En somme, le statut institutionnel de ce système de ressources parle déjà à la pratique du professeur, même là où rien n'est dit, par le jeu des significations associées à la structure du système de ressource. De manière plus explicite, cette catégorie de préconstruits (les manières de faire du professeur) se fonde sur des théories de l'apprentissage qui sont décrites dans les Commentaires Didactiques comme relevant d'une approche socioconstructiviste⁸. Une dizaine de pages sont consacrées à décrire :

- les modèles de l'apprentissage sous-jacents à l'élaboration des documents-supports pour la classe; à savoir que la connaissance est d'abord le rapport d'un sujet individuel à un ensemble de contraintes et fait ensuite l'objet d'une socialisation dans les interactions entre pairs ou avec le maître ;
- les conséquences normatives de ces modèles au niveau des gestes d'enseignement; à savoir que l'action et le raisonnement de l'élève doivent primer sur les interventions du professeur, qui laisse du temps pour expérimenter diverses solutions et s'abstient d'indiquer la "bonne" marche à suivre.

Je fais l'hypothèse que ces préconstruits, dont je n'ai donné ici qu'un bref aperçu, nourrissent un style de pensée (Sensevy chap. 8) pour l'enseignement des mathématiques, au niveau du collectif des enseignants suisse-romands. Ce style de pensée est aussi alimenté par d'autres sources textuelles qui peuvent être plus spécifiques à chaque canton tels que les discours tenus dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants. Les normes de ce style de pensée façonnent le projet d'enseignement et donc le cours de l'action didactique dans la classe.

16.3.2 Un exemple type de document-support dans les Moyens d'Enseignement romands pour les Mathématiques : cas de la fiche "Encadrement"

Ci-après, l'exemple de la fiche "Encadrement" (annexe 1) est choisi comme révélateur des projets d'enseignement de nos deux enseignantes respectivement vaudoise (Claudia) et genevoise (Clarisse). Il se trouve qu'elles ont toutes deux choisi ce document de leur propre chef, dans le cours de l'année où nous les observions.

Le document "Encadrement"

Ce document est extrait du Fichier du maître, Module 7 "Des problèmes pour mesurer", Champ B : "Connaître et utiliser des unités conventionnelles". Dans l'introduction du module, le problème "Encadrement" est présenté comme "une occasion de mesurer des longueurs qui exigent des reports du mesurant, des additions de mesures de longueurs, l'utilisation des instruments de mesure conventionnels, en général la règle graduée." (Danalet et al. / COROME 1999, p. 273 –Fichier du maître). Le document se compose de deux parties : un encadré au centre présente le matériel ou document destiné à l'élève tandis que le texte qui figure autour est destiné au professeur. On a affaire à un emboîtement de textes, celui de l'élève faisant partie intégrante de celui du professeur, ce qui préfigure déjà la posture topogénétique haute du professeur dans la dynamique du texte du savoir à co-construire. Le professeur détient des éléments de discours qui vont au-delà de celui qui est tenu à l'élève pour définir son enquête, ce qui donne, à ce même professeur, le pouvoir de connaître et de façonner le futur de l'élève dans l'action conjointe *in situ*. En quoi ces deux niveaux de texte diffèrent-ils dans ce document ?

- du côté de l'élève : très concrètement, la consigne est de *fabriquer un cadre d'1 cm d'épaisseur pour un tableau* représenté sur la fiche. Certains principes techniques sont précisés tels que "toucher exactement le bord du tableau" et "ne pas superposer". D'autres contraintes sont posées telles que commander par écrit la longueur totale de bande nécessaire. La commande doit être exacte de manière à ce qu'après découpage et collage, il n'y ait aucun reste. Aucune mesure n'est donnée, ce qui sous-entend que des actions de mesurage sont à la charge de l'élève (les mesures des deux côtés du rectangle sont respectivement de 15,5 cm et 11 cm) ;

- du côté du professeur : l'enjeu de la consigne est décrit en termes de tâche. Selon les auteurs, il s'agit de *mesurer quatre segments et additionner leurs longueurs*". Des contraintes apparaissent aussi dans la gestion de l'activité par le professeur, telles que montrer la bande mais ne pas permettre des essais (attente d'anticipation de la part de l'élève), ne pas commenter la longueur de bande

⁸ Il n'est pas question ici de rentrer dans une caractérisation des multiples sens que peut recouvrir ce concept du point de vue de la recherche en éducation mathématique (Goldin 2003). Retenons simplement que, dans le discours noosphérique suisse-romand, le terme est emblématique d'un courant pédagogique qui pose l'élève comme l'acteur principal de la construction de ses connaissances et définit l'enseignant comme un pourvoyeur de bonnes situations avec un rôle de socialisation des connaissances construites individuellement, à l'issue de l'action des élèves (Schubauer-Leoni & Leutenegger 2009).

commandée (laisser l'élève se tromper éventuellement). Des possibilités sont évoquées telles qu'organiser une confrontation des erreurs, proposer un prolongement avec une bande plus épaisse (2 cm). L'une des trois sources d'erreurs possibles (non prise en compte de la largeur de la bande) dévoile *un implicite majeur* dans la définition de la tâche : la réalisation du cadre du tableau doit se faire selon les normes sociales en vigueur dans la vie quotidienne, c'est-à-dire que généralement, le cadre est une forme continue tout autour du tableau. Les nécessités mathématiques qui en découlent sont subordonnées à la reconnaissance de cette convention, comme pertinente dans le contrat didactique. En effet, le cadre est doté d'un périmètre intérieur (P_i) et d'un périmètre extérieur (P_e) qui délimitent tous deux une aire. La seule mesure du périmètre intérieur, égale au périmètre du tableau (P_T), ne permet pas de fabriquer un cadre continu, *contrairement à ce que peut laisser penser la description de la tâche dans le texte du professeur* (mesurer quatre segments et additionner leurs longueurs). La mesure de la longueur de bande (L_b) du cadre est dépendante de la largeur choisie (l_b). Cette dépendance peut être modélisée par une fonction affine qui peut se résumer par la formule suivante : $L_b = 4.l_b + P_T$.

En même temps que les rôles du professeur et de l'élève sont définis par rapport aux variables d'une situation, cette définition se fait selon *un format qui préfigure l'organisation dans la relation didactique*. Le professeur pourvoit un environnement essentiellement matériel (la fiche élève avec l'image et la consigne, les bandes de papier) et social (organisation de classe, en groupe de deux élèves, puis mise en commun) dans lequel l'élève est censé être l'acteur principal des essais (l'enseignant coupe les bandes...sans faire de commentaires) et de l'identification de ses erreurs, et plus implicitement, de leur régulation (rien n'est dit à ce sujet dans le texte du professeur au niveau de la mise en commun) à partir de certaines rétroactions provenant des objets (en l'occurrence, si l'élève commande une longueur de bande égale au périmètre du rectangle, le cadre obtenu n'est pas continu, voir figure 1). La définition de l'activité comporte des préconstruits pédagogiques du type de ceux que nous avons déjà identifiés dans les Commentaires Didactiques et qui constituent des règles d'action pour le professeur. Toutefois, un certain nombre d'implicites subsistent par rapport aux savoirs en jeu qui doivent faire l'objet d'un enseignement. Quel est le rôle de la prolongation proposée ("reprenez le problème avec des bandes de 1 cm")? S'agit-il de reprendre exactement le problème en tâtonnant pour chercher la longueur de bande nécessaire, ou bien peut-on faire l'économie du "faire" en utilisant une technique plus rapide? Si oui, à quelles conditions accède-t-on à cette technique? En réalité, *le modèle épistémique général auquel obéit la longueur de la bande d'encadrement, en fonction de sa largeur, pour un rectangle donné, n'est pas immédiatement disponible pour celui qui doit gérer l'avancement du savoir. Pas plus que ne sont suggérés les moyens sémiotiques (mises en formes discursives et symboliques) pour pratiquer cette modélisation* (ceci renvoie aux ressources manquantes, Chevallard & Cirade Chap. 2). Finalement, le professeur est placé dans la situation de (re)construire un enjeu d'enseignement mathématique, à partir d'un problème fondé dans la vie quotidienne.

Pour comprendre le double processus de recontextualisation / repersonnalisation de ce texte, je privilégie, ici, un point d'entrée dans la reconstruction du projet d'enseignement qui consiste à établir *la chronique des événements* qui se sont produits dans chacune des deux classes observées. Le grain de description est d'ordre mésoscopique (au sens de Malkoun & Tiberghien 2008), c'est-à-dire qu'il s'appuie sur les *phases* de la répartition des tâches (structure topogénétique) et sur la nature des principaux *thèmes* abordés et /ou institués (structure chronogénétique) sur la durée l'unité d'enseignement qui correspond au document ciblé (une ou deux séances). Contrairement à une saisie microscopique qui prend en charge des épisodes d'interactions verbales professeur/élève(s) ou élève(s)/élève(s) de l'ordre de quelques minutes, je considère que la trame d'action d'échelle mésoscopique est essentiellement sous la responsabilité du professeur, au sens où elle *peut* faire l'objet d'une planification à l'avance, ou tout au moins, elle résulte d'un ensemble de décisions prises par ce dernier, y compris dans le cours de l'action.

L'investissement du document "Encadrement" : deux trames d'action distinctes

Sur la base des chroniques⁹, des différences significatives d'intentions d'enseignement peuvent être attribuées à chacune des enseignantes. Je considère tout d'abord *les modifications qui ont été introduites*, par rapport au texte du professeur qui figure dans le document-support. Claudia confie la responsabilité de mesurer et découper les bandes aux élèves (elle passe beaucoup de temps à questionner et commenter les gestes de mesurages), tandis que Clarisse insiste sur la contrainte de passer commande par écrit et précise qu'elle attend un calcul (les élèves qui viennent sans calcul sont

⁹ Pour des questions de place, il ne m'est pas possible de présenter ici ces chroniques, réalisées sur la base des transcriptions des discours oraux. L'analyse des projets d'enseignement de Clarisse et Claudia est reprise dans Ligozat (en préparation).

renvoyés à leur recherche). Ces contraintes-là ne figurent pas dans le document et témoignent d'intérêts différents, que l'on va cerner de mieux en mieux *dans le tempo de l'action*. Claudia laisse beaucoup de temps aux élèves (55min environ) pour qu'ils trouvent la longueur de bande adéquate par eux-mêmes alors que Clarisse est pro-active dans le pointage des erreurs (exemples en figure 1).



Figure 1. Production type des élèves lors du 1^{er} essai

Clarisse va au devant des groupes, n'hésite pas à suggérer de mesurer les "vides" sur le premier essai d'encadrement non satisfaisant, impose une synthèse intermédiaire qui clarifie le "piège" du calcul du périmètre pour tous au bout de 20 mn de recherche. Clarisse impose un rythme plus rapide (Assude Chap. 18) grâce à deux synthèses collectives et aux prolongements qui sont manifestement prévus comme parties intégrantes de la leçon. Elle a préparé un autre lot de bandes de largeur 2,5 cm, des feuilles quadrillées et même des bandes de largeur 3,2 cm pour ceux qui voudraient réaliser le cadre dans un travail individuel ultérieur. Chez Claudia, le temps très long laissé à la recherche des élèves est aussi lié aux contraintes d'un autre problème qui est travaillé en parallèle (fiche "D'un Bon Pied", Livre du Maître, p. 296). Par exemple, il faut que tous les groupes aient pu construire une bande de 6 pieds de long par les moyens de leur choix, ce qui se fait à tour de rôle, dans le couloir.

Si l'on regarde *les gestes d'institution* dans les phases collectives, Clarisse passe beaucoup de temps sur la somme de mesures décimales et les techniques opératoires afférentes. Après un premier essai avec une bande de largeur 1 cm, elle introduit rapidement des bandes de largeur non entière (2,5 cm, puis 3,2 cm). Trois techniques sont ainsi détaillées, correspondant à trois manières de faire pour créer un cadre continu à partir du périmètre (figure 2) :

Solution A : On réalise une extension des largeurs : $11\text{ cm} + 2,5\text{ cm} = 13,5\text{ cm}$ puis $13,5\text{ cm} + 2,5\text{ cm} = 16\text{ cm}$, puis on calcule la longueur de bande totale : $16\text{ cm} + 16\text{ cm} = 32\text{ cm}$, puis $15,5\text{ cm} + 15,5\text{ cm} = 31\text{ cm}$, puis $32\text{ cm} + 31\text{ cm} = 63\text{ cm}$.

Solution B : On part du périmètre du tableau $P_T = 53\text{ cm}$. On ajoute 4 longueurs correspondants aux "coins" qui manquent : 4 fois 2,5 cm, c'est équivalent à $2,5\text{ cm} + 2,5\text{ cm} + 2,5\text{ cm} + 2,5\text{ cm} = 10\text{ cm}$, puis on fait la somme $10\text{ cm} + 53\text{ cm} = 63\text{ cm}$.

Solution C : On pratique une extension sur chaque longueur et largeur du cadre : $11\text{ cm} + 2,5\text{ cm} = 13,5\text{ cm}$, puis $15,5\text{ cm} + 2,5\text{ cm} = 18\text{ cm}$, puis on fait la somme de toutes les longueurs étendues : $15,5\text{ cm} + 13,5\text{ cm} + 18\text{ cm} + 18\text{ cm} = 63\text{ cm}$.



Figure 2. Pour chaque cas, Clarisse fait un dessin en montrant les extensions de bandes qui correspondent aux opérations

En revanche, chez Claudia, l'essentiel de la leçon reste consacré à la recherche de la longueur de bande de largeur 1cm. Une grande attention est accordée à la technique du mesurage des bandes de papier tandis que le calcul du périmètre et l'ajout des 4 cm qui manquent sont élucidés oralement. Le prolongement (largeur de bande à 2cm) ne semble pas être un enjeu majeur vu le peu de temps qui

lui est consacré (7 min à la fin de la séance) et vu que Claudia se satisfait du fait que seulement trois ou quatre élèves sachent répondre.

Caractérisation des préconstruits et formes d'agentivité dans les projets d'enseignement

En tout état de cause, dans ces deux projets d'enseignement, on peut dire que dans l'un et l'autre cas, l'enjeu de la *généralisation du calcul applicable à toute largeur de bande* n'est pas investi comme tel. Tenir compte des "quatre carrés" supplémentaires reste un savoir-faire intuitif intimement lié à la pratique courante, qui n'est pas formalisé.

Dans la pratique de Claudia, laisser du temps aux élèves pour la recherche de solutions "par eux-mêmes", donner la priorité à l'action et à la réussite de la tâche par le plus grand nombre, avec le moins d'interventions possibles de la part de l'enseignante fait partie des préconstruits pédagogiques que nous avons identifiés dans les documents-cadres des Moyens d'Enseignement, de même que la mise en œuvre de plusieurs activités en parallèle relevant de champs ou modules différents de la méthodologie. Du point de vue des contenus, l'association dans une même séance des problèmes "Encadrement" et "D'un Bon pied" reflète l'exigence épistémique de travailler les techniques du mesurage avec des unités conventionnelles et non-conventionnelles. Mais, sur le plan de la structure du projet d'enseignement cette association tend à diluer les enjeux de savoir possibles en ralentissant le tempo de l'action conjointe.

Chez Clarisse, l'enjeu de la maîtrise de la technique des sommes de mesures décimales est si fort qu'il renvoie au second plan la possibilité même de généraliser la relation entre la largeur de bande donnée et la largeur à commander. En effet, les trois possibilités de calcul mises en évidence n'ont pas la même *valeur épistémique*, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas équivalentes pour amorcer le processus de modélisation (la solution B est une mise en forme sémiotique des opérations sur les longueurs qui rend la généralisation plus accessible). Les préconstruits pédagogiques que nous identifions dans la pratique de Claudia semblent moins prégnants dans celle de Clarisse, à l'occasion de cette activité. Pourtant, ce type de préconstruit apparaît aussi chez Clarisse, dans d'autres séances. A la lumière de cet élément, le document "Encadrement" prend alors un statut spécifique dans le macro-projet d'enseignement de Clarisse, à l'échelle de l'année et du thème de la mesure. A quoi peut-on attribuer la directivité "exceptionnelle" dont Clarisse fait preuve au cours de cette séance? Au cours des séances précédentes (ateliers de mesurage de longueurs, masses, capacités, temps, aire), dans les situations où des mesures étaient exprimées par des nombres décimaux, les élèves avaient des difficultés à opérer sur ces nombres pour résoudre les problèmes qui leur étaient posés. Typiquement, ils additionnaient les parties entières d'une part, les parties décimales d'autre part. Cet élément d'information, qui sort de la temporalité stricte de la séance, permet de reconfigurer les décisions de Clarisse dans la biographie de son expérience. On accède ainsi des formes d'agentivité dans le choix des supports didactiques, qui se jouent au niveau de la conscience pratique des problèmes posés à l'enseignement. Dans le projet d'enseignement de Clarisse, le document "Encadrement" a été vu comme une *ressource* pour enseigner une technique qui faisait défaut et non comme un moyen de pratiquer une modélisation mathématique.

Dans le cas de Claudia, le document "Encadrement" fait partie des fiches planifiées au niveau du groupe scolaire pour la 4^{ème} année de primaire. Dans un entretien post séance, Claudia indique que la technique de mesurage à la règle graduée est un objectif à atteindre pour les épreuves communes de mathématiques (grade 4) dans l'établissement. En sus, selon elle, l'activité lui a permis de déterminer quels sont les élèves capables de "découvrir la petite formule qu'il y a derrière" tout en respectant les exigences de "différenciation pédagogique" en vigueur. La modélisation n'est donc pas attendue pour tous les élèves. Ces éléments témoignent d'une conscience discursive des exigences institutionnelles dans lesquelles Claudia est prise, mais aussi des formes d'agentivité qu'elle met en œuvre pour les composer, avec plus ou moins d'efficacité en termes de densité épistémique produite dans l'action conjointe.

16.4 Conclusion

Ce type d'analyse m'engage à considérer la notion de ressource comme d'abord constitutive d'une pratique, et non comme la caractéristique qu'un texte aurait *a priori* pour les acteurs dans une vision fonctionnaliste. A la lumière de ces différents éléments à l'œuvre dans les deux projets d'enseignement distincts, il est clair que *les situations didactiques qu'un document support peut générer sont dépendantes de la manière dont le texte est investi par le professeur, avec les buts et intentions qu'il y reconnaît*. Cette reconnaissance est à la fois tributaire des préconstruits épistémiques et pédagogiques contenus dans les textes des documents cadres et supports (modèle de l'apprentissage, normes sociales liées à l'habillage de la tâche, nécessités mathématiques et objets

d'enseignement possibles) mais aussi de la dimension processuelle du projet d'enseignement, dont la dynamique dépend en partie de situations biographiquement déterminées au niveau des actants, et du professeur en particulier. Dès lors que la reconstruction des enjeux d'enseignement / apprentissage est laissée à la charge du professeur, en l'absence de ressources institutionnelles visibles dans le texte comme moyen de contrôle du projet d'enseignement, on est en droit de questionner l'homogénéité, la densité voire la légitimité sociale des objets enseignés. Ainsi, pour Claudia, la fiche Encadrement est une ressource pour faire travailler la technique du mesurage à la règle conformément à une contrainte institutionnelle objectivée, tandis que pour Clarisse, c'est une ressource pour générer des additions de décimaux, face à un problème pratique qui émerge dans l'articulation d'un macro-projet d'enseignement. L'identification de ce qui "fait ressource" pour l'acteur apparaît au niveau de ses conduites, des problèmes qu'il cherche à résoudre. Pour cette raison, les éléments de conscience pratique déployés dans l'action elle-même sont aptes à restituer une bonne part de la dimension interprétative des textes par le professeur, et par là, des formes d'intentionnalité. La non-visibilité de la modélisation mathématique nécessaire pour changer l'épaisseur du cadre dans le texte du professeur fait du document "Encadrement" une ressource institutionnelle "faible", massivement dépendante des aléas du cours de l'action didactique et des préconstruits généraux, d'ordre pédagogiques.

Si l'analyse de la transposition des savoirs au sens strict du terme, c'est-à-dire en considérant les objets de savoir sur un mode descendant est essentielle, elle ne suffit pas à comprendre les niveaux de détermination de l'agir conjoint observé dans la classe. Une mise en relation descendante depuis les documents "amont" de l'agir (selon la formule de Bronckart *et al.*) et ascendante depuis le cours de l'action qui se déploie dans différentes temporalités permet une approche compréhensive du travail professoral, au-delà de ce que les professeurs enquêtés peuvent en dire eux-mêmes à travers le texte des entretiens. En particulier, l'identification des formes d'action typifiées par les préconstruits de l'activité laisse apparaître des formes de réflexivité qui s'opèrent dans le temps, au niveau du projet d'enseignement. Globalement, les documents que les institutions scolaires mettent à disposition des enseignants gagnent à être vus comme des mises en forme sémiotiques et/ou discursives qui participent à la genèse de l'action didactique. Ces textes écrits comportent à la fois une refiguration de certaines pratiques sociales sous forme de savoir (le contenu) et une préfiguration de l'action didactique à mener pour transmettre ce savoir (la manière). Ils permettent aux actants de savoir ce qu'il y a à faire et comment le faire, et à ce titre, ils prennent le statut de ressource institutionnelle. Toutefois, ces ressources n'existent en tant que telles pour les enseignants, qu'au travers de formats de pratiques socio-historiquement construites qui sont mis en tension dans la genèse de l'action didactique.

Documents scolaires cités

CDIP / SR+TI (1997). Plan d'étude romand de mathématiques. Degrés 1 à 6. Neuchâtel : COROME.
Danalet, C., Dumas, J.-P., Studer, C. & Villars-Kneubühler, F. / COROME (1999). Mathématiques (3ème et 4ème année primaire). [Livre de l'élève, Fichier de l'élève et Fichier du Maître] Neuchâtel : Commission Romande des Moyens d'Enseignement.

Références

Bronckart, J.-P. (1997). *Activités langagières, textes et discours. Pour un interactionnisme socio-discursif*. Paris : Delachaux & Niestlé.
Bronckart, J.-P., Bulea, E., Filliettaz, L., Fristalon, I., Plazaloa Giger, I., & Revaz, F. (2004). Agir et discours en situation de travail. *Cahiers de la Section des Sciences de l'Education*, 103. Genève : FPSE.
Bronckart, J.-P. & Bulea, E. (2006). La dynamique de l'action dans les dynamiques langagières. In J.-M. Barbier & M. Durand. *Sujets, activités, environnements. Approches transverses* (pp. 105-134). Paris: PUF.
Brousseau, G. (1998). *Théorie de situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage Editions.
Chevallard, Y. (1985/1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage Editions.
Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12 (1), 73-112.
Coppé, S. (2007). Les connaissances antérieures des professeurs de mathématiques à travers la préparation de séances de classe. Cas de stagiaires en fin de formation initiale. In G. Gueudet &

- Y. Matheron (eds). *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques, année 2006* (pp. 139-168). Paris : IREM Paris 7 et ARDM.
- Delcambre, I & Legrand, G. (2009). Documents officiels et travail enseignant. *Spirale - Revue de Recherches en Education*, 43, 41-73.
- Goldin, G. (2003). Developping complex understandings: on the relation of mathematics education research to mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 54, 171-202.
- Giddens, A. (1987). *La constitution de la société. Eléments de la théorie de la structuration*. Paris : PUF / Quadrige.
- Ligozat, F. (2008). *Un point de vue de didactique comparée sur la classe de mathématiques. Etude l'action conjointe du professeur et des élèves à propos de l'enseignement/apprentissage de la mesure des grandeurs dans des classes françaises et suisses romandes*. Thèse de doctorat en Sciences de l'Education, Université de Genève et Université de Provence.
- Ligozat, F. (en préparation). Analyser les projets d'enseignements. Valeurs épistémiques et systèmes temporalités. In M.L. Schubauer-Leoni, C. Amade-Escot & A. Tiberghien. *Agir Ensemble, Tome 2*. En préparation.
- Ligozat, F. & Leutenegger, F. (2008). Construction de la référence et milieux différentiels dans l'action conjointe du professeur et des élèves. Le cas d'un problème d'agrandissement de distances. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, 28 (3), 319-378.
- Malkoun, L. & Tiberghien, A. (2008). Objets de savoir et processus scientifiques en jeu dans les productions discursives ne classe de physique de lycée. In L. Filliettaz & M.-L. Schubauer-Leoni (eds). *Processus interactionnels et situations éducatives* (pp. 67-88). Coll. Raisons Educatives. Bruxelles : De Boeck.
- Ricoeur, P. (1983). *Temps et récit*. Paris : Seuil
- Schubauer-Leoni, M.-L., Leutenegger, F., Ligozat, F. & Fluckiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves : les phénomènes qu'il peut / doit traiter. In G. Sensevy & A. Mercier, [Eds], *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 51-91). Coll. Paideia, Rennes : PUR.
- Schubauer-Leoni, M.-L. & Leutenegger, F. (2009). Implicites dans l'étude des processus transpositifs. Comparaison des textes officiels pour l'enseignement des mathématiques et du français dans les premières années de la scolarité. In C. Cohen-Azria & N. Sayac (eds). *Questionner l'implicite. Les méthodes de recherche en didactique, Tome 3* (pp. 243-259) Septentrion : Lille.
- Sensevy, G., Mercier, A & Schubauer-Leoni, M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur, à propos de la Course à 20. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 20 (3), 263-304.
- Sensevy, G. & Mercier, A. (eds) (2007). *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Coll. Paideia, Rennes : PUR.

Encadrement

Tâche

- Mesurer quatre segments et additionner leurs longueurs.

Encadrement

Consigne pour 2 élèves

Matériel: bande de papier de 1 cm de large

Il faut placer des bandes de papier de 1 cm de large pour encadrer ce tableau. Les bandes doivent toucher exactement le bord du tableau et ne pas se superposer.

- Commander par écrit la longueur totale de bande nécessaire.
- Découper la bande reçue et la placer. Toute la bande reçue doit être utilisée.



65

Nombre d'élèves

- 2

Matériel

- FE p. 65
- Bandes de papier de 1 cm de large.

Mise en œuvre

- Pour favoriser l'appropriation de la tâche, l'enseignant montre une bande aux élèves, mais ne la met pas à leur disposition pour des "essais".

Déroulement

Dispositif

- L'enseignant coupe les bandes aux dimensions demandées par les différents groupes, sans faire de commentaire.

Mise en commun

- Si nécessaire, les élèves repèrent les éventuelles sources d'erreurs (non-prise en compte de la largeur de la bande, erreur de mesurage, erreur de calcul, ...).

Prolongement

- L'enseignant propose la consigne suivante: "Reprenez le problème avec des bandes de 2 cm."

Chap. 17 - Vidéos de séances en classe et ressources pour l'enseignement : éléments d'analyse

Dominique Forest et Alain Mercier

Ce chapitre considère que l'on doit comprendre l'usage didactique des ressources du professeur lorsque l'on veut comprendre le système des contraintes auxquelles elles satisfont et les effets qu'elles produisent. Pour cela, nous situons notre recherche dans un cadre théorique spécifique dont nous travaillons les articulations avec le système des questions qui sont posées depuis la notion de « ressources » par les éditeurs de cet ouvrage. Car nous observons le travail des professeurs d'une « École pour l'Observation »¹, dont les ressources viennent d'une équipe de recherche qui produit des moyens d'enseignement expérimentaux, *séquences de situations pour l'observation didactique*, que ces professeurs mettent en œuvre.

17.1 Introduction

Ce chapitre s'inscrit dans une Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (voir également Sensevy Chap. 8, Ligozat Chap. 16 et Assude Chap. 18 de cet ouvrage). Nous montrons que, quoi qu'il en soit, ce sont le professeur et les élèves qui conjointement, *hic et nunc*, donnent vie aux *moyens d'enseignement* (les artefacts) à l'aide desquels ils conduisent, ensemble mais de manière dissymétrique, une action didactique. A cet effet, nous examinons d'abord la façon dont le professeur peut *organiser* des éléments matériels et symboliques constituant *le milieu des jeux en situation* pour la classe, et produire à cet effet une *mémoire didactique*, mobilisation de certaines contributions antérieures des élèves. Nous considérons que le professeur constitue ainsi ces éléments en ressources et orchestre ces ressources, que les élèves mobilisent dans leur action.

Nous montrons sur un exemple comment le professeur (i) utilise *le tableau noir* comme outil mémoriel (Mercier, Rouchier & Lemoyne 2001 ; Flückiger & Mercier 2002 ; Adler Chap.1) et (ii) utilise *la mémoire officielle* ainsi constituée (Matheron & Salin 2002) pour produire grâce à ces moyens une situation nouvelle, organisatrice de l'action mathématisante des élèves. Nous considérons aussi l'importance respective du langage et des agencements matériels, corporels et spatiaux initiés par le professeur au service de l'attention conjointe des élèves, car l'action conjointe suppose une attention conjointe (Eilan *et al.* 2005). Nous relierons les aspects non-verbaux aux interactions langagières, tout en les spécifiant par le contenu didactique. Pour nous, ainsi, l'usage du tableau noir comme outil mémoriel et la transformation de la mémoire en ressource (Gueudet & Trouche Chap. 3) sont des éléments de l'ingéniosité (Mercier, Lemoyne & Rouchier 2001) du « professeur d'essai » qui complètent nécessairement la production du travail d'ingénierie réalisée par l'équipe de recherche (Brousseau & Centeno 1991). Notre travail appartient donc à une clinique de l'activité de la classe (et plus particulièrement de l'action du professeur et des élèves, en classe), fondée sur la connaissance théorique des fonctions didactiques (métaphoriquement, une *physiologie* didactique des classes²) et l'observation du fonctionnement régulier ou pathologique des systèmes didactiques, dans le temps (métaphoriquement, une *clinique* didactique³ des classes de mathématiques).

C'est à la lumière de ces analyses et de leurs résultats que nous considérons ensuite la place que pourrait prendre, dans la formation, une *base de données vidéo* de séances de classe (un système de ressources pour la formation, Gueudet & Trouche Chap. 3). Nous interrogeons ainsi dans ce texte l'intérêt spécifique de la mise à disposition de vidéos de classe et de leur usage par des chercheurs et par des professeurs, dans une démarche d'élucidation de l'action qui produirait un mode spécifique de préfiguration de cette action (une ressource de la formation).

¹ L'école Jules Michelet, à Talence (France, 33400), a été durant trente ans (de 1969 à 1999) l'école pour l'observation du Centre pour l'Observation et la Recherche de l'Enseignement des Mathématiques, sous la direction de Guy Brousseau puis de Marie-Hélène Salin. Les ingénieries didactiques produites y étaient mises en œuvre par des professeurs d'essai et les réalisations observées par les chercheurs. Nous rendrons compte ici du travail d'un professeur d'essai travaillant sur une ingénierie publiée par ailleurs et étudiée (Brousseau & Brousseau 1987).

² Cette dimension relève d'une écologie institutionnelle des savoirs (Rajoson 1988) et du programme anthropologique en didactique (Mercier 2008).

³ Cette dimension inspirée de Foucault (1963) a été travaillée par Leutenegger (2000), et de nombreux travaux ont suivi.

17.2 Les systèmes didactiques

L'objet de notre étude n'est jamais le professeur seul, mais le système qu'il forme conjointement avec les élèves, une micro-institution dont l'enjeu est la transmission de savoirs ou plus généralement, l'étude de certaines œuvres⁴ : un système didactique. Chaque système didactique, dont nous pouvons observer un moment de la vie en entrant dans une classe, mais aussi en suivant un professeur qui prépare son cours ou un élève qui étudie sa leçon, est fortement déterminé par son insertion dans une organisation plus vaste, un établissement scolaire, un système d'enseignement. Il est en interrelations avec ces systèmes externes par l'emploi du temps comme par l'organisation de l'étude du soir, le rapport de la société à ses enfants, ou la manière dont les professeurs de mathématiques étudient, pour se préparer à rencontrer les élèves, des mathématiques. Nous allons donc considérer que l'organisation de la reproduction sociale des œuvres qu'une société pense devoir mettre à l'étude par le moyen de systèmes didactiques inclus dans un système d'enseignement, est un objet social que nous regardons comme une institution (Douglas 1986/1999 ; Sensevy 1998) : nous observons la manière dont tel professeur et tels élèves donnent vie à l'institution en enquêtant sur des œuvres pour, sans doute, leur donner des formes nouvelles en les faisant vivre.

En abordant la question dans ses dimensions anthropologiques nous suivons Tomasello (1999/2004, p. 10) : « Les traditions culturelles et artefacts ne cessent d'accumuler les modifications apportées au fil du temps, caractéristique que l'on ne retrouve pas chez les autres espèces animales : c'est ce que l'on appelle l'évolution culturelle cumulative ». Tomasello pense comme artefacts de nombreux types d'objets : « productions d'outils, communication symbolique, et institutions sociales », la transmission sociale jouant le rôle de « cliquet anti-retour », empêchant que l'on ne reparte en arrière (ratchet effect).

17.3 Rationnels et décimaux à l'école élémentaire

17.3.1 Une ingénierie spécifique

Les recherches menées par Guy Brousseau, qui ont conduit à l'élaboration de la théorie des situations didactiques en mathématiques (Brousseau 1998), ont pris appui sur des dispositifs qui associaient chercheurs et praticiens dans la mise en œuvre d'enseignements. Tout en étant en conformité avec les programmes nationaux de l'école élémentaire, ces dispositifs étaient conçus dans une logique d'épistémologie expérimentale (Brousseau 1980). Les enseignements produits dans le cadre de ces recherches par le COREM⁵ à « l'École pour l'Observation Jules Michelet », à Talence, ont été enregistrés et certains de ces enregistrements sont aujourd'hui mis à disposition des chercheurs en éducation, avec le soutien de l'INRP, dans le cadre de l'opération ViSA⁶.

17.3.2 L'épaisseur d'une feuille de papier

Nous reprenons dans ce chapitre l'étude du début de l'enseignement des nombres rationnels au CM2 (grade 5) et nous regardons plus précisément le moment de l'invention, par les élèves, d'un moyen de désigner des grandeurs très inférieures à l'unité comme l'épaisseur d'une feuille de papier (très inférieure au millimètre, dont la mesure nécessite déjà une règle à coulisse) ou la masse d'un clou (très inférieure au gramme, limite de sensibilité de la balance Roberval). Cet enseignement "expérimental" a été reproduit pendant plus de dix ans, par deux professeurs successifs. Le scénario

⁴ « Ce qu'on appelle ordinairement l'œuvre d'un auteur [...] n'est qu'un type très particulier d'œuvre, une œuvre qu'on peut dire close [...]. Mais la plupart des œuvres sont des œuvres anonymes, et des œuvres ouvertes, fruit de l'action d'un collectif innombrable, recrutant dans la suite des générations » (Chevallard 1996).

« L'entrée d'une personne en une œuvre, qui participe par définition de la socialisation de la personne, contribue du même coup à sa formation, dans la mesure où cette personne se soumet à la discipline de l'œuvre – discipline sportive, juridique, artistique, mathématique, politique, grammaticale, philosophique, amoureuse, poétique, etc. » (Chevallard 1997).

⁵ Le Centre pour l'Observation la Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, le COREM, est associé à l'École pour l'observation Jules Michelet, à Talence. Ses fonds, qui sont en voie d'être sauvegardés et numérisés, sont mis à disposition de la recherche en didactique des mathématiques et en éducation, sous le contrôle du GICACOM, association 1901 des personnes ayant participé à leur production, par le DAEST (laboratoire de Didactique et Anthropologie de l'Enseignement des Sciences et des Techniques) de l'Université Bordeaux II, avec le soutien de l'INRP. L'École Michelet étant *institution pour l'observation*, même dans le cas où un enregistrement concerne un enseignement « non préparé dans le cadre d'une recherche » nous disposons de la collection des travaux de chaque élève, des fiches de préparation du professeur, des évaluations et même, souvent, de l'évaluation de la séance par le professeur d'essai, les collègues avec qui il partage la classe et des chercheurs du COREM.

⁶ L'opération de recherche ViSA (Vidéos de Situations d'enseignement et d'Apprentissage, <http://visa.inrp.fr/>) a pour but de mettre à la disposition de la communauté des scientifiques des enregistrements vidéos de situations d'enseignement et de formation avec les documents qui leur sont associés, de collecter de nouveaux enregistrements vidéographiques et d'outiller les communautés de chercheurs et de formateurs pour analyser, gérer et traiter les enregistrements vidéos.

minuté de l'ensemble de cinquante à soixante séances est publié (Brousseau & Brousseau 1987).

Dans ce scénario, on demande à des élèves qui ont l'expérience des questions de mesure des grandeurs depuis plus d'un an et qui ont déjà utilisé une « règle pour mesurer des épaisseurs » (un pied à coulisse), de chercher à mesurer l'épaisseur de feuilles de papier ou plutôt, comme le dit la consigne, de « trouver un moyen pour désigner cette épaisseur de manière à distinguer entre elles des feuilles d'épaisseur différente ». La mise en scène de cette question au cours d'une première séance⁷, débouche sur l'usage du pied à coulisse, dont la version rudimentaire utilisée en classe ne comporte que des repères au millimètre. Mais cet instrument ne permet pas la mesure directe d'une seule feuille. Les élèves sont ainsi amenés, de leur propre chef, dans une « dialectique de l'action » à inventer des notations du type (7 feuilles 2 millimètres) ou (3mm ; 10f), consistant à désigner un type de feuilles à partir de la mesure de l'épaisseur d'un paquet qui en comporte plusieurs, en général de cinq à trente.

Il s'agit ensuite pour les élèves de confronter leurs propositions et, pour le professeur, de gérer des réponses diverses qui ne semblent pas d'emblée incompatibles, aux yeux des élèves. C'est une question de l'enseignement ordinaire (Chevallard 1991 ; Mercier, Rouchier & Lemoyne 2001 ; Matheron & Salin 2002) qui fait toujours problème pour des maîtres formateurs expérimentés (Sensevy *et al.* 2005). Brousseau (1998) a appelé « dialectique de la formulation » ce problème d'enseignement : comment assurer le passage de l'activité à la synthèse ? Ce mouvement se conduit ici en deux temps : dans leur activité initiale en effet, les élèves ont été conduits à proposer des désignations diverses de l'épaisseur, et la plupart ont choisi de mesurer l'épaisseur de plusieurs feuilles ensemble de manière à obtenir un paquet d'épaisseur mesurable (un à quatre millimètres) ; mais tous n'ont pas choisi les mêmes paramètres. Dans ce moment, le professeur peut intervenir en accompagnant l'activité, comme personne d'expérience engageant les élèves à aller plus loin, à faire preuve d'audace dans l'attaque du problème. Les élèves ont travaillé par équipes de quatre ou cinq et, à la demande du professeur, ils vont tester dans un premier temps l'efficacité de leurs choix dans un « jeu de communication », que le professeur organise : une partie de chaque équipe rédige, en notant l'épaisseur, un message devant désigner une catégorie de papier aux autres membres, et réciproquement. Par exemple, deux élèves de l'équipe 1 choisissent de désigner le papier de type A en écrivant « huit feuilles font un millimètre et demi », mais l'équipe échoue parce que les trois élèves de l'équipe en position de récepteurs trouvent que neuf feuilles du papier A font trois millimètres et que c'est incompatible avec le message : ils considéreront alors que la désignation indique le papier B. Comme on le voit, les élèves ne communiquent pas des informations mais des résultats, avec des notations qu'ils pensent efficaces. Le professeur en fin de première séance recueille les notations inventées par les élèves, pour les organiser sous forme de tableau.

17.3.3 La séance étudiée

C'est seulement lors de la deuxième séance de travail que les élèves vont valider ou invalider leurs choix en confrontant les diverses notations d'un même papier pour en étudier la cohérence, dans une « dialectique de validation ». Par exemple, une élève fera remarquer que si cinq feuilles du papier D font un demi millimètre, il est normal de trouver aussi que vingt-sept feuilles de ce papier mesurent trois millimètres « Parce que vingt-sept c'est presque trente qui est six fois cinq et que trois, c'est six fois un demi. ». Ce sont les épisodes de ce début de 2^e séance qui font l'objet de notre analyse.

En effet, ce travail institue comme des notations mathématiques les désignations inventées par les élèves. On commence à montrer que les objets ainsi notés (des mesures d'épaisseur) ont presque toutes les propriétés des nombres entiers : plus tard on les appellera « les nombres rationnels ». Ce travail suppose une activité d'enseignement fortement structurée par un professeur capable d'analyser au fur et à mesure le point où en sont les élèves, pour leur renvoyer au moment opportun des questions relatives aux notations qu'ils utilisent sans les avoir encore validées (Flückiger & Mercier 2002). Ainsi, la synthèse n'est pas ce que le professeur dit qu'il fallait regarder, dans l'activité, mais du savoir mathématique, que le travail commun a produit et qui permet de résoudre un problème, rencontré dans le cadre d'une activité fondatrice.

Les élèves et le professeur en sont ici aux prémices d'un processus qui se développera tout au long d'une année scolaire et conduira les élèves à explorer ces objets nouveaux, pour produire les

⁷ Cette première séance a fait l'objet d'une analyse détaillée, mettant en valeur la finesse des agencements matériels, corporels et spatiaux qui permettent la mise en place du problème, analyse qui ne peut être détaillée dans le cadre dévolu à cet article.

nombres rationnels puis les remplacer par un système plus simple qui permet d'approcher tous les rationnels : les nombres décimaux.

17.4 Catégories d'analyse

La séance qui supporte notre propos est bien le produit d'une ingénierie didactique. Mais en reprenant l'analyse des enregistrements selon les techniques développées pour l'abord des classes ordinaires, nous observons *comment le professeur d'essai enseigne*, en coopération avec les élèves.

Comprendre ce que doit faire le professeur, pendant la séance relève d'une analyse a priori de la situation (Mercier & Salin 1988) qui identifie les décisions ayant un effet sur le contenu mathématique. Mais il nous faut comprendre maintenant les principes didactiques de fonctionnement de cet enseignement et ses effets différentiels sur les élèves qui entrent dans les dialectiques proposées par le professeur ou qui en définissent de nouvelles (Mercier *et al.* 2000 ; Rilhac 2008).

17.4.1 Langage, fonction illocutoire

On peut considérer que le langage porte les savoirs publics qui font les enjeux d'enseignement, et la forme de relation didactique la plus faible consiste sans doute à transmettre un texte exposant le savoir public comme s'il s'agissait d'une information : c'est un geste d'ostension du savoir. Sa forme la plus radicale peut être représentée par cet « exposé » du théorème de Pythagore attribué au mathématicien indien Bhascara, 1114 a.c., où la figure (figure 1) n'est accompagnée d'aucun autre commentaire que l'injonction : « REGARDE ! ». Dans la relation qui s'instaure autour de cette figure et de l'injonction associée, le rapport n'est pas de professeur à élève : le maître élit pour disciple celui qui est capable de voir par lui-même ce qu'il y a à regarder.

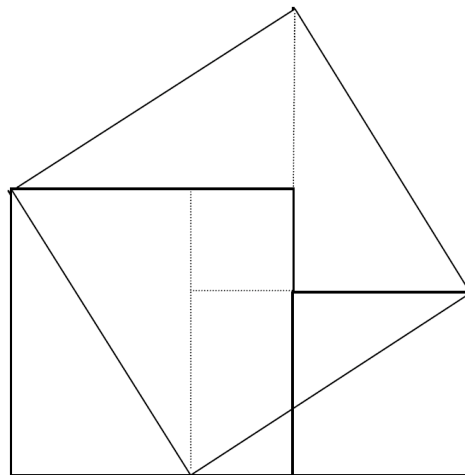


Figure 1. Une ressource potentielle sous forme de figure (Bhascara 1114 a.c.)

Tandis que dans une école, le maître a obligation d'enseigner explicitement, ce qu'il fait au moins en désignant le savoir qui est l'enjeu de la relation didactique.

17.4.2 Langage, fonction perlocutoire

On peut ainsi considérer que le langage permet la désignation et la description du savoir qui est proposé à l'étude. Ainsi par exemple le professeur indiquera qu'il y a trois carrés à regarder, là. Trois et non quatre, car le petit carré central n'est qu'un artifice de construction de la figure, qui indique certaines relations entre les trois carrés. Il est pertinent de considérer ces relations les traits qui n'appartiennent pas à l'un des trois carrés en indiquent d'autres... Déjà, voilà que le professeur indique une relation à considérer, et voilà les disciples de Bhascara en élèves, pris dans une relation didactique : et si finalement on pense au théorème dit « de Pythagore », c'est que de ces carrés l'un est peut-être somme des deux autres⁸!.....

Et en effet, la figure propose une démonstration du théorème, mais il y faut le travail de découverte et d'énonciation de ce qu'il y avait à voir. Il a finalement été pris en charge par le professeur qui dans ce

⁸ Il convient donc que dans les expressions "le carré de l'hypoténuse" et "le carré des deux autres côtés" le mot "carré" soit vu comme une expression qui évoque l'institution "géométrie", car il est possible que le "carré" soit vu comme la notation de la multiplication d'un nombre par lui-même. Ceci impliquerait sans doute, pour un professeur de collège, un travail autour des jeux de langages impliquant le mot « carré » : la figure, pour être une ressource pour le professeur et pour les élèves, nécessite bien une mise en scène : nous appelons *mésogenèse le processus de cette production*.

cas est sûr d'avoir montré, mais n'est plus sûr que l'élève ait regardé en personne. En ce point donc, le travail d'enseignement commence à peine. L'exemple nous permet de voir le professeur en médiateur du rapport à une figure qui va être étudiée comme une œuvre toute réalisée, tandis que la réticence du maître Bhascara à livrer un commentaire en faisait un problème. Dans les deux cas, la figure est *ressource pour l'enseignement*, mais seule l'action du disciple ou de l'élève qui s'engage sous l'impulsion du maître ou du professeur en fait *un élément du milieu d'une situation didactique* et le moyen d'accéder (éventuellement, accompagné par le professeur qui introduira à des situations intermédiaires) à une question : « Quel est le rapport entre les longueurs des côtés d'un triangle ? » Nous renvoyons le lecteur, pour son traitement, à l'enquête magistrale de Bachelard (1965).

Les intentions (Sensevy Chap. 8) contenues dans la figure ne sont en effet pas « naturellement » accessibles. Sa constitution en re-source (Adler Chap. 1, Gueudet & Trouche Chap. 3) pour l'action conjointe des élèves et du professeur nécessite que cet objet soit préalablement devenu « bavard ». Le même objet peut ainsi être regardé comme un « média » (porteur d'intention) et comme un élément du « milieu » dans les termes proposés par Chevallard (2008) cette dialectique média-milieu s'inscrivant dans le cadre de la mésogenèse⁹.

17.4.3 Proxémique

La constitution des ressources en milieu est tributaire de l'action des élèves et du professeur sur des objets matériels et symboliques. Nous considérons que l'orientation de l'attention à cet effet ne dépend pas seulement d'actions langagières. Pour rendre compte des dimensions de l'action autres que verbales, nous les examinons sous l'angle de la proxémique (Hall 1971), selon une méthodologie spécifique (Forest 2006) motivée par un parti pris épistémologique (Bateson 1972/1977 ; Wilder 1998 ; Forest 2009). Nous considérons en effet que les phénomènes autres que verbaux sont d'une nature fondamentalement différente des phénomènes verbaux avec lesquels ils sont entrelacés.

Cette différence a été théorisée par Gregory Bateson (1977, tome 2 p. 126-128) à travers la distinction analogique-digital : la communication verbale, qualifiée de digitale, relève d'éléments discrets et arbitraires (il n'y a rien de tabuliforme, par exemple, dans le mot "table") ; à l'inverse la communication non-verbale, qualifiée d'analogique, relève de processus continus, où ce qui est représenté et le "représentant" sont dans un rapport de grandeur, éventuellement contradictoire. Toujours d'après Bateson, la communication analogique est particulièrement adaptée à la définition de la relation entre les individus, la communication digitale étant plus adaptée à l'expression d'un contenu¹⁰. C'est le caractère analogique de la communication non-verbale qui nous permet de comprendre, dans une certaine mesure, des comportements animaux, ou des personnes parlant une langue inconnue.

En accord avec cette perspective, nous utilisons la notion de distance dans le prolongement de la théorisation de Hall (1963). Il s'agit d'une distance perçue¹¹, auto-centrée, qui en plus de la distance métrique, prend en compte les regards, positions et postures des interactants et inclut des phénomènes comme le toucher, l'indication, la hauteur de la voix (Forest 2006). L'idée qui sous-tend ce type de description peut être résumée de la façon suivante : ce qui est proche (pour moi) est plus important que ce qui est lointain.

Cela permet de décrire la façon dont, à tout moment, des éléments matériels (y compris corporels) et symboliques émergent dans la situation, sont agencés, indiqués, rendus proches ou lointains. Nous considérons que nous pouvons ainsi interpréter les comportements autres que verbaux en respectant leur nature (analogique), et rendre compte de leur intervention dans la gestion de la relation didactique.

17.4.4 L'action conjointe

Au delà des catégories évoquées, l'analyse repose sur le principe suivant : l'action du professeur et des élèves est nécessairement conjointe. La Théorie de l'Action Conjointe en Didactique considère ainsi que « Dans chaque action du professeur l'élève trouve une place, même minime, et la même chose peut se dire de l'action de l'élève » (Sensevy & Mercier 2007, p. 6). Cette action est modélisée

⁹ La mésogenèse dépendrait ainsi de la capacité du professeur et des élèves à organiser un certain « bavardage » des objets, dans leurs dimensions symboliques (et donc intentionnelles), capacité fortement dépendante de l'étude préalable, par le professeur, de ces objets.

¹⁰ Cette distinction relation-contenu ne doit pas conduire à une dichotomie, qui renverrait le relationnel à l'affectif et le contenu au didactique. La relation dont nous souhaitons rendre compte inclut les phénomènes spécifiques au didactique.

¹¹ Hall a en particulier montré que la perception (et donc la gestion) des distances interindividuelles, était très variable suivant les cultures, et que la méconnaissance des usages proxémiques pouvait engendrer de graves confusions dans la définition conjointe d'une situation dans le cas d'une communication inter-culturelle.

sous forme de jeux, dont la spécificité repose en grande partie sur un paradoxe (Brousseau 1998, 2003) : la position du professeur le met dans l'obligation de faire produire par les élèves les réponses qui attestent de l'apprentissage, mais s'il dit le savoir et dirige l'action des élèves il les prive de la possibilité d'agir par eux-mêmes et donc, d'apprendre. La solution tient à la production d'un jeu permettant une action relativement autonome des élèves, dans lequel le professeur sera donc amené à faire œuvre de *réticence didactique* (Sensevy & Quillio 2002), à « tenir par devers lui certaines des choses qu'il veut enseigner, et à engager les élèves dans des rapports au milieu qui leur permettront de passer outre ce silence » (Sensevy 2007, p. 50). Il va ainsi engager l'élève dans une succession de *jeux d'apprentissages*, dont les enjeux successifs produisent l'avancée du savoir, dans la classe (Sensevy, *ibid* p. 16). Le jeu du professeur va donc être un jeu sur le jeu des élèves et c'est ici qu'interviennent les ressources que le professeur a constituées.

L'action du professeur, conjointe avec celle des élèves, consiste à définir et réguler des jeux, dévoluer des questions et instituer des résultats (Sensevy *et al.* 2000). C'est ainsi que sont déterminés à la fois les lieux respectifs du professeur et des élèves (topogenèse), les temps de l'enseignement et de l'apprentissage (chronogenèse), et les objets des milieux ainsi que l'organisation des relations à ces objets (mésogenèse).

Les descriptions qui suivent sont informées par ces catégories fonctionnelles, tant pour ce qui concerne les échanges verbaux que pour l'identification des techniques du corps qui contribuent à l'initiation et au maintien de la relation didactique.

17.5 Un exemple : constitution comme ressource des énoncés des élèves à partir de leurs résultats recopiés au tableau

L'exemple que nous avons choisi se situe au début de la deuxième séance et nous montrons la constitution de certains objets en ressources, tant pour le professeur que pour les élèves, par leur action conjointe qui est donc, ici, mésogénétique.

La première séance a vu la mise en place de deux jeux conduisant les élèves à proposer des désignations diverses de l'épaisseur. L'étude de cette première séance (non rapportée ici) montre comment le professeur soutient l'activité des élèves sans s'engager lui-même dans la recherche de procédures de désignation des types de feuilles par leur épaisseur. Cette séance a abouti à la production par les élèves de *messages*, qui sont repris par le professeur en début de deuxième séance dans un tableau, reproduit ci-après (tableau 1).

	A	B	C	D	E
Équipe 1	2 fois plus épaisse que la C, deux fois moins épaisse que la D				5 feuilles = 1/2mm 30 feuilles = 3mm 25 feuilles = 2mm1/2
Équipe 2	1mm = 9 feuilles	1mm=3 feuilles		2mm = 6 feuilles	
Équipe 3			16 feuilles = 1mm	7 feuilles = 1,5mm 14 feuilles=3mm	
Équipe 4					

Équipe 5	20 feuilles font 2mm		11 feuilles font ½ mm	10 feuilles font 2mm	27 feuilles = 2mm1/2, presque 3
-------------	----------------------	--	--------------------------	-------------------------	---------------------------------------

Tableau 1. les énoncés présents au tableau en ce début de la séance

Pour les besoins des descriptions qui vont suivre, des photogrammes permettent de rendre compte simultanément des aspects verbaux et non-verbaux de l'action. Ce mode d'exposition (Forest 2006, 2009), supporte des commentaires proxémiques, et permet l'identification de certains éléments du milieu.



P : J'ai mis au tableau, tous les messages qui ont été écrits, d'accord ?

Après avoir complété le tableau, le professeur se déplace sur le côté de la classe, en regardant les élèves. Ce mouvement s'accompagne d'un geste des deux mains devant soi, qui signifie une prise de distance. Du point de vue d'une sémantique naturelle de l'action (Sensevy 2001), ce geste peut être paraphrasé ainsi : « je n'ai rien fait », ou dans une version plus faible « j'ai fait ma part ». Le professeur s'est détourné du tableau, ce qui renforce cette impression, tout comme l'énoncé : « j'ai mis tous les messages qui ont été écrits » (sous entendu "par vous"). La sollicitation de l'accord des élèves est purement formelle, le rapport précédent est ici réactualisé.

Mais le tableau est un élément nouveau, maintenant disponible comme une ressource collective, support à la poursuite de l'activité.

B1	B2	B3	B4
	 5 feuilles = 1/2mm 30 feuilles = 3mm 25 feuilles = 2mm1/2	 27 feuilles = 2mm1/2, presque 3	
<i>P : Alors, je, j'ai mis en jaune ici // tu viens Akim, tu viens // j'ai mis en jaune ici ce sur quoi on a discuté mardi.</i>	<i>E : ben c'était 27, P : euh, non, on avait discuté sur celui-ci, et c'est Cristobal qui était venu montrer que eux avaient trouvé 5 feuilles, 1/2 mm</i>	<i>...d'accord, donc en fait, c'était compatible // que c'était à peu près vrai, on pouvait accepter ce message-là.</i>	<i>Mais ici on avait eu quelques problèmes, et Vanessa, tu avais fait une remarque ici.</i>

Le professeur revient vers le tableau, s'efface sur le côté et indique la case E1.	Montre rapidement la case E5, puis revient à la case E1, en restant effacé sur la gauche	Il maintient le regard vers le tableau, en indiquant alternativement les cases E5 et E1.	Il maintient l'indication sur E5 en se tournant son regard vers les élèves, et en maintenant son effacement
--	--	--	---

Le professeur, bien effacé sur le côté, laisse les élèves face à la ressource. Mais loin de les laisser seuls, il organise la réflexion, en indiquant où il convient de regarder, et en focalisant sur une question qu'il ne spécifie pas lui-même (*On pouvait accepter ce message là... Mais ici on avait eu quelques problèmes, et Vanessa, tu avais fait une remarque ici*). Le professeur va maintenant s'effacer complètement, en quittant la zone du tableau pour se placer parmi les élèves, au niveau de la deuxième rangée, et après avoir de nouveau souligné les différences entre les deux types de messages, il laisse la parole à Vanessa :

Vanessa : On a 25 feuilles et 27 feuilles, on a deux feuilles d'écart. Et on avait dit que ça pouvait, on a trouvé à 25 feuilles 2mm 1/2. Alors 27, 2mm 1/2, presque 3. Et donc ça prouve que c'est... qu'on a pas fini, faudrait un pied à coulisse, euh, plus perfectionné, avec plus de euh...

P : avec plus... ?

E : de traits...

P : oui Pierre ? de détails ? c'est à dire quels détails vous auriez aimé avoir ?

E : des demi-millimètres,

P : Des ?

E : demi-millimètres

P : des demi-millimètres

Le positionnement spatial du professeur parmi les élèves contribue à signifier la place qui leur est laissée dans l'énonciation. La nécessité perçue par Vanessa tient à la précision de la mesure ("*un pied à coulisse, heu, plus perfectionné*"). Le professeur, qui se situe à ce moment-là au niveau de Vanessa (par rapport au tableau), produit un *encouragement topogénétique* qui permet l'émergence d'une question qui sera résolue par d'autres moyens (l'augmentation du nombre de feuilles). Mais loin de contredire l'assertion de Vanessa, le professeur la reprend, la fait préciser, et reformule les détails qui seraient nécessaires : "*des demi-millimètres*" (sur les graduations des pieds à coulisse). Il ouvre une controverse sur la question de la précision de l'outil qui peut être largement prise en charge par les élèves, à partir des énoncés au tableau. Mais l'appui sur le tableau nécessite que le professeur s'en rapproche...



B10

P : mais ici, est-ce que les demi-millimètres vous seraient utiles ?

E : Oui

P : Pour écrire ce message...

E : parce qu'après, y-a des demi-demi millimètres, et on peut pas

P : il faudrait, oui...

E : Ça ferait encore des petits traits

P : et pis si ça suffit pas

E : encore des traits, et

P : Et alors, on va jamais, on va jamais s'en sortir,





E : on va finir avec une bande toute noire.

P : Eh bien on va finir comme tu dis avec une bande noire, et on pourra plus rien y lire (le professeur retourne parmi les élèves).

Donc on a dit il va falloir trouver une autre solution

Le professeur reste toutefois bien en retrait et à distance de l'objet du débat (l'énoncé produit précédemment par les élèves, 27 feuilles=2mm1/2 presque 3), qu'il indique du doigt. Ce topos

intermédiaire matérialisé par la position et la posture se retrouve également dans les énoncés : le professeur ne tranche pas sur la question des graduations, mais ramène le débat sur la désignation : "ici, est-ce que les demi-millimètres vous seraient utiles.../...pour écrire ce message ?". La réfutation sera ainsi effectuée par un élève : "on va finir avec une bande toute noire".


B11	B12	B13	B14
 <p data-bbox="199 817 311 862">02'53"</p>	 <p data-bbox="510 817 622 862">03'00"</p>	 <p data-bbox="821 817 933 862">03'07"</p>	 <p data-bbox="1133 817 1244 862">03'11"</p>
<p><i>P : De toute façon, nous sur notre pied à coulisse, nous on a que les millimètres.</i></p> <p><i>E : j'ai trouvé comment faut faire</i></p> <p><i>E : on a trouvé</i></p>	<p><i>P : Alors heu donc, on est resté sur ce problème-là en disant le demi-millimètre, et puis encore le demi du demi, et on va jamais y arriver, il faut trouver une autre solution.</i></p>	<p><i>P : Alors est-ce qu'on ne pourrait pas faire autrement ? Il y peut-être des équipes qui se sont aperçues de ces difficultés là, avec le demi.</i></p>	<p><i>P : Est-ce qu'il y en a qui ont eu des difficultés, aussi, que ça tombait sur des demis, ou des presque demis...</i></p>
<p>Après être retourné parmi les élèves, le professeur revient vers le tableau</p>	<p>Le professeur indique la case E5 en regardant les élèves</p>	<p>Le professeur retourne parmi les élèves, en regardant alternativement ceux-ci et le tableau</p>	<p>Le professeur tourne le dos au tableau en s'effaçant jusqu'au fond de la classe</p>

En B11, on voit que le professeur était revenu parmi les élèves. Son retour au tableau est accompagné d'un énoncé qui renvoie aux contraintes matérielles du milieu : "De toute façon, nous sur notre pied à coulisse, nous on a que les millimètres" où l'usage du "nous" et du "on" renforce la proximité aux élèves.

On note que le professeur, malgré les sollicitations de certains élèves (« on a trouvé »), prend le temps d'institutionnaliser le rejet des sous-graduations, en s'assurant que la nécessité de trouver une autre solution a bien diffusé. Le passage au tableau (B12) est également l'occasion d'engager les élèves à rechercher une autre solution. Le *on* de « on ne va jamais y arriver » maintient la proximité professeur-élève, tout comme la reprise de leurs expressions (*le demi du demi...*). La solution retenue s'opposera clairement au travail sur les graduations.

La vignette B13 voit le retour du professeur parmi les élèves. Ce déplacement ainsi que l'alternance des regards participe de la démarche : on a eu une difficulté (c'est normal), d'autres l'ont rencontrée : « Il y a peut-être des équipes qui se sont aperçues de ces difficultés là, avec le demi ». Ceci lui permet d'appeler des solutions, dont il sait qu'elles sont présentes. Le regard rappelle d'ailleurs la présence du tableau, ou tous les énoncés ont été écrits, mais ce sont les élèves qui doivent se saisir des objets disponibles. Cette dévolution est confirmée par le mouvement du professeur, qui s'efface cette fois-ci jusqu'au fond de la classe (B14) en tournant carrément le dos au tableau.

Ces allers et retours sont accompagnés de nombreuses mimiques et mouvements de main, soutiens supplémentaires de l'activité, l'effacement final laissant pourtant toute la place à l'action des élèves.

	
<p><i>E : moi</i> <i>P : vous, oui ? Alors, vous êtes quelle équipe</i></p>	<p><i>E : on est la 2</i> <i>P : vous êtes l'équipe 2. Ah, alors comment vous avez résolu le problème, vous ?</i></p>
<p>Le professeur continue de s'effacer vers le fond de la classe, en reculant</p>	<p>Il se positionne tout au fond de la classe, à côté de l'élève qui intervient, en regardant ostensiblement vers le tableau</p>

Le professeur est bien ici dans une certaine réticence : il fait jouer les élèves dans le sens de la désignation, mais celle-ci reste à leur charge. Totalement effacé en fond de classe, il finit en position d'élève, qui regarde au tableau institué comme ressource collective, et en principe objet de l'attention générale. Dans le même temps, sa proximité à l'élève qui intervient, lui permet de soutenir sa production (un léger toucher de l'élève a précédé le photogramme B16). Ce soutien de l'action énonciatrice de l'élève se comprend d'autant mieux si, à l'instar des élèves et du professeur, on dispose du tableau sous les yeux, et en particulier de la ligne correspondant aux messages de l'équipe 2, qui a effectivement résolu le problème (tableau 2).

	A	B	C	D	E
Équipe 2	1mm = 9 feuilles	1mm=3 feuilles		2mm = 6 feuilles	

Tableau 2. les éléments copiés au tableau à partir des résultats produits par l'équipe 2

Soutenue par le professeur, l'élève explique sa façon de faire, qui pourra être reprise, après discussion collective. Le professeur instituera bientôt cette notation "inventée" par les élèves comme un objet mathématique, avant de la travailler au tableau en faisant remplir les cases demeurées vides.

17.6 Conclusion : La vidéo comme outil d'une clinique à usage professionnel

17.6.1 Donner à voir le jeu didactique

Dans cette séance, on observe que les élèves sont amenés à parler des représentations par lesquelles ils ont tenté de répondre à un problème, pour produire le savoir qu'ils avaient à étudier et apprendre : ici, les nombres rationnels. Le professeur a fait en sorte que s'engage dans la classe une dialectique de la formulation. Pour mettre en place une telle dialectique, il faut que le professeur puisse penser que les systèmes sémiotiques qu'il permet aux élèves de construire (les notations et la manière dont elles sont nommées, Mariotti & Marracci Chap. 5) sont l'épine dorsale de la discipline qu'il les engage à étudier. Devant les productions des élèves comme devant les notations qu'il propose le professeur doit donc pouvoir se poser la question : « Quel est l'avenir de cette notation, que permet-elle de calculer, quels raisonnements permet-elle de développer ? » et il doit savoir répondre.

Comment transmettre, dans le cadre d'une formation, la subtilité du jeu du professeur qui est l'effet (1) de sa compréhension profonde de la question épistémologique et (2) de son expertise proxémique et langagière d'enseignant expérimenté ? Nous pensons qu'il est actuellement impossible de décrire ce jeu sans le donner à voir, comme nous l'avons fait ici sur un épisode caractéristique. Le COREM a

produit des données qui visent à rendre observables des phénomènes didactiques. Nous commençons maintenant à reproduire dans d'autres classes¹² les situations didactiques que Brousseau et son équipe ont produit, et que ViSA a pour vocation de conserver, pour pouvoir montrer comment un professeur pourrait améliorer son efficacité didactique.

Car les savoirs dans les formes scolaires de leur transmission sont *trop souvent* formels, moribonds, inutiles, parce que la manière dont leur étude est proposée conduit non seulement professeurs et élèves à ignorer les problèmes qui les ont rendus nécessaires (Chevallard & Cirade Chap. 2), mais encore à omettre les questions que les élèves rencontrent en les étudiant. Notre enjeu est donc, au cas par cas, la compréhension des systèmes de décisions d'enseignement des professeurs et de leur sensibilité aux décisions des élèves. Cette compréhension est fondée sur l'observation (1) de ce que les élèves et le professeur font, et (2) de ce qu'ils disent en rapport à ce qu'il font.

17.6.2 La vidéo comme ressource pour l'étude des phénomènes

Nous avons essayé de montrer comment un professeur pouvait constituer en ressources des éléments apportés par les élèves, en leur donnant vie dans le cours de la séance.

Le propos se trouverait sans doute mieux soutenu par un film documentaire, qui montrerait et démontrerait dans le même mouvement. Nous espérons malgré tout que même si les aspects dynamiques de l'action ne peuvent être rendus, la nécessité de penser en termes de systèmes sémiotiques est apparue clairement, dans une écriture soutenue par des photogrammes. Il nous semble qu'une description écrite de l'ingénierie ne permet pas d'imaginer le travail dont nous avons rendu compte. Car l'observation vidéo permet de constater que la mise en langage de l'action n'est pas un travail de communication au sens habituel de transmission d'un message (Shannon 1948 ; Jakobson 1963). Il s'agit d'une présentation des éléments pour penser, qui doit être conduite à distance du monde des objets et des actions, un travail qui ne peut s'appuyer seulement sur la langue naturelle, un travail collectif de construction de systèmes formels qui peuvent guider l'action (Fleck 1935/2005 ; Sensevy Chap. 8). Dans toutes les activités de compréhension du monde, il y a d'abord la production d'un système de représentations sur lequel fonder le travail de dépsychologisation et de rationalisation, la construction d'un modèle et l'expérimentation de ses propriétés opératoires (Bachelard 1965).

Dans cette perspective, on peut également avancer que dans l'étude de situations didactiques, l'organisation des éléments pour penser l'action doit être conduite à distance des objets et des actions. La vidéo nous semble alors incontournable. Car chaque réalisation didactique est une interprétation de l'œuvre à étudier. Si cette interprétation mérite l'étude, seule la vidéo, qui donne à voir et à entendre l'action dans ses modalités matérielles, corporelles et énonciatives conjointes, et qui permet de libérer l'observation du mouvement temporel, peut permettre l'émergence et l'organisation des éléments pour penser cette action.

La banalisation des procédés d'enregistrement nous permet d'envisager de manière plus systématique cette mise à distance. Il semble en outre que l'analyse nécessite de considérer les enregistrements dans des paradigmes nouveaux (Winkin 2000) : nous avons utilisé ici la distinction analogique-digital, qui permet de produire des observables nouveaux. Ainsi, les photogrammes sont aptes à montrer les phénomènes analogiques, et permettent de donner à voir une bonne part des constructions sémiotiques en les reliant à leurs fonctions didactiques. La mise à distance ainsi réalisée peut devenir un outil du développement professionnel des professeurs.

Pourrait-on aller plus loin que la saisie d'un épisode et imaginer une « écriture filmique » de type « documentaire pour la formation » ? Sans doute, mais le documentaire fige des catégories, pas forcément explicites, qui gagneraient à rester ouvertes. L'étude par les professeurs des œuvres qu'ils créent, pour pouvoir jouer son rôle d'aide au développement la pratique, ne semble pas pouvoir échapper à un usage de la vidéo des séances complètes, telles qu'elles se déroulent. Mais notre travail montre que cette étude suppose bien plus qu'un simple visionnement, si l'on veut qu'elle permette l'élucidation et la préfiguration de l'action.

Une des conditions de la mise à distance du regard sur les corps dans la classe est d'avoir à disposition un système de description qui permet de « reconnaître les signes distinctifs de tel ou tel phénomène didactique » (Leutenegger 2000, p. 245). Les méthodes d'analyse spécifiques aux techniques du corps (la proxémique en est une) ne prennent une force heuristique que par rapport à l'état des connaissances didactiques dans le domaine de savoir considéré. Notre exemple en illustre

¹² Notamment dans le cadre d'École pour la production de Ressources « Saint Charles », à Marseille.

la fécondité en donnant par exemple à voir les processus corporels et langagiers de la mésogenèse, mais il s'inscrit dans un contexte où l'action du professeur est soutenue par une épistémologie très élaborée, visible tant dans la préparation (Brousseau & Brousseau 1987) que dans la mise en œuvre.

La possibilité de diffusion de vidéos comme support de l'étude en vue du développement professionnel dépend donc étroitement de l'avancée des connaissances didactiques, qui suppose l'étude des systèmes didactiques au plus près de la classe. Pour ce faire, un usage raisonné des vidéos comme ressources pour le professeur gagnerait sans doute à être pensé dans un dispositif collectif et même coopératif à l'image des « lesson studies » (Winsløw Chap. 6).

Références

- Bachelard, G. (1965). *Le rationalisme appliqué*. Paris: PUF.
- Bateson, G. (1977). *Vers une écologie de l'esprit (2 vol.)*. Paris: Points seuil. Original work published 1972.
- Brousseau, G. (1980). Problèmes de l'enseignement des décimaux » (1ère partie), *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 1(1), 11-58.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée sauvage.
- Brousseau, G. (2003). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques*. Consulté le 22 septembre 2009 sur http://perso.wanadoo.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf
- Brousseau, G., & Brousseau, N. (1987). *Rationnels et décimaux dans la scolarité obligatoire*. Bordeaux: IREM université Bordeaux 1.
- Brousseau, G., & Centeno, J. (1991). La mémoire du système didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 11(2-3), 67-210. http://perso.wanadoo.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdfhttp://perso.wanadoo.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf
- Chevallard, Y. (1991). Le caractère expérimental de l'activité mathématique. *Petit x*, 30, 5-15.
- Chevallard Y. (1996). La fonction professorale : esquisse d'un modèle didactique. In R. Noirfalise & M.-J. Perrin-Glorian (Eds.), *Actes de la VIIIe école d'été de didactique des mathématiques* (pp. 83-122). Clermont-Ferrand, France : IREM.
- Chevallard, Y. (1997). Questions vives, savoirs moribonds : le problème curriculaire aujourd'hui. communication à *Défendre et transformer l'école pour tous*, Marseille, octobre.
- Chevallard, Y. (2008). Un concept en émergence : la dialectique des médias et des milieux. *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques de 2007*, pp. 344-366. Paris: IREM Paris VII.
- Douglas, M. (1999). *Comment pensent les institutions*. Paris: La Découverte. Original work published 1986.
- Eilan, N., Hoerl C., McCormack T., & Roessler J. [dir] (2005). *Joint Attention : Communication and Other Minds*. Oxford: OUP.
- Fleck, L. (1935). Genèse et développement d'un fait scientifique. Paris: Les belles lettres. Original work published 2005.
- Flückiger, A., & Mercier, A. (2002). Le rôle d'une mémoire didactique des élèves, sa gestion par le professeur. *Revue Française de Pédagogie*, 141, 27-37.
- Forest, D. (2006). Analyse proxémique d'interactions didactiques. *Carrefour de l'Education*, 21, 73-94.
- Forest, D. (2009). Agencements didactiques, pour une analyse fonctionnelle du comportement non-verbal du professeur. *Revue française de pédagogie*, 165, 77-89.
- Foucault, M. (1963). *Naissance de la clinique*. Paris: PUF.
- Hall, E. T. (1963). A system for a notation of proxemic Behavior. *American Anthropologist*, 65, 1003-1026.
- Hall, E. T. (1971). *La dimension cachée*. Paris: Points Seuil. Original work published 1966.
- Jakobson, R. (1963). *Essai de linguistique générale*. Paris: Minuit.
- Leutenegger, F. (2000). Construction d'une clinique pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels de l'enseignement. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20(2), 209-250.
- Matheron, Y., & Salin, M.-H., (2002). Les pratiques ostensives comme travail de construction d'une mémoire officielle de la classe dans l'action enseignante. *Revue française de pédagogie*, 141, 57-66.

- Mercier, A. (2008). Pour une lecture anthropologique du programme didactique. *Education & Didactique*, 2(1), 7-40.
- Mercier, A., Lemoyne, G., & Rouchier, A. (2001). *Le génie didactique. Usages et mésusages des théories de l'enseignement*, pp. 233-249. Bruxelles: De Boeck.
- Mercier, A., Rouchier, A., & Lemoyne, G. (2001). Des outils et techniques d'enseignement aux théories didactiques. In A. Mercier, G. Lemoine & A. Rouchier (Eds.), *Le génie didactique. Usages et mésusages des théories de l'enseignement*, pp. 233-249. Bruxelles: De Boeck.
- Mercier, A., & Salin, M.H. (1988). L'analyse a priori, outil pour l'observation. In Collectif, *Actes de l'Université d'été "Didactique et formation des maîtres à l'Ecole Élémentaire"*, pp. 141-163. Bordeaux: IREM de Bordeaux.
- Mercier, A., Sensevy, G., & Schubauer-Leoni, M-L. (2000). How Social Interactions within a Class Depend on the Teacher's Assessment of the Various Pupils' Mathematical Capabilities, a Case Study. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, International Review of Mathematics Education*, 32, 126-130.
- Rajoson, L. (1988). *L'analyse écologique des conditions et des contraintes dans l'étude des phénomènes de transposition didactique : trois études de cas*. Thèse, Université d'Aix-Marseille.
- Rilhac, P. (2008). *Etude didactique comparative de pratiques d'élèves au collège en Mathématiques et en Education Physique et Sportive : vers la notion de jeux alternatifs*. Thèse : Université de Rennes 2. <http://cm.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/shannon1948.pdf>
- Sensevy, G. (1998). *Institutions didactiques. Etude et autonomie à l'école élémentaire*. Paris: PUF.
- Sensevy, G. (2001). Théories de l'action et action du professeur. *Raisons Educatives, théories de l'action et éducation*, 4, 203-224. Bruxelles: De Boeck Université.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action du professeur. In G. Sensevy et A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble, l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : PUR.
- Sensevy, G., & Mercier, A. [dir.] (2007). *Agir ensemble, l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes: PUR.
- Sensevy, G., Mercier, A., & Schubauer-Leoni, M. L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur à propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20/3, 264-304.
- Sensevy, G., & Quilio, S. (2002). Les discours du professeur : vers une pragmatique didactique. *Revue Française de Pédagogie*, 141, 47-56.
- Sensevy, G., Schubauer-Leoni, & M-L., Mercier, A., Ligozat, F., Perrot, G. (2005). An Attempt to Model the Teacher's Action in the Mathematics Class. *Educational Studies in mathematics*, 59, 153-181.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423. <http://cm.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/shannon1948.pdf> consulté le 20 octobre 2008.
- Tomasello, M. (2004). *Aux origines de la cognition humaine*. Paris: Retz. Original work published 1999.
- Wilder, C. (1998). Being Analog. In A. Berger (ed.), *The Postmodern Presence*, 239-251. London: Sage.
- Winkin, Y. (2000). *La nouvelle communication*. Paris: Seuil

Chap. 18 - Enquête documentaire et action didactique conjointe professeur-élèves

Teresa Assude

L'intégration des technologies numériques dans l'enseignement est l'un des facteurs de changement curriculaire. Ce changement est surtout institutionnel. En effet, il apparaît dans le curriculum officiel, mais, pour le moment, comme le montrent certains travaux (Assude 2007, Lagrange & Caliskan 2009, Imbert 2008), le degré de changement du curriculum *réel* n'est pas encore en phase avec les injonctions institutionnelles (Assude *et al.* 2009, Kynigos *et al.* 2007). En ce qui concerne l'école obligatoire en France (jusqu'au 9^{ème} grade), la maîtrise des technologies d'information et de communication est l'un des sept piliers du socle commun des connaissances et des compétences (MENESR 2006) et, dans les programmes de mathématiques, il est explicite que ces technologies doivent être utilisées pour les apprentissages disciplinaires. Mais où en est-on ? Par exemple, la calculatrice, l'une des technologies indiquée explicitement dans les programmes de l'école primaire depuis 20 ans, est peu utilisée par les élèves en mathématiques : des travaux montrent qu'un certain nombre de résistances inhibent les usages dans les classes (Assude 2007, Assude *et al.* 2009). En outre, en France ces textes officiels ne sont pas toujours accompagnés d'autres types de ressources qui permettraient plus facilement aux professeurs d'implémenter ces changements comme cela existe dans d'autres pays (Ruthven Chap.10). Pourtant, l'existence de ressources apparaît comme l'un des facteurs pouvant avoir une influence positive sur cette intégration (Crisan *et al.* 2007).

Nous allons nous intéresser au *travail documentaire* des professeurs qui s'investissent dans le changement attendu, en prenant appui sur des résultats, à propos de l'intégration de logiciels de géométrie dynamique dans l'enseignement primaire, de deux projets de recherche : le projet MAGI (Mieux Apprendre la Géométrie avec l'Informatique, Assude 2007) et le projet « Versailles » d'intégration de Cabri dans des classes du primaire, financé par l'IUFM de Versailles (Assude & Gélis 2002).

Le travail documentaire du professeur est analysé en relation avec *l'action didactique conjointe* professeur-élève (Sensevy Chap. 8, Ligozat Chap. 16, Forest & Mercier Chap. 17). Nous essayons de préciser ce travail à partir d'une de ses composantes - l'enquête documentaire -, et d'étudier le lien entre types d'enquête et contraintes de l'action didactique, notamment des contraintes *mesogénétiques*, *topogénétiques* et *chronogénétiques* (partie 1). Dans un premier temps, nous précisons notre positionnement théorique, et ensuite exploitons nos résultats pour préciser comment le travail documentaire du professeur est contraint par le *jeu* (Sensevy 2007), non seulement celui qui est construit par le professeur *a priori* (partie 2), mais aussi celui qui est joué réellement dans la classe (partie 3).

18.1 Positionnement et hypothèses théoriques

18.1.1 Eléments théoriques

Nous allons aborder le problème du travail documentaire du professeur en nous plaçant dans le cadre de la théorie de l'action didactique conjointe professeur-élèves (Sensevy 2007). Chacun des termes de ce syntagme a son importance : le terme « action » met en avant la dimension des acteurs et leur « agir » dans le cadre d'institutions, le terme « didactique » focalise sur l'enjeu de l'action qui est celui d'enseigner et d'apprendre des savoirs, et le terme « conjointe » insiste sur le caractère relationnel et coopératif de ces actions.

Cette action conjointe peut être caractérisée à partir de la notion de « jeu » qui « a le mérite de souligner les aspects affectifs de l'action (l'investissement dans le jeu) et ses aspects effectifs, pragmatiques (quand et comment gagne-t-on ?) » (Sensevy 2007, p.19). D'autre part, cette action peut être analysée à partir de trois niveaux de description : faire *jouer* le jeu, *construire* le jeu et *déterminer* le jeu (Sensevy 2007). Ces descriptions seront faites à partir de trois genèses : i) mésogenèse (préciser les enjeux de savoir, les objets du milieu et les rapports à ces objets, soit la référence du jeu), ii) topogenèse (préciser les positions et les responsabilités des acteurs dans le jeu), iii) chronogenèse (analyser les différentes temporalités dans le jeu) (Sensevy, Mercier, Schubauer-Leoni 2000).

Notre postulat de départ est que, si l'action didactique est *conjointe*, elle l'est relativement aux trois niveaux de description, et le travail documentaire peut être analysé à ces trois niveaux. Nous allons voir comment le travail documentaire du professeur est contraint par le jeu, non seulement celui qui

est construit par le professeur *a priori*, mais aussi celui qui est joué réellement dans la classe. Ainsi nous montrerons comment l'élève, dans son jeu en classe, mais aussi hors de la classe, est présent dans ce travail documentaire du professeur, qui est fait souvent hors de la classe.

Nous considérons que l'enquête documentaire est l'une des composantes du travail documentaire du professeur. Nous entendons par *enquête documentaire* la recherche méthodique et systématique de ressources ou d'informations pour *savoir quelque chose* : par exemple savoir ce qu'il faut faire pour intégrer des technologies numériques dans une classe. Le résultat d'une enquête documentaire peut être un document mais aussi un savoir (ou une connaissance) qui n'est pas forcément un document. La distinction entre ressources et document (Gueudet & Trouche 2008 ; Chap.3) apparaît comme pertinente pour distinguer à la fois l'appropriation et la production de nouvelles ressources par le sujet. Nous n'allons cependant pas nous intéresser à la genèse documentaire du point de vue du sujet, mais montrer des liens entre l'enquête documentaire et les trois genèses.

Pour aborder la mesogenèse, nous prenons en compte *l'orientation de l'enquête documentaire* : enquête orientée vers l'artefact, enquête orientée vers la tâche de l'élève ou enquête orientée vers l'enjeu de savoir. Ces orientations ne sont pas exclusives. Nous mettons en relation ces enquêtes et l'action conjointe professeur-élèves, notamment en ce qui concerne les moyens pour dévoluer et réguler les tâches et les enjeux de savoir aux élèves. En ce qui concerne la topogénèse et la chronogénèse, nous prenons en compte la manière dont l'enquête prend en charge les difficultés des élèves (de ce point de vue, ce travail est proche de celui de Traglova Chap.15), notamment en permettant un certain nombre d'adaptations et de régulations du travail de l'élève. Ainsi nous considérons que l'enquête documentaire est forte (resp. faible) si elle est (resp. n'est pas), à un moment donné, orientée vers les enjeux de savoir.

L'enquête documentaire dépend non seulement de son orientation, mais aussi des ressources et de leur contenu. Ainsi nous proposons de définir le *potentiel* d'une ressource comme l'ensemble des réponses que cette ressource présente à un certain nombre de besoins : épistémologiques, pédagogiques et éducatifs, instrumentaux, didactiques ou autres besoins professionnels (Assude & Loisy 2009). Le potentiel d'une ressource peut être analysé à partir du couple (besoins, réponses), et d'une manière plus restreinte, à partir du triplet des genèses qui répondent à des besoins didactiques. C'est ce dernier choix que nous avons fait dans ce chapitre.

18.1.2 Contexte des recherches

Comme nous l'avons dit en introduction, nous allons appuyer nos analyses sur un matériel empirique, issu de recherches déjà terminées, qui portent sur l'intégration de logiciels de géométrie dynamique dans des classes de primaire. Nous allons relire les données de ces recherches¹ (corpus constitué par des entretiens de professeurs, par des observations en classe parfois sur le long terme, par des productions d'élèves ou des productions de professeurs ou de chercheurs) du point de vue du travail documentaire et des contraintes de l'action didactique conjointe professeur-élèves. Pour faire cette relecture, nous allons utiliser des hypothèses théoriques, appuyées à la fois sur des résultats de recherches antérieures et sur des développements théoriques mettant l'accent sur l'enquête documentaire.

Avant de préciser ces hypothèses, donnons quelques indications sur le contexte de ces recherches. Nous avons travaillé avec six professeurs dans deux projets différents : deux professeurs (Marie et Marianne²) dans le projet « Versailles » et quatre professeurs (Julie, Juliette, Jules et Judith) dans le projet « Magi ». Les six professeurs sont tous des professeurs expérimentés. Cependant, au départ du projet, ils ne connaissent pas les logiciels de géométrie dynamique, et même deux d'entre eux n'ont jamais utilisé les ordinateurs avec les élèves. Nous pouvons dire que ces professeurs n'ont pas de pratique de référence par rapport aux usages de ces logiciels et que le besoin de se documenter est une nécessité pour eux. Marie et Marianne travaillent ensemble, et les quatre autres travaillent seuls la plupart du temps, même si trois d'entre eux sont dans la même école. Tous les professeurs ont des classes de CM2³, sauf l'une qui a une classe de CP⁴. Nous allons surtout utiliser les données correspondant à Julie, Juliette et Jules qui sont dans la même école.

¹ Voir, pour plus de précisions, les publications sur ces recherches : Assude & Gélis 2002, Assude 2005, Assude 2007.

² Prénoms fictifs.

³ Elèves de 10 ans.

⁴ Elèves de 6 ans.

18.1.3 Hypothèses théoriques

Les quatre hypothèses théoriques suivantes sont issues d'une interaction entre des résultats de travaux précédents (Assude *et al.* 2007, Assude & Mercier 2007) sur l'action conjointe du professeur (qui ne concernent pas les données que nous sommes en train de relire) et des développements théoriques sur l'enquête documentaire et le potentiel d'une ressource.

Les deux premières hypothèses sont relatives à la mesogenèse. Dans Assude *et al.* (2007), nous avons pu mettre en évidence un certain nombre de dynamiques du milieu. Une première de ces dynamiques est relative à la dévolution d'un rapport adéquat au milieu qui se traduit non seulement par l'engagement de l'élève dans la tâche, mais aussi par l'engagement du professeur dans une analyse préalable des enjeux du jeu pour l'élève (en particulier dans une analyse des tâches à proposer aux élèves). Cet engagement peut être un moyen d'éviter certaines formulations « floues » (par exemple dans les consignes). Une première hypothèse (H1) peut être formulée de la manière suivante :

H1 : L'enquête documentaire est orientée vers la recherche de tâches pour les élèves et pas forcément vers les enjeux de savoirs sous-jacents à ces tâches. Une reprise de l'enquête peut avoir lieu si le milieu s'avère un milieu « flou » et qu'il ait fallu plusieurs rebondissements de la dévolution.

Une deuxième hypothèse concerne la régulation du milieu. Cette régulation du milieu peut se faire par des processus de *réduction* (par exemple réduire les objets ou la complexité conceptuelle des rapports aux objets) et d'*expansion* (par exemple introduire des objets problématiques) qui permettent de gérer l'incertitude des élèves face au jeu qu'ils ont à jouer. Ce résultat permet de formuler la deuxième hypothèse (H2) de la manière suivante :

H2 : L'enquête documentaire influence le type de régulations du milieu dans la classe. Une enquête documentaire légère ne donne pas forcément les moyens didactiques au professeur de gérer cette dialectique de la réduction/expansion du milieu.

Une troisième hypothèse concerne la topogénèse. Le partage topogénétique des lieux du professeur et des élèves peut influencer le jeu de l'élève et être aussi modifié par ce jeu. Les élèves et le professeur n'assument pas toujours de la même manière la position qui est la leur. Par exemple, le professeur peut assumer une position « basse » et être proche de la position « élève » lorsqu'il veut accompagner le travail de l'élève ou il peut aussi assumer une position « haute » lorsqu'il veut assumer une position d'observateur (Assude *et al.* 2007). En outre, le topos de l'élève (ce qu'il doit faire et assumer comme responsabilité en tant qu'élève) n'est pas toujours de même « épaisseur » selon le jeu prévu par le professeur. Par exemple le topos de l'élève peut augmenter ou diminuer en fonction du nombre et de la nature des tâches prévues par le professeur. Ces résultats nous permettent de formuler une troisième hypothèse (H3) :

H3 : l'enquête documentaire peut être orientée vers le potentiel d'une ressource qui peut être analysé non seulement en termes du topos de l'élève mais aussi en termes du topos du professeur.

La quatrième hypothèse concerne la chronogenèse. Notre travail (Assude 2005) sur les différentes temporalités dans la classe nous a permis de définir la notion de *rythme* d'une séance comme le rapport entre le temps didactique (découpage d'un savoir dans une durée) et le capital-temps (temps d'horloge auquel on attribue une valeur). Nous avons pu identifier un certain nombre de stratégies d'économie temporelle. En outre, dans une autre étude (Assude & Mercier 2007), nous avons pu identifier le phénomène d'économie temporelle suivant : « la gestion temporelle dans la classe est faite en estimant la valeur temporelle des situations de manière à économiser le maximum de capital-temps tout en faisant avancer le temps didactique. En d'autres termes, le rythme d'une séance ne doit être ni trop lent ni trop rapide. » Nous pouvons formuler la quatrième hypothèse (H4) de la manière suivante :

H4 : lors des enquêtes documentaires, le choix des ressources est influencé par l'économie temporelle prévue ou effective dans la classe.

Ces hypothèses ont une triple fonction : celle de mettre à l'épreuve des résultats précédents face à de nouvelles données empiriques ; celle de produire des éléments théoriques concernant l'enquête documentaire ; celle d'être des outils d'interprétation et de relecture de données déjà analysées avec d'autres outils théoriques, comme nous l'avons déjà dit. Ces hypothèses sont illustrées par les analyses dans les parties 2 et 3. Ces analyses permettront de mettre en évidence certains phénomènes relatifs à l'enquête documentaire.

18.2. Type d'enquête documentaire et construction du jeu de l'élève

Comme nous l'avons dit, la position des six professeurs est celle de « novices » par rapport aux usages des logiciels de géométrie dynamique. Cette position a conditionné le type d'enquête documentaire pour la construction du jeu de l'élève. Dans notre cas, les professeurs n'ont pas un *document principal*, qui serve de référence pour ce type de problème (Margolinas & Wozniak Chap.13). C'est plutôt le manque de documents (nous dirons plutôt de *ressources*, en cohérence avec Gueudet et Trouche Chap. 3) que les professeurs indiquent d'abord comme l'un des premiers obstacles pour les usages didactiques des logiciels. Ce manque de ressources peut être vu comme un *problème de la profession* (Chevallard & Cirade Chap. 2).

Nous avons identifié, auprès des six professeurs, deux types d'enquête. Le premier est orienté vers l'artefact, le second vers les tâches pour les élèves.

18.2.1– Enquête documentaire orientée vers l'artefact

Elle concerne quatre des six professeurs, qui ont d'abord suivi une formation rapide de trois heures, proposée par un formateur qui participait aussi à la recherche. Cette formation avait comme objectifs d'initier les professeurs aux différentes fonctionnalités du logiciel Cabri, de présenter les enjeux de la géométrie dynamique (par exemple, les différents statuts de points : point libre, point sur un objet, point d'intersection), la différence entre *dessin* et *figure* (une figure étant une classe de dessins ayant une même propriété), le rôle du *déplacement* pour invalider une construction, et de présenter certaines tâches pour les élèves. Cette formation n'a pas induit, chez les professeurs, le même type de posture. Nous allons nous intéresser à deux de ces professeurs, Julie et Jules, qui, lors des entretiens semi-directifs à la fin de l'année, ne mettent pas l'accent sur les mêmes éléments.

Julie :

« il m'a manqué des choses que je n'ai pas comprises dans la formation. En sortant de la formation je n'ai pas tout compris, et ensuite j'ai dû faire un gros investissement en temps pour pouvoir faire les séances. J'ai besoin de passer par des séances dirigées, c'est un tremplin pour faire ensuite un travail personnel. La compréhension vient quand tu as repris les choses ensuite. J'ai dû refaire même si j'avais compris les grandes lignes. Ensuite il y a eu le problème : qu'est-ce que je vais faire maintenant à mes élèves ? Par quoi je vais commencer ? Il y a le problème de monter les séances. Comment imaginer des situations ? »

Jules :

« Après notre première réunion, j'ai commencé tout de suite à manipuler le logiciel, même avant la formation, mais ça n'était pas clair, le statut des points, le « point sur deux objets ». J'ai fait beaucoup de choses seul et, à force de faire des choses, on se met en situation de recherche et ensuite je suis plus à l'aise avec les élèves. Se mettre à la place des élèves, ça allait bien. La formation, ça m'a apporté des réponses, ça m'a ouvert des perspectives et j'ai compris que le statut des points est important. »

Comparons les deux postures de Julie et de Jules. Le point de départ de l'enquête documentaire orientée vers l'artefact n'est pas le même. Pour Julie, le point de départ est donné sous la direction du formateur qui précise le *milieu* en indiquant les objets d'étude et les rapports à ces objets (mesogénèse). Pour Jules, le point de départ est donné par lui-même qui commence à explorer le logiciel et à se poser des questions. Si l'enquête documentaire est bien, dans les deux cas, orientée vers l'artefact, elle montre deux rapports différents à celui-ci : Jules se met dans une position d'enquêteur qui explore un continent ignoré et qui ne sait pas où l'exploration l'amènera, cela lui permet de se poser des questions et la formation vient lui apporter des réponses et lui ouvrir des perspectives ; Julie, par contre, se laisse guider par le formateur dans son premier contact avec le logiciel, elle se place dans une position de reprise de ce qui a été fait en formation. La topogénèse par rapport à l'artefact n'est pas la même.

En outre, même si Julie dit qu'elle a passé beaucoup de temps à s'initier au fonctionnement du logiciel, elle indique tout de suite que ce qui la préoccupait était l'organisation du travail de l'élève et le montage des séances : que faire avec les élèves ? L'orientation de l'enquête documentaire se déplace alors de l'artefact à la tâche de l'élève. La question professionnelle pour Julie est alors : « Comment imaginer des situations ? ». Nous reviendrons plus loin sur la reprise de l'enquête de Julie. Nous allons montrer certains liens que peuvent avoir ces deux enquêtes avec la construction du jeu de l'élève.

Julie a cherché sur Internet des séances d'initiation au logiciel Cabri puisque, selon elle, les ressources de la formation n'étaient pas directement utilisables avec les élèves. Elle a proposé deux

séances d'initiation à partir de fiches, téléchargeables sur le site de l'académie de Grenoble. Les types de tâches « Cabri » sont les suivants : créer et déplacer un point, créer et déplacer une droite, créer et déplacer un cercle, créer un segment à partir de deux points, nommer des points. Les élèves doivent lire une fiche et faire toutes les actions qui sont indiquées. Il n'y a pas eu d'institutionnalisation de connaissances instrumentales. Les différents statuts de points et le rôle du déplacement ne sont pas mis en évidence. Nous sommes ici en présence d'un mode d'intégration que nous avons appelé *initiation instrumentale* (Assude 2007) : le fait de s'initier au logiciel par des types de tâches logicielles.

Ces deux séances sont très guidées. Nous pouvons repérer un lien entre ce guidage fort et l'enquête de Julie qui, par ce moyen, contrôle les actions des élèves. Julie n'a pas une pratique et une aisance dans le maniement du logiciel, ce qu'elle exprime, dans l'entretien, de la manière suivante : « ça me rassurait que vous soyez là, vous auriez pu me dépanner ». Le topos de l'élève est délimité par des types de tâches fermées et guidées : la professeure, tout en ayant une position « haute » d'observatrice, se donne ainsi des moyens de gestion, sans prendre de risques trop forts. En contrôlant finement le travail de l'élève, elle se donne les moyens de ne pas être confrontée à des difficultés ou des questions auxquelles elle ne saurait pas répondre. En outre, malgré le fait que, dans certaines ressources de la formation, on ait insisté sur la spécificité de la géométrie dynamique (le rôle du déplacement et la distinction dessin/figure), Julie ne va pas, dans les séances d'initiation, mettre en évidence cet aspect pourtant essentiel. Sans pouvoir l'affirmer d'une manière certaine, il nous semble que Julie n'a pas assez pris conscience (au moins tout au début de l'année) du rôle du déplacement pour pouvoir l'intégrer lors de la construction du jeu de l'élève.

Jules a construit un jeu pour les élèves différent de celui de Julie. Il construit les séances en proposant une tâche mathématique que les élèves doivent aborder avec le logiciel. L'initiation au logiciel est faite à partir de ces tâches mathématiques qui permettent aux élèves de rencontrer ses différentes fonctionnalités.

Un exemple est celui de la médiatrice. Les élèves n'ont pas rencontré auparavant cette notion qui, d'ailleurs, ne fait pas partie du programme de l'école élémentaire. Le professeur présente donc une tâche nouvelle pour les élèves. L'objectif du professeur est la résolution d'un problème : les élèves doivent faire des hypothèses sur ce qu'est la médiatrice d'un segment. En explorant les commandes du logiciel, ils découvrent comment créer un segment, la médiatrice de ce segment, le milieu de ce segment, comment mesurer ou vérifier si une droite et un segment sont perpendiculaires. Nous avons appelé ce mode d'intégration *exploration instrumentale*, du fait que le rapport au logiciel se construit en explorant des tâches mathématiques.

Jules a ainsi construit un jeu pour les élèves à l'image de ce qu'il a fait personnellement : explorer le logiciel en résolvant des problèmes mathématiques. En outre il met en évidence le rôle du déplacement comme un moyen pour « voir » des phénomènes géométriques. Il a aussi utilisé les ressources de la formation pour construire le jeu de l'élève, notamment en prévoyant des tâches comme les « boîtes noires » (Laborde & Capponi 1994).

L'enquête documentaire menée par Jules, seul, avant la formation, en se confrontant aux différentes fonctionnalités du logiciel, lui a permis de saisir ensuite, dans la formation, certaines réponses (par exemple celle concernant le statut des points), de comprendre la spécificité de la géométrie dynamique (en prévoyant que les élèves utiliseront le déplacement pour « voir » des propriétés) et de repérer de nouvelles tâches qui pourront être proposées aux élèves. Le rapport à l'objet de l'enquête documentaire apparaît comme une variable essentielle dans le type d'enquête et dans les liens possibles entre ces enquêtes et la construction du jeu.

Dans l'hypothèse 3, nous avons dit que le potentiel d'une ressource peut être analysé du point de vue, non seulement du topos de l'élève, mais aussi du topos du professeur. Le potentiel d'une ressource à un moment donné, par exemple la formation à un logiciel de géométrie dynamique, a été plus activé par Jules que par Julie. L'enquête documentaire de Jules, avant la formation, lui a permis de trouver des réponses à des questions qu'il s'est posées avant, et lui a permis de voir la spécificité de la géométrie dynamique, notamment le rôle du déplacement. Le topos du professeur est plus étendu, ce qui lui permet plus facilement de construire un jeu pour l'élève qui tienne compte de cette spécificité. Le rôle du déplacement apparaît donc plus nettement dans les jeux construits par Jules. Une enquête légère comme celle de Julie (orientée d'ailleurs très rapidement vers les tâches des élèves), autour seulement de quelques fonctionnalités du logiciel, réduit le topos du professeur lié au potentiel de la ressource. En outre, lors de la construction du jeu par le professeur, il peut alors se faire que le topos

de l'élève se trouve, en conséquence, réduit par le fort guidage et par le manque de travail autour du déplacement.

La topogénèse varie en fonction du rapport du professeur à l'objet de l'enquête et du type de celle-ci. Cependant les lieux du professeur et de l'élève peuvent évoluer en fonction du temps et des reprises de l'enquête documentaire. Lors de l'un des entretiens, Julie identifie quatre types de difficultés : la construction des séances, la durée des séances, le niveau conceptuel des situations et le manque de ressources. Le topos du professeur est enrichi par l'identification de ces difficultés puisque celles-ci permettent de reprendre une enquête documentaire en ayant comme guide ces questions. Voyons maintenant la reprise de l'enquête documentaire orientée vers la tâche de l'élève.

18.2.2 Enquête documentaire orientée vers la tâche de l'élève

L'une des préoccupations de Julie a été la mise en place d'un milieu pour l'élève : que faire faire à l'élève ? Sur quels objets travailler ? Julie reprend l'enquête documentaire, et nous allons comparer cette enquête avec celle menée par Juliette.

Julie et Juliette sont dans la même école mais ne travaillent pas, en général, ensemble. Pourtant, pour ce projet, elles ont cherché ensemble des ressources sur Internet. Toutes les deux ont utilisé les mêmes fiches téléchargées pour initier les élèves au fonctionnement du logiciel. Elles ont cherché d'autres ressources qui pourraient correspondre à ce qu'elles étaient en train de faire dans leurs classes de CM2, mais elles ont affirmé, dans les entretiens, qu'elles n'ont pas trouvé de ressources spécifiques à ce niveau scolaire.

Julie et Juliette divergent dans l'enquête orientée vers la tâche de l'élève. Juliette a trouvé, sur un site académique, deux fiches sur la symétrie axiale, qui sont au départ destinées aux élèves de sixième, et elle décide d'utiliser ces fiches (deux séances et elle ajoute une 3^{ème} séance en papier-crayon). Julie, quant à elle, ne travaille pas sur la symétrie axiale, elle ne veut pas utiliser ces ressources. N'ayant rien trouvé dans les ressources consultées (manuels, sites académiques) qui réponde aux contraintes qu'elle s'impose lors de la construction du jeu, elle décide de concevoir elle-même deux séances. L'une de ces contraintes est celle de pouvoir revisiter des savoirs anciens qui ne semblent pas avoir été acquis par certains élèves. Ainsi, elle veut que le logiciel puisse permettre aux élèves de revisiter les propriétés du carré et celles des triangles particuliers (pour plus de détails, voir Assude 2007).

Face au manque de ressources conformes à son projet lors de son enquête documentaire, Julie ne trouve pas de réponse toute faite et décide alors d'adapter des tâches anciennes. Les tâches proposées aux élèves ne sont pas des tâches fermées, comme c'était le cas dans les séances d'initiation. Ainsi, Julie élargit le topos de l'élève en lui permettant de rencontrer des tâches anciennes avec de nouveaux outils qui lui font rencontrer la nécessité de connaître les propriétés pour pouvoir construire le carré. En outre, Julie élargit le topos du professeur car la gestion de tâches ouvertes, plus difficile, permet au professeur de rencontrer des problèmes liés au logiciel et du coup de reprendre l'enquête orientée vers l'artefact pour pouvoir résoudre ces problèmes.

Juliette construit un autre type de jeu pour les élèves. L'objectif de ces séances, tel qu'il est indiqué par la professeure, est la découverte de la notion de « symétrie axiale » avec le logiciel. Le travail proposé est fortement guidé, il décrit la technique de construction que les élèves doivent mettre en œuvre suivant le scénario suivant : demande d'observation d'un phénomène géométrique (par exemple une propriété de la symétrie axiale) ; ensuite formulation de cette propriété en donnant des phrases à compléter (par exemple : *Complète : La symétrie d'un segment est un de même*).

Les tâches sont fermées : les élèves doivent suivre des consignes écrites dans une fiche. Cette fermeture des tâches a permis à la professeure de contrôler finement le travail des élèves. Lorsqu'on ne domine pas encore très bien le logiciel ni ce qu'on peut faire avec, l'un des moyens de contrôle est de faire travailler les élèves individuellement (ou en binôme) sur des tâches très cadrées où les réponses et les réactions des élèves peuvent être prévisibles (ce qui est moins le cas lors de situations ouvertes). Un guidage fort du travail des élèves peut ainsi dénoter une difficulté à gérer le rapport au logiciel. À ce moment, par rapport au potentiel des ressources, Juliette non seulement rétrécit le topos de l'élève, mais elle rétrécit aussi le topos du professeur. Cependant ce rétrécissement est l'une des conditions pour que cette professeure puisse commencer à utiliser un logiciel de géométrie dynamique dans la classe.

Pour construire le jeu de l'élève, l'enquête documentaire orientée vers la tâche de l'élève n'est pas forcément dirigée vers les enjeux du jeu pour l'élève. Ce fait est visible dans le choix de Juliette de

proposer des tâches simples, fermées, découpées en sous-tâches qui permettent de guider fortement le travail de l'élève mais finalement celui-ci ne se rend pas compte des enjeux du travail. Cela va dans le sens de notre première hypothèse et peut ensuite avoir des conséquences sur le jeu joué effectivement par l'élève en classe. Nous en donnerons un exemple dans la troisième partie.

18.3 Enquête documentaire et jeu de l'élève : contraintes chronogénétiques et mesogénétiques

Nous allons nous intéresser aux liens entre les enquêtes documentaires et l'action conjointe professeur-élèves dans la classe, en nous focalisant ici sur les contraintes chronogénétiques et mesogénétiques. Nous allons aborder cet aspect à partir de deux exemples pris dans les classes de Julie et de Juliette.

18.3.1 Difficultés des élèves et reprise de l'enquête⁵

Lors de la première année d'intégration du logiciel Cabri, il est difficile pour un professeur de maîtriser le temps didactique, c'est-à-dire de savoir exactement l'ordre et l'avancement de ce savoir, et de prévoir certaines des difficultés des élèves (Assude 2005). Lors d'un entretien, Julie évoque deux de ses difficultés : la construction et la durée des séances. Elle indique :

« J'ai eu beaucoup de mal à me mettre à la place des élèves, je n'arrivais pas à envisager les difficultés des élèves. Du coup je me suis dit qu'il serait intéressant de partir de difficultés que j'avais repérées dans la classe par rapport aux polygones. Surtout que nous n'avons pas trouvé d'activités intéressantes sur Internet ».

Deux facteurs concourent à ce que Julie adapte des tâches anciennes. Le premier facteur est le manque de ressources (existantes ou conformes à son projet) sur les usages de logiciels de géométrie dynamique. Ce manque de ressources fait que les difficultés des élèves ne sont pas forcément répertoriées, d'où la difficulté de pouvoir les anticiper. Le deuxième facteur est le choix de la reprise de savoirs anciens, et la décision de travailler sur les propriétés du carré et des triangles particuliers. Ce choix permet d'insérer le travail du logiciel dans une contrainte faible : la dépense de capital-temps est faite pour reprendre des savoirs anciens sous une forme nouvelle. Les élèves qui ne connaissent pas encore ces propriétés pourront les retravailler ; les élèves qui les connaissent pourront être aussi motivés car ils pourront utiliser ce qu'ils savent sans avoir l'impression qu'ils font la même tâche et qu'ils perdent leur temps. Même si le temps didactique n'avance pas, le temps d'apprentissage peut avancer.

Il apparaît alors qu'une des contraintes dans le choix des tâches est la valeur temporelle de ces tâches. La réalisation des tâches peut-elle avoir lieu dans une durée limitée (par exemple une séance d'une heure) ? Les tâches proposées permettent-elles de faire avancer le temps didactique ou une autre temporalité ? Partons d'un exemple pour voir le rapport entre les difficultés des élèves et le besoin pour la professeure de reprendre l'enquête.

18.3.2 Adaptations et régulations

La première séance concerne le type de tâches suivant : T1 - construire un carré à partir de deux droites perpendiculaires. Ce type de tâches est d'abord problématique pour les élèves, ce qui amène la professeure à intervenir : *« dans un carré, à quoi peut correspondre ces droites perpendiculaires ? »*. Un élève répond : *« les diagonales »*, et la professeure : *« ça peut être les diagonales et puis ça peut être quoi ces droites ? »*. Un autre élève répond : *« ça peut être deux côtés »* et la professeure en faisant des gestes dit : *« utilisez ces deux droites, ça peut être des côtés ou des diagonales »* et rajoute : *« on dirait que vous n'avez pas fait de carrés dans votre vie »*. Ce premier type de tâches est alors décliné en deux autres types de tâches :

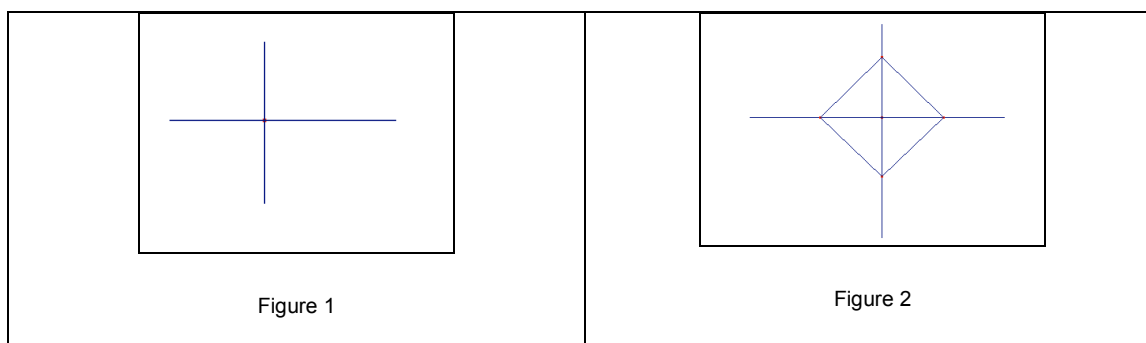
T2 - construire un carré à partir de deux côtés,

T3 - construire un carré à partir des diagonales.

L'action conjointe du professeur et des élèves, par le biais de questions-réponses, va permettre une réduction du milieu en prenant les types de tâches de construction plus précises T2 et T3. Les élèves commencent d'abord (sauf un binôme) par T2 et ils utilisent, pour la plupart, des *techniques perceptives* (Assude & Gélis 2002) qui ne résistent pas au déplacement. Des difficultés instrumentales apparaissent alors et aucune technique Cabri robuste n'apparaît. Une mise en commun au tableau de la classe va faire que la plupart des élèves laissent T2 pour s'intéresser à T3 car les figures tracées au tableau par deux élèves ne donnent pas les mêmes informations. Ainsi la figure 1 indique

⁵ Nous sommes là dans une perspective proche de Trgalova (Chap.15), qui fait le lien entre le travail documentaire et la prise en compte des difficultés des élèves.

seulement les deux droites de départ, mais aucune technique n'est envisageable à partir de là, tandis que la figure 2 est suggestive car elle permet aux élèves d'envisager une technique de construction.



Pourquoi les élèves arrivent-ils à trouver une technique pour accomplir T3 et n'arrivent-ils pas à en trouver une pour T2 ? C'est encore l'action conjointe de la professeure avec un élève qui va déplacer l'attention des élèves de T2 à T3 puisqu'ils induisent une technique ancienne qui est celle que les élèves connaissent en papier-crayon (en utilisant le compas et le cercle). Dans le cas de T3, la technique Cabri est proche de celle utilisée en papier-crayon tandis que dans le cas de T2, la technique en papier-crayon (utilisant la règle graduée) n'est pas proche de la technique Cabri, et ainsi la difficulté est plus grande (par exemple le tracé de deux segments perpendiculaires n'est pas évident).

Il y a trois types de difficultés des élèves, qui ne sont pas prises en compte de la même manière par la professeure. La première difficulté est dans la dévolution de la tâche T1. En posant des questions aux élèves, elle précise le milieu qui apparaît « flou » pour les élèves. Ainsi l'élève est confronté à deux types de tâches qui sont aussi des techniques de construction d'un carré : à partir des côtés et à partir des diagonales. Les élèves peuvent alors s'investir dans l'accomplissement d'une des tâches. La régulation se fait par réduction du milieu concernant les tâches mathématiques.

La deuxième difficulté est liée aux connaissances instrumentales : comment tracer deux droites perpendiculaires ? Comment reporter des longueurs ? Pour traiter ce type de difficulté, la professeure utilise deux stratégies : elle renvoie les élèves aux menus de Cabri (par exemple pour la perpendicularité) ; et, avec l'aide d'un élève, elle induit une technique pour T3 qui est proche de celle en papier-crayon. Le milieu avec Cabri va être enrichi par le lien avec cette technique papier-crayon. Or cela n'est pas fait par rapport à T2, qui finalement va être seulement accomplie en papier-crayon. Le fait de mettre l'accent sur T3, dont la technique est plus proche d'une technique en papier-crayon et d'abandonner T2 dans l'environnement Cabri, indique que la professeure a davantage de moyens pour gérer T3 que pour gérer T2 (dont la technique implique plus de manipulations, et de plus, nécessite de « cacher des objets »).

Lors de l'analyse de cette séance, Julie nous a dit qu'elle ne savait pas comment mettre en évidence les erreurs lors de la construction d'un élève : « *les élèves ont construit une figure qui semblait un carré et j'étais un peu démunie pour mettre en défaut cette construction* ». En outre, sa non intervention face à des difficultés des élèves, notamment par rapport à T2, nous amène à dire qu'il y a encore des éléments sur lesquels elle a besoin d'enquêter pour pouvoir répondre aux élèves. Elle nous dit dans les entretiens : « *il y a des choses que je ne sais pas faire avec Cabri, par exemple un segment perpendiculaire à un autre : ce n'est pas dans les menus* ». Pour elle, une reprise de l'enquête orientée vers l'artefact apparaît alors comme nécessaire et elle profite de la présence des chercheurs pour la réaliser.

Si nous revenons à notre hypothèse H2, nous observons que les enquêtes orientées (vers l'artefact, vers les tâches, mais aussi vers les enjeux du jeu) permettent aux professeurs d'avoir des moyens de régulation du travail de l'élève. Ces moyens peuvent être utiles dans la construction du jeu et dans la gestion du temps didactique par la prévision des difficultés des élèves, et ils peuvent être aussi utiles dans les régulations du jeu de l'élève.

18.3.3 Difficultés des élèves, milieu « pauvre » et valeur temporelle

Juliette choisit de travailler, cette année-là, dans la classe, sur un savoir nouveau : la symétrie axiale. Pour elle, le logiciel est un « *outil pertinent pour la découverte, ça me paraît naturel de faire comme ça* »

et ensuite le papier-crayon permet de vérifier ». Comme nous l'avons dit, elle choisit de faire travailler les élèves avec une fiche très guidée. Les élèves suivent pas à pas la fiche proposée, mais ils ont beaucoup de difficulté à identifier les propriétés et à remplir les phrases à trous pour formuler ces propriétés. Ce fort guidage, qui donne la technique de construction, élimine un certain nombre de difficultés instrumentales *a priori*, mais il ne permet pas aux élèves de se confronter au problème de la technique de construction et aux connaissances instrumentales et mathématiques nécessaires. Le paradoxe est que ce fort guidage par des sortes d'« algorithmes » ne rend pas forcément les élèves autonomes face à un problème semblable. Ainsi la professeure, après la deuxième séance sur la symétrie, dit dans l'entretien : « *il y a plein de consignes que je n'ai pas détaillées en pensant qu'il n'y aurait pas de problème, ce qui n'est pas le cas.* » Ce même type de phénomène a été aussi observé par Vandebrouck (Chap.14).

Plusieurs difficultés sont apparues aux élèves, en ce qui concerne les points et la désignation des points. Dans la deuxième séance, les élèves doivent construire un cercle de centre A passant par B. La technique donnée est alors : « *Pour cela, place les points, puis sélectionne l'outil Cercle dans la boîte Création. Approche le curseur de A : clique quand le message « ce point comme centre » apparaît. Clique et déplace alors la souris jusqu'au point B (le cercle se construit). La construction sera terminée lorsqu'en t'approchant du point B, le message « passant par ce point » apparaît* ». Or, comme il n'est pas écrit dans la technique de nommer les points, certains élèves ne le font pas, ce qui amène la maîtresse à dire « *Qu'est-ce que vous faites ? Où est A, où est B ?* ». Un binôme d'élèves, pour tracer et mesurer les segments [AE] et [A'E'], vont placer deux nouveaux points qu'ils nomment A et E sans utiliser les points A et E qu'ils avaient déjà sur leur figure. Ceci peut être expliqué par le fait que les élèves ne voient pas l'activité dans son ensemble, ni son enjeu, mais suivent pas à pas une fiche sans faire le lien entre ce qu'ils doivent faire et ce qu'ils ont déjà fait. Cette interprétation est aussi celle faite par Vandebrouck (ibidem).

Vu les difficultés des élèves, Juliette a ajouté une troisième séance, car les élèves ne sont pas rentrés dans le jeu du savoir, même s'ils ont été actifs. Le choix d'un guidage fort, qui permet de contrôler finement le travail des élèves, s'est avéré improductif, car il a fallu qu'elle ajoute une séance, donc du capital-temps, pour reprendre les fiches sur la symétrie axiale. Le temps didactique n'a pas avancé pendant les séances avec Cabri, même si le choix d'un savoir nouveau avait été fait *a priori*. Le rythme total a été lent, car le rapport entre le temps didactique et le capital-temps était faible.

18.4 Conclusion

L'enquête documentaire est l'une des composantes du travail documentaire du professeur. De ce point de vue, cette composante est l'une des déterminations du jeu didactique. Nous nous sommes focalisée sur les liens entre l'enquête documentaire et la construction du jeu par le professeur, ainsi que le jeu effectif en classe. Nous avons énoncé plusieurs hypothèses théoriques.

Dans l'hypothèse H3, nous avons dit que le potentiel d'une ressource peut être analysé non seulement du point de vue du topos de l'élève, mais aussi du topos du professeur. Or il nous semble que les analyses produites permettent d'élargir cette hypothèse. Ainsi, nous considérons maintenant que le potentiel d'une ressource peut être analysé à partir des éléments suivants :

- le topos de l'élève, par l'ensemble des types de tâches, des techniques possibles, et plus généralement par des *praxéologies* (Chevallard Chap. 2) ;
- le topos du professeur, par le biais des moyens de dévolution, de régulation et d'institutionnalisation ;
- la référence du jeu (enjeux de savoir mathématiques mais aussi instrumentaux) ;
- l'économie temporelle (en estimant la valeur temporelle des tâches, et le rythme des séances ou des séquences).

Le potentiel d'une ressource (par exemple la formation aux logiciels de géométrie dynamique et toutes les ressources que cette formation comporte) peut être plus ou moins activé par le professeur. Dans notre cas, le potentiel d'une ressource proposée en formation a été davantage activé par Jules que par Julie. L'enquête documentaire de Jules, avant la formation, lui a permis de trouver des réponses à des questions qu'il s'est posées avant, et d'élargir son topos et celui de l'élève, notamment en mettant en évidence le rôle du déplacement comme une spécificité de la géométrie dynamique.

Le professeur ne va pas avoir la même « disponibilité » pour accueillir les réponses qui peuvent exister dans le potentiel d'une ressource, selon sa position face à l'objet de l'enquête et selon

l'orientation de l'enquête. Le manque de ressources peut être aussi un moyen pour que le professeur adapte des ressources existantes et développe des documents (Gueudet & Trouche Chap.3) qui constitueront des ressources pour les élèves. Ainsi, l'enquête documentaire est un élément pour produire les lieux du professeur et des élèves.

Pour construire le jeu de l'élève, l'enquête documentaire, orientée vers la tâche de l'élève, apparaît comme l'une des étapes importantes, mais cette enquête n'est pas forcément dirigée sur les enjeux du jeu pour l'élève. Ce fait est visible dans le choix de Juliette de proposer des tâches simples, fermées, découpées en sous-tâches qui permettent de guider fortement le travail de l'élève mais finalement celui-ci ne se rend pas compte des enjeux du travail, ce qui confirme ce que nous avons dit dans l'hypothèse H1.

Cependant, le type d'enquête documentaire peut évoluer en fonction des questions que le professeur se pose, de la disponibilité à trouver des réponses dans les ressources existantes, de la rencontre de problèmes lors de l'action didactique en classe. Jules, en ayant déjà des questions, a pu trouver des réponses dans les ressources apportées par la formation. Julie a repris l'enquête en se laissant orienter par des problèmes professionnels (la construction des séances, la durée des séances, le niveau conceptuel des situations) et a su adapter les tâches d'un manuel au lieu de mettre en oeuvre un « prêt-à-utiliser » qui ne convenait pas au travail mathématique de sa classe. Ce n'est pas encore (au moment de nos observations) le cas de Juliette qui s'investit dans l'intégration par la mise en oeuvre d'un « prêt-à-utiliser » destiné aux élèves de sixième. Ce prêt-à-utiliser n'est pas adapté aux élèves, mais il est surtout adapté à la position du professeur dans sa gestion de la classe et du logiciel.

Si nous revenons à notre hypothèse H2, nous observons que les enquêtes orientées (vers l'artefact, vers les tâches mais aussi vers les enjeux du jeu) permettent aux professeurs d'avoir des moyens de régulation du travail de l'élève. Ces moyens peuvent être utiles dans la construction du jeu et dans la gestion du temps didactique par la prévision des difficultés des élèves, et ils peuvent être aussi utiles dans les régulations du jeu de l'élève pendant l'action didactique *in situ*.

L'une des contraintes dans le choix des tâches est la valeur temporelle de ces tâches. Dans une enquête documentaire, le choix des ressources est influencé par l'économie temporelle prévue ou effective dans la classe (hypothèse H4). La valeur temporelle prévue pour des tâches très guidées peut être assez importante, mais il peut arriver que cette valeur baisse d'une manière importante lorsqu'on réalise ces tâches en classe. Les difficultés des élèves peuvent faire en sorte que le temps didactique n'avance pas, et que le professeur soit obligé d'investir plus de capital-temps que celui qu'il avait prévu au départ.

Les problèmes professionnels rencontrés par le professeur, et les questions qu'il se pose, apparaissent comme des éléments déclencheurs de nouvelles enquêtes souvent ciblées sur un nouvel aspect, qui faisait défaut pendant les enquêtes précédentes. Les difficultés des élèves sont aussi l'un des facteurs déclencheurs de nouvelles enquêtes documentaires. Ces processus peuvent être un moyen de développement professionnel du professeur, de genèses professionnelles (Gueudet & Trouche Chap.3), mais cet aspect ne peut pas être traité dans ce chapitre.

Références

- Assude, T., Gélis, J.-M. (2002). Dialectique ancien-nouveau dans l'intégration de Cabri-géomètre à l'école primaire. *Educational Studies in Mathematics* 50, 259-287.
- Assude, T. (2005). Time management in the work economy of a class. *Educational Studies in Mathematics* 59(1), 183-203.
- Assude T. (2007). Teacher's practices and degree of ICT integration. In D. Pitta-Panzani, & G. Philippou (eds), *Proceedings of The Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp.1339-1348). ERME and University of Cyprus (CD-Rom): Larnaca, Cyprus.
- Assude T., Mercier A. (2007). L'action conjointe professeur-élèves dans un système didactique orienté vers les mathématiques. In G. Sensevy, & A. Mercier A (dir.), *Agir ensemble. Eléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves* (pp.153-185). Rennes : P.U.R.
- Assude T., Mercier A., & Sensevy G. (2007). L'action didactique du professeur dans la dynamique des milieux, *Recherches en didactique des mathématiques* 27(2), 221-252.
- Assude T., Buteau C., & Forgasz H. (2009). Factors Influencing Implementation of Technology-Rich Mathematics Curriculum and Practices, in C. Hoyles and J.-B. Lagrange (eds.), *Mathematics Education and Technology-Rethinking the Terrain*. Springer.

- Assude T., Loisy C. (2009). *Potentiel de transformation à travers l'analyse de parcours de formation Pairform@nce*. In Develotte C., Mangenot F., Nissen E (coord.), Actes du colloque EPAL, Grenoble, http://w3.u-grenoble3.fr/epal/dossier/06_act/pdf/epal2009-assude-loisy.pdf.
- Crisan, C., Lerman, S., & Winbourne, P. (2007). Mathematics and ICT: a framework for conceptualising secondary school teachers' classroom practices. *Technology, Pedagogy and Education* 16(2), 21-39.
- Guedet G., Trouche L. (2008). Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. le cas des mathématiques. *Éducation et Didactique*, 2(3), 7-33.
- Imbert J.-L. (2008). *L'intégration des TICE dans les pratiques mathématiques à l'école primaire*, Thèse de l'Université de Provence : Aix-en-Provence.
- Kynigos, C., Bardini, C., Barzel, B., & Maschietto, M. (2007). Tools and technologies in mathematical didactics. In D. Pitta-Panzani, & G. Philippou (eds), *Proceedings of The Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 1332-1338). ERME and University of Cyprus (CD-Rom): Larnaca, Cyprus.
- Laborde C., Capponi B. (1994). Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique. *Recherches en didactique des mathématiques* 14(1.2), 165-210.
- Lagrange J.-B., C.-Dedeoglu N. (2009). Usages de la technologie dans des conditions ordinaires. Le cas de la géométrie dynamique au collège. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 29(2), 189-226.
- MENESR (2006). *Le socle commun des connaissances et des compétences*. Paris : CNDP.
- Sensevy G., Mercier A., Schubauer-Leoni M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. A propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20.3, 263-304.
- Sensevy G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique, in G. Sensevy et A. Mercier (ed) (2007), *Agir ensemble. Eléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves* (pp.13-49). Rennes : P.U.R.

Conclusion

Ghislaine Gueudet et Luc Trouche

Nous avons pour objectif, dans cet ouvrage, d'étudier *le travail documentaire* des professeurs de mathématiques, ce travail par lequel les professeurs développent, dans une institution donnée, les ressources de leur enseignement. Cette étude a ouvert des pistes, mis au jour des problèmes pour les professeurs de mathématiques, pour leur profession, pour leurs ressources et pour l'enseignement. Proposer une synthèse des chapitres de cet ouvrage, en forme de clôture, même provisoire, serait sans doute prématuré. Nous voulons simplement souligner la richesse du travail collectif ici rassemblé, mettre en évidence certains constats saillants, et préciser des contours de chantiers en cours.

L'investigation, par la recherche, du travail documentaire : une perspective féconde

Le projet de l'ouvrage a révélé, nous semble-t-il, sa fécondité, et sa pertinence pour l'étude d'une multiplicité de questions liées à l'apprentissage, à l'enseignement et à ce que nous avons appelé les *genèses professionnelles*. Nous avons choisi d'emblée un point de vue étendu sur les ressources auxquelles les professeurs ont à faire :

- ressources basiques, matérielles et humaines, sans lesquelles le fait d'enseigner ne pourrait pas avoir lieu, ou dans des conditions de grande précarité ;
- ressources explicitement conçues *pour* l'enseignement, identifiées comme *textes pédagogiques*, *documentation scolaire*, ou *matériels curriculaires* ; quelque soit leur support (argile, papier ou numérique), elles embarquent des intentions spécifiques de leurs concepteurs et des institutions impliquées dans leur conception ou leurs usages ;
- ressources conçues *par* l'enseignement, productions des élèves (copies, interventions orales, gestes), mais aussi interactions entre professeur et élèves, ou professeurs, dans les nombreux lieux où se développe leur action conjointe. Ces ressources sont cruciales pour les *décisions didactiques* des professeurs ;
- ressources qui ne sont pas conçues *a priori* pour l'enseignement, mais qui sont intégrées, par les élèves ou les professeurs, dans un projet de faire et d'apprendre des mathématiques ;
- ressources très générales, comme le langage ou le temps, qui, comme ressources sociales cruciales, ne peuvent pas être étrangères à cette part essentielle de l'activité que l'on appelle apprentissage ou enseignement.

Ces multiples ressources sont bien des *ressources vives*, objets, ou plutôt *sujets de transactions* pour les professeurs comme pour les élèves. La mise en œuvre des ressources, en classe, requiert un *format d'activité*, des interventions spécifiques du professeur, qui doit maintenir un équilibre délicat entre *visibilité* et *invisibilité* des ressources. Le professeur doit assurer les conditions d'une *médiation sémiotique*, pour que, du travail des élèves avec des ressources, émergent des significations mathématiques. En classe et hors classe, les ressources sont transformées, modifiées, associées au cours de processus individuels ou collectifs, dans des communautés et des institutions. Substances essentielles pour la *documentation* des professeurs, elles en sont également un produit, toujours en évolution.

Au-delà de ces constats, et en dépit de la variété des contextes nationaux, des niveaux scolaires concernés et des références théoriques, les contributions de cet ouvrage soulignent les relations dialectiques entre les ressources et les professeurs. Elles soulignent la complexité des processus d'appropriation des ressources, ce que nous avons appelé les *genèses documentaires* : d'une part les caractéristiques des ressources, leurs *modes de destination*, les *prises en forme discursives* dont elles peuvent être porteuses, façonnent l'activité du professeur, dans un mouvement *d'instrumentation*. D'autre part les connaissances du professeur, ses *modes d'engagement*, ses *intentions* et ses *décisions didactiques*, orientent sa documentation, dans un mouvement *d'instrumentalisation*.

Ces *genèses documentaires* sont porteuses de stabilités et d'évolutions, concernant toutes les composantes de la pratique des professeurs. Ceux-ci ont certaines *formes d'engagement* avec les ressources, qui sont analysées en termes de *schèmes* d'utilisation, ou de *scripts curriculaires*. Les systèmes de ressources avec lesquels les professeurs interagissent constituent une caractéristique structurée et structurante de leur pratique. Ces dynamiques constituent les *genèses professionnelles*.

Paraphrasant Vergnaud¹, nous pourrions dire que le travail documentaire constitue *la source et le critère* des genèses professionnelles.

Les métamorphoses en cours : quelles ressources pour la profession enseignante ?

L'ouvrage met en évidence des métamorphoses très profondes en cours, engendrées par le recours généralisé au numérique. Celles-ci ne se limitent pas à la manière dont les contenus sont diffusés ; le recours au numérique a des conséquences *pratiques* autant que *sémantiques*. Il affecte le contenu des ressources, il bouscule la frontière entre concepteurs et utilisateurs, rendant encore plus sensibles les interactions dialectiques entre les professeurs, utilisateurs et concepteurs, et les ressources vives. Le numérique suscite de nouvelles formes collectives de conception de ressources, desquelles peuvent émerger des *communautés de pratique documentaires*.

Le numérique est aussi porteur de modifications des formes de scolarisation, suscitant de nouvelles relations entre les différents lieux et temps où l'on apprend, dans et hors l'école. L'abondance de ressources (notamment accessibles sur Internet) ne peut dissimuler le manque d'éléments susceptibles de constituer une référence partagée pour la profession enseignante. Le numérique a d'ores et déjà modifié les équilibres du développement professionnel des enseignants, mais qu'en est-il du *développement de la profession* ? Comment la profession enseignante peut-elle se constituer vraiment à travers ces mutations, relever le défi de la qualité de l'enseignement dans ce paysage mouvant ?

La recherche peut contribuer à proposer des ressources, penser des trajectoires d'usage notamment pour la formation : des exemples ont été proposés dans cet ouvrage, pensant les traces d'activité des élèves (copies, vidéos de classe) comme des ressources dont l'exploitation collective peut être féconde pour les genèses professionnelles. La recherche doit penser aussi des outils permettant d'analyser la qualité didactique et épistémologique des ressources matérielles comme des dispositifs de formation. Le travail documentaire dans des collectifs hybrides, associant professeurs, formateurs, chercheurs, apparaît comme une modalité prometteuse d'accompagnement des genèses documentaires. Dans ces communautés différents membres sont appelés à jouer différents rôles, concepteur, coordonnateur, utilisateur critique, observateur des usages dans la classe... Bien sûr, on ne peut pas penser le développement du travail documentaire des professeurs sous le modèle unique de ces collectifs hybrides, mais ceux-ci peuvent constituer des laboratoires où se donnent à voir de nouvelles relations entre *systèmes de ressources communautaires* et *systèmes d'activités* des professeurs.

Reste que la production collective de l'enseignement dépend des conditions institutionnelles de celui-ci. Les possibilités de travail collectif pour les enseignants, les dispositifs de formation, le recours aux résultats de la recherche, notamment en termes de *critères de qualité* des ressources, dépendent de l'institution qui doit prendre la mesure des transformations actuelles, des risques et des potentialités associées.

Poursuite et élargissement du travail

Les enjeux évoqués ci-dessus sont didactiques, mais aussi économiques et sociaux. Il est essentiel de poursuivre leur étude, et les questions associées requièrent de nouvelles approches. Nous avons engagé ici la présentation de nouvelles conceptualisations ; nous avons souligné d'emblée la nécessité de recours à une notion large de ressource, à une perspective qui considère des ressources vives. Nous avons introduit une réflexion en termes de genèses professionnelles, proposant un nouveau regard sur les processus, faits de continuités et de ruptures, dans lesquels sont engagés les enseignants dans leurs interactions avec des ressources, interactions qui parcourent l'ensemble de leur activité professionnelle. Nous avons également initié des méthodologies nouvelles : différents modes de suivi des professeurs, en classe et hors classe, ont été exploités, permettant l'accès à des aspects de leur activité usuellement peu questionnés.

Naturellement, le travail entrepris doit être poursuivi, dans différentes directions. Le cas des mathématiques a été retenu ici surtout en conséquence des ancrages de recherche des éditeurs, il a donné à voir une discipline dans laquelle les technologies de l'information et de la communication tiennent une place importante, et donc sans doute propice à une étude visant notamment à identifier les mutations qu'engendre le numérique. Le questionnement du travail documentaire dans d'autres

¹ « La solution du problème est la source et le critère du savoir », écrit Vergnaud (Quelques orientations théoriques et méthodologiques des recherches françaises en didactique des mathématiques, *Recherches en didactique des mathématiques*, 2(2), 215-232).

disciplines est nécessaire. La prise en considération d'autres pays, d'autres contextes d'enseignement et de formation permettra aussi de progresser dans l'identification des permanences et des variabilités du travail documentaire des professeurs.

Les questions théoriques et méthodologiques doivent être approfondies. Sur le plan de la méthodologie, les problèmes à résoudre sont complexes : comment dépasser le suivi ponctuel des quelques professeurs ? Comment accéder aux différents lieux, à la durée, afin de réellement saisir des évolutions, sans perdre la richesse des détails ? Comment développer des études portant sur des échantillons larges ? Peut-on penser, dans des collaborations notamment entre didacticiens et informaticiens, le développement d'outils de recueils de trace du travail documentaire ? Et de quels indicateurs d'efficacité des ressources matérielles et de leurs usages peut-on se doter ?

Sur le plan théorique, d'autres types de complexités apparaissent. L'ouvrage a rassemblé fructueusement des questionnements de didactique, d'histoire des mathématiques, d'ingénierie documentaire, d'informatique, de sciences de l'éducation (qui demandent encore à être complétés par d'autres approches, en ergonomie, en psychologie par exemple). Ces éclairages sont certainement complémentaires, tous permettent de progresser dans la compréhension du travail documentaire des professeurs. Les auteurs ont dépassé la simple juxtaposition, en tissant autant que possible des liens entre les chapitres. Comment poursuivre le dialogue au-delà de la présentation faite ici ?

Plusieurs chapitres du livre relèvent de la didactique des mathématiques, mais recourent à des approches théoriques différentes. Le travail mené ici a indiqué des articulations possibles, des éclairages complémentaires dont le travail pourra être approfondi au sein de cette communauté de recherche constituée, à travers les différents supports dont elle s'est dotée². Le travail interdisciplinaire se poursuivra nécessairement au sein de projets de recherche délimités (comme le projet Pairform@nce qui a été évoqué ici, le projet européen S-TEAM portant sur la formation des professeurs de sciences, ou... à compléter ?). Même si ces projets ne sont pas explicitement dédiés à l'étude du travail documentaire, ils croiseront sans doute les questionnements de cet ouvrage. Les échanges pourront là encore être facilités par le travail réalisé ici, qui ne propose pas un vocabulaire commun mais contribue à construire une compréhension mutuelle.

L'élaboration de cet ouvrage a donné lieu à de nombreux échanges entre les auteurs ; ce travail collectif et la diversité des approches ont fait des chapitres, au cours de leur processus de conception, des ressources vives. Notre volonté est qu'ils restent tels, dans la poursuite du travail des auteurs, comme dans l'usage qu'en feront les lecteurs !

² La communauté de recherche en didactique des mathématiques s'est dotée d'un site <http://www.ardm.eu/> qui constitue un lieu d'information et d'échange. Le site EducMath a ouvert un espace où les éditeurs du présent ouvrage développent leur recherche sur l'approche documentaire du didactique, et qui se veut aussi un lieu d'échange http://educmath.inrp.fr/Educmath/recherches/projets-de-recherche/approche_documentaire

Index

Action didactique conjointe	Didactical Joint Action	8, 16, 17, 18
Action du professeur	Teacher's Action	5, 16, 17
Activité	Activity	14
Activité de classe	Classroom Activity	5, 6, 10
Activité sémiotique	Semiotic Activity	5
Adaptation de connaissances	Knowledge Adaptation	14
Adaptation professionnelle	Professional adaptation	10
Agencements	Settings	17
Agentivité	Agency	16
Apprentissage de l'enseignant	Teacher learning	10
Approche instrumentale	Instrumental Approach	3, 5
Assistant méthodologique	Methodological Assistant	7
Association d'enseignants	Teachers Association	7
Attention conjointe	Joint Attention	17
Calcul	Computation	4
Collaboration	Collaboration	6, 7
Collectif (adj. ou substantif)	Collective	7
Communauté de pratique	Community of practice	6, 7, 8
Comportement non verbal	Non-Verbal Behaviour	17
Conception d'élève	Pupils's Conception	15
Conditions et contraintes	Conditions and constraints	2
Connaissance du métier	Craft Knowledge	10
Conscience (pratique, discursive)	Consciousness (practical, discursive)	16
Coopération	Cooperation	7
Curriculum	Curriculum	9
Cycle didactique	Didactic Cycle	5
Décision didactique	Didactical Decision	6, 15
Déroulement	Implementation	14
Développement professionnel	Professional Development	3, 14
Didactique	Didactics	6, 8, 18
Dispositif didactique	Teaching Device	16
Distance	Distance	17
Document	Document	3, 15
Document générateur	Generative Document	13
Documentation	Documentation	3, 8
Documents (amont, aval)	Documents (upstream, downstream)	16
Ecole de scribes	Scribal School	9
Ecriture	Writing	4, 9
Enquête documentaire	Documentational Inquiry	18
Enseignement des mathématiques	Mathematics Teaching	6, 10, 12, 13
Enseignement en classe	Classroom Teaching	6, 10
Equipes pluridisciplinaires	Multidisciplinary Teams	6
Erudition	Scholarship	9
Etude à l'intérieur de l'école	Study by teachers in school	6
Etude collective d'une leçon	Lesson Study	6
Etudes filmiques	Film Studies	11
Famille d'activité	Activity Family	3
Fondement	Ground	1
Formation des professeurs de mathématiques	Mathematics teacher education	1

Formation des professeurs des écoles	Primary School Teacher Training	13
Formes d'engagement	Forms of Engagement	11
Formes de destination	Forms of Address	11
Formes de l'intention	Patterns of intention	8
Fractions	Fractions	17
Genèse (de formes = morphogenèse)	Morphogenesis	16
Genèse communautaire	Community (collective) genesis	7
Genèse documentaire	Documentational Genesis	3, 14, 15
Genèse instrumentale	Instrumental Genesis	14
Géométrie dynamique	Dynamic Geometry	18
GOA (modèle)	GOA Model	6
Informatique	Computer Science	12
Infrastructure didactique	Didactical infrastructure	2
Institution	Institution	8, 16
Instrument de médiation sémiotique	Instrument of Semiotic Mediation	5
Instrumentalisation	Instrumentalization	3
Instrumentation	Instrumentation	3, 12
Intégration des technologies	Technology Integration	10
Investigation réflexive	Reflexive investigation	3
Manuel scolaire	Textbook	10, 12
Médiation sémiotique	Semiotic mediation	5
Mesogenèse	Mesogenesis	16, 17
Mésopotamie	Mesopotamia	9
Métrologie	Metrology	9
Mise en forme discursive	Discursive enactment	16
Modèle documentaire	Document model	7
Modes de destination	Modes of Address	11
Moyens d'enseignement	Standard Teaching Material	16
Mutualisation	Sharing	7
Norme	Norm	9
Normes NCTM (Société Nationale de Professeurs de Mathématiques)	NCTM Standards (National Council of Teachers of Mathematics)	11
Numération positionnelle	Place Value Notation	9
Numération sexagésimale	Sexagesimal Notation	9
Numérique	Digital	4
Œuvre du professeur	Teacher's work	6, 13
Orchestration	Orchestration	3
Organisation du travail	Work Organisation	6, 10
Outil TIC	ICT Tool	5
Outils et matériaux didactiques	Teaching tools and materials	10
Participation	Participation	7
Pensée des praticiens	Practitioner Thinking	10
Positionnement	Positioning	11
Potentiel d'une ressource	Potential of a resource	18
Potentiel sémiotique	Semiotic Potential	5
Pragmatique	Pragmatics	17
Pratique enseignante	Teaching Practice	10, 14
Pratiques d'enseignement	Instructional Practices	6, 10
Praxéologies	Praxeologies	2, 6
Préconstruits (épistémologique, pédagogique)	Preconstructs (epistemological ; pedagogical)	16
Problèmes de la profession	Profession problems	2, 6

Projet d'enseignement	Teaching Project	16
Proxémique	Proxemics	17
Raison computationnelle	Computational Reason	4
Raison d'être	Essential purpose	2
Raison graphique	Graphical Reason	4
Règle	Rule	8
Réification	Reification	7, 8
Représentation	Representation	4
Ressource	Resource	3, 5, 6, 15
Ressources du savoir	Knowledge resources	1
Ressources et manque praxéologique de la profession	Resources and profession praxeological lack	2
Savoirs dans l'usage	Knowledge in use	1
Scénario	Scenario	14
Schème	Scheme	3
Schémas d'utilisation	Utilization Schemes	5
Sémiose	Semiosis	17
Signe	Sign	4
Situation du professeur	Teacher's Situation	15
Stratégie	Strategy	8
Style de pensée	Thought Style	8
Support	Medium	4
Supports curriculaires conformes aux normes	Standards-based Curriculum Materials	11
Symbole	Symbol	4
Système d'activité	Activity System	3
Système didactique	Didactic System	6, 16
Système documentaire	Documentation system	3
Système épistémique	Epistemic System	6
Système professoral	Teacher System	6
Tablette d'argile	Clay Tablet	9
Tâche	Task	14
Texte du savoir	Knowledge Text	16
Texte pédagogique	Pedagogical Text	12
Théorie anthropologique du didactique	Anthropological theory of didactics	2, 6, 13
Théorie de l'action conjointe	Joint Action Theory	8
Théorie des situations didactiques	Theory of Didactics Situations	6, 13
TIC	ICT	5, 14
Travail documentaire	Documentation work	3, 8
Usage de la documentation scolaire	Curriculum Use	6, 10, 11, 13
Vidéo	Video	17