

Prendre en compte les métamorphoses du Numérique : vers une approche documentaire du didactique

Luc Trouche

<p>Resumen</p>	<p>La metamorfosis digital de las condiciones de enseñanza y aprendizaje conduce a un cambio de paradigma. En lugar de pensar en la integración de nuevas herramientas en los procesos de enseñanza, la cuestión es analizar la inmersión de estos procesos en nuevos entornos, ofreciendo así nuevas oportunidades para la búsqueda de recursos y el desarrollo de trabajo colectivo. Este artículo propone un nuevo enfoque teórico para analizar cómo los maestros hacen frente a estas oportunidades, y utiliza este enfoque para describir un proyecto de investigación nacional francés, el cual estudia el trabajo de los profesores con/para los recursos, teniendo en cuenta tanto los componentes individuales y colectivos. El artículo concluye poniendo en evidencia nuevos aspectos que la debe tener en cuenta.</p> <p>Palabras clave: Enfoque documental didáctico, trabajo colectivo de los profesores, recursos didácticos, instrumentación, instrumentalización</p>
<p>Abstract</p>	<p>The digital metamorphosis of teaching and learning conditions leads to a change of paradigm. Instead of thinking the integration of new tools in teaching processes, the issue is to analyze the immersion of these processes in new environments, offering new opportunities for searching resources and developing collective work. This paper proposes a new theoretical approach for analyzing how teachers are dealing with these opportunities, and uses this approach for describing a national French research project, studying teachers' work with/for resources, taking into account both individual and collective components. The paper concludes in evidencing new issues the research has to face.</p> <p>Keywords: Documentational approach to didactics, teachers collective work, teaching resources, instrumentation, instrumentalisation</p>
<p>Resumo</p>	<p>A metamorfose digital, das condições de ensino e aprendizagem, acarreta uma mudança de paradigma. Não se trata mais de pensar em integração de novas ferramentas nos processos de ensino, mas de analisar a imersão desses processos em novos ambientes, oferecendo-se assim novas oportunidades para a busca de recursos e o desenvolvimento do trabalho coletivo. Este artigo propõe um novo enfoque teórico para analisar como os professores estão lidando com essas oportunidades, e utiliza este enfoque para descrever um projeto de investigação nacional francês, o qual estuda o trabalho dos professores com/para os recursos, levando-se em conta os componentes individuais e coletivos. O artigo finaliza evidenciando novas direções que a pesquisa deve enfrentar.</p> <p>Palavras-chave: Abordagem documental para a didática; trabalho coletivo de professores; instrumentação; instrumentalização.</p>

1. Introduction

La pratique, l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques ont toujours été inséparables des artefacts qui les outillent, depuis les tablettes d'argile des écoles de scribe jusqu'aux tablettes digitales, en passant par les calculatrices. L'influence

de ces artefacts sur les formes de l'activité et sur les processus de conceptualisation a été l'objet de nombreuses études et a suscité l'émergence d'approches théoriques spécifiques. Ce sont ces approches théoriques que nous considérerons dans cet article, en montrant comment les métamorphoses du numérique ont conduit à un changement de paradigme dans les recherches du domaine. Dans la deuxième section, nous nous intéresserons à l'évolution des questionnements. Nous proposerons, dans une troisième section, une approche théorique prenant en compte ces évolutions. Dans une quatrième section, nous présenterons un programme national de recherche, en cours, qui exploite cette approche. La cinquième section mettra en évidence les nombreuses pistes de recherche, au niveau international, que ce programme ouvre désormais¹.

2. L'évolution des questionnements

Je montrerai cette évolution de deux façons. D'abord en m'appuyant sur la littérature de recherche internationale, ensuite en considérant mon expérience propre de chercheur.

2.1. D'un Handbook à l'autre

Pour décrire cette évolution, je me baserai d'abord sur les « Handbooks of Mathematics Education », qui, édités tous les dix ans, sont un bon baromètre des recherches du domaine. En 2003 et 2013, ce sont les mêmes éditeurs (A.J. Bishop, M.A. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, & F.K.S. Leung) qui ont coordonné cet ouvrage. J'ai participé, dans chacun de ces ouvrages, à l'écriture d'un article de synthèse sur les technologies dans l'enseignement des mathématiques (Lagrange *et al.*, 2003; Trouche *et al.*, 2013). Relisant, avec un peu de recul, ces articles, je réalise l'ampleur des évolutions entre ces deux dates.

En 2003, l'article de Lagrange *et al.*, basé sur une vaste revue de la littérature de recherche, au niveau international de 1992 à 1998, met en évidence une prise de conscience de : la *complexité* des processus d'intégration de la technologie dans l'enseignement des mathématiques ; de la *nécessité du temps* pour réaliser cette intégration ; de la nécessité de prendre en compte le *potentiel*, mais aussi les *contraintes* des outils ; de l'importance de *repenser les situations mathématiques* pour prendre en compte ce potentiel et ces contraintes ; de l'importance cruciale du *rôle du maître* pour *orchestrer* ces situations au profit des apprentissages mathématiques des élèves. On peut dire que cet article témoigne de la fin d'une certaine naïveté, portée par beaucoup d'enseignants pionniers, mettant dans la technologie l'espoir d'un enseignement et d'un apprentissage des mathématiques plus facile.

¹ Cet article est écrit en français. Nous nous en excusons pour les lecteurs de la revue, et nous espérons que cette langue ne sera pas un obstacle à la compréhension : le portugais et le français sont des langues si proches! Pour des éclairages complémentaires, les lecteurs pourront se référer à deux articles se situant dans le m^eme cadre conceptuel, et publiés récemment en portugais (Gueudet & Trouche, 2016; Rocha & Trouche, 2016).

En 2013, dix ans plus tard, l'article que j'ai coordonné était basé sur une étude des curricula de mathématiques dans des contextes culturels et sociaux variés. Les différences entre les deux articles sont flagrantes. Ces différences apparaissent déjà dans le vocabulaire : en 2003 les mots « ressource » et « collectif » ou « communauté » n'apparaissent pas. En 2013, les mots « ressource », « collectif » et « communauté » apparaissent respectivement 40, 15 et 20 fois. Le contexte a clairement changé, marqué désormais par l'essor d'Internet, des ressources en ligne et des nouvelles formes de communication et de partage. L'article lui-même souligne trois évolutions majeures dans les études sur les technologies dans l'enseignement : de l'étude de l'intégration des technologies à l'étude de l'accompagnement des usages ; de l'étude de la diffusion des ressources (du haut vers le bas) à l'étude de la circulation des ressources (prenant en compte la créativité des acteurs) ; de l'étude des processus individuels à l'étude des processus collectifs.

2.2. La dynamique des orchestrations instrumentales

Cette évolution, je la réalise aussi, rétrospectivement, à travers mon expérience de chercheur.

D'abord du point de vue des concepts que j'ai été amenés à travailler. Pour prendre en compte la responsabilité du maître dans la gestion didactique des outils mathématiques pour résoudre un problème mathématiques donné, j'ai proposé (Trouche, 2004) la notion d'*orchestration instrumentale*. Cette notion, décrivant les configurations didactiques pensées par le maître *avant* la classe, puis exploitées *dans* la classe, a été enrichie par Drijvers (Trouche & Drijvers, 2010) avec la notion de « performance didactique », décrivant les ajustements que le maître fait, en interaction avec ses élèves, quand surgissent dans la classe des éléments imprévus. L'analyse du travail du maître conduit alors à prendre en compte un ensemble d'éléments hétérogènes : un répertoire de situations mathématiques déjà appropriées, un ensemble d'artefacts disponibles dans l'environnement de la classe, et un répertoire d'orchestrations déjà expérimentées. Ce point de vue rompt avec une conception linéaire (le professeur a un objectif didactique, il choisit alors une situation mathématique – un problème – adapté à cet objectif, puis il choisit des artefacts pertinents pour soutenir la résolution du problème, et il décide enfin une orchestration de la situation prenant en compte ces artefacts). Le point de vue naturel est alors beaucoup plus ouvert, et conduit à l'utilisation de la notion large de ressources : le professeur a un ensemble de ressources à sa disposition (certaines déjà intégrées, d'autres qu'il va rechercher pour atteindre ses objectifs). C'est alors cet ensemble de ressources, très ouvert, que le professeur va mettre au travail pour construire la matière de son enseignement.

C'est ensuite, et *en même temps* devrait-on dire, l'expérience des dispositifs de recherche dans lesquels j'ai été impliqué. Parmi ceux-ci, l'expérience du SFoDEM² a été certainement critique. Le SFoDEM (Guin & Trouche, 2008) a rassemblé, de 2000 à 2006, une centaine d'enseignants de mathématiques du second degré, avec une

² Suivi de Formation à Distance des Enseignants de Mathématiques, <http://www.math.univ-montp2.fr/sfodem>

vingtaine de formateurs, répartis dans 4 groupes de formation sur des thèmes variés (renouvellement de l'enseignement de l'analyse avec des calculatrices graphiques, transition entre l'arithmétique et l'algèbre avec des tableurs, statistique et logiciels de simulation, géométrie plane et logiciels de géométrie dynamique). L'objectif était d'aider les enseignants à franchir le pas, entre une appropriation personnelle des technologies et leur utilisation dans le cadre de la classe. Pour atteindre cet objectif, trois hypothèses étaient faites : les enseignants ont besoin de ressources adaptées, qui sont pour le moment manquantes ; la réalisation de telles ressources suppose un travail collaboratif entre enseignants, et un aller-retour entre une conception a priori et des expérimentations en classe ; l'exploitation de telles ressources suppose aussi un modèle commun, qui puisse faciliter aussi bien leur conception que leur appropriation. C'est finalement la recherche de ce modèle de ressources (Figura 1) qui a tiré le développement du SFoDEM.

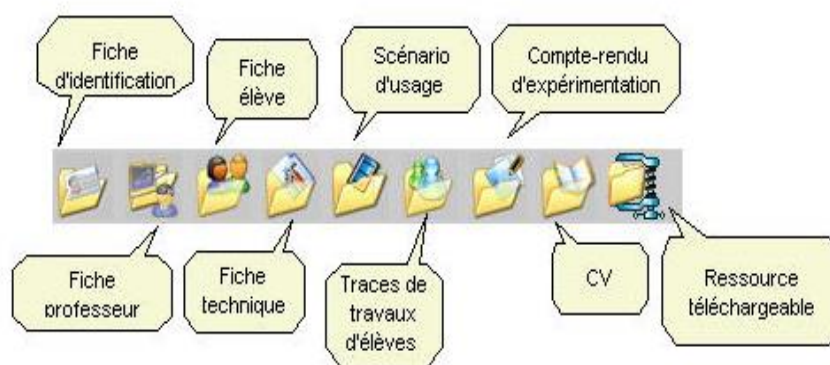


Figura 1. Le modèle de ressources du SFoDEM.

Ce modèle prend en compte les orchestrations à travers la notion de scénario d'usage, mais il fait apparaître plus *qu'une* ressource. Il s'agit bien d'un système articulé de ressources, dont la structure répond à un ensemble d'exigences :

- Permettre le repérage de cette ressource dans un vaste répertoire d'objets pédagogiques grâce à des métadonnées qui sont rassemblées dans une fiche d'identification ;
- prendre en compte les besoins du professeur et ceux des élèves (à travers la fiche élève et la fiche professeur) ;
- séparer les aspects techniques des aspects pédagogiques, en donnant, dans une fiche technique, des éléments permettant de mettre en œuvre cette ressource dans une variété d'environnements technologiques ;
- transmettre l'expérience, aussi des professeurs (grâce aux comptes rendus d'expérimentation) que des élèves (en récupérant des traces critiques de leurs travaux) ;
- inscrire enfin chaque ressource comme élément d'un processus vivant (c'est le rôle du CV, *curriculum vitae*, de la ressource, situant chaque nouvel utilisateur comme co-concepteur d'une œuvre commune).

On le voit bien, à travers l'histoire de ce dispositif, comme à travers l'évolution des problématiques de recherche, c'est, pour l'étude du travail du professeur, un nouveau paysage conceptuel qui se dessine : un professeur utilisateur, créateur et partageur de ressources. L'approche théorique que nous allons présenter maintenant propose une modélisation de ce nouveau paysage.

3. Une approche documentaire du didactique

Présenter une approche théorique suppose de donner à la fois les concepts sur lesquels elle repose, de montrer leur opérationnalité et les outils méthodologiques permettant de la développer, ce que nous allons faire dans les trois paragraphes qui suivent.

3.1. Une dialectique essentielle entre *ressources* et *document*

Aucune théorisation ne peut naître du vide : elle se nourrit nécessairement de théorisations antérieures. L'approche documentaire est née de l'approche instrumentale (Rabardel, 1999), intégrée en didactique des mathématiques (Guin & Trouche, 1999) pour analyser le développement d'*instruments* à partir de l'utilisation d'artefacts dans le travail mathématique. Ce développement était vu à travers l'imbrication de deux processus, *instrumentation* (tout artefact ouvre de nouvelles possibilités, et oppose de nouvelles contraintes, à l'action d'un individu), et *instrumentalisation* (tout processus d'*adoption* d'un nouvel artefact est aussi un processus d'*adaptation* de celui-ci). L'instrument est alors défini comme une entité hybride, composée à la fois de l'artefact, ou de la partie de cet artefact mobilisée dans une activité finalisée, et du *schème* qui permet l'organisation de cette activité. La notion de schème est reprise de Vergnaud (1996), qui le définit comme *l'organisation invariante de l'activité* pour résoudre un type de problème ou réaliser un type de tâche. Un élève développe ainsi par exemple, à partir d'une calculatrice, un instrument pour l'étude des variations d'une fonction numérique, ou un instrument pour calculer des limites de fonction.

L'*approche documentaire* (Figura 2) va travailler ce modèle en l'étendant, pour prendre en compte le nouveau paradigme 'ressources' dont nous avons mis en évidence la pertinence. Au lieu d'artefacts dont il faudrait penser l'intégration, nous nous intéressons aux 'ressources' déjà là, en donnant à ce terme le sens général proposé par Adler (2000), de tout ce qui *re-source*, ou est susceptible de *re-sourcer* l'activité du professeur³ : un manuel scolaire, les traces d'une interaction avec un collègue ou un élève, un site web, une vidéo, bref, un ensemble de choses de granularités différentes, qui vont être organisées par l'activité finalisée du professeur.

³ No texto original consta *re-source*, esse jogo de palavras fica bem claro na língua francesa, pois *source* significa *fonte*. Na palavra *ressource* o prefixo *re* tem o sentido de repetição de tornar de novo fonte, ou seja, de reabastecer a atividade do professor (note de la traductrice de l'article Gueudet et Trouche 2016).

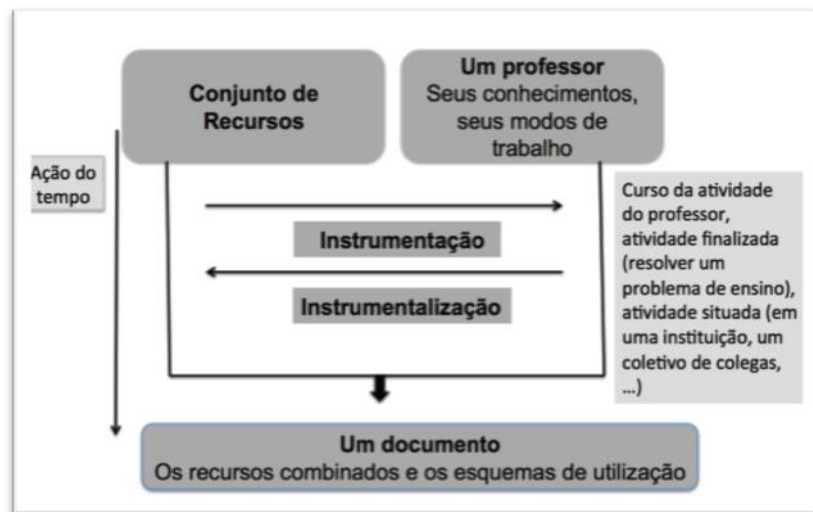


Figura 2. Une représentation d'une genèse documentaire (Gueudet & Trouche, 2016).

Cet ensemble de ressources va donc être mis au travail par le professeur pour constituer la matière de son enseignement. Ce travail est finalisé (préparer une leçon donnée par exemple). Ce n'est jamais un travail isolé : tout professeur est pris dans un jeu institutionnel (dans une école) et dans un jeu d'interaction (avec des collègues, des élèves), qui sont, d'une certaine façon, co-auteurs de l'œuvre du professeur. Ce travail est la résultante des processus croisés d'instrumentalisation et d'instrumentation, qui traduisent les influences réciproques des ressources et du professeur. Il donne naissance à ce que nous avons appelé un *document*, pour reprendre un terme central de *l'architecture de l'information* (Pédauque, 2006).

L'architecture de l'information est un nouveau champ scientifique issu du monde digital qui constitue l'environnement de notre conceptualisation : dans ce domaine, un document est une entité développée avec une *intention* et pour un *usage* donné. Nous avons précisé cette notion de document en la définissant comme une entité hybride, composée à la fois *des ressources* qui ont été rassemblées, adaptées, restructurées, et d'un *schème* d'utilisation. Il s'agit ainsi de désigner une nouvelle dialectique : l'approche instrumentale considère la dialectique artefact/instrument, l'approche documentaire considère la dialectique ressources/document. Dans la pratique, nous repérons les schèmes à travers la régularité des usages que le professeur fait des ressources pour résoudre un problème d'enseignement. Ces régularités nous permettent d'inférer les *invariants opératoires* qui pilotent ces usages. Un exemple, dans le paragraphe suivant, va nous permettre de préciser les éléments structurants de cette approche.

3.2. Une illustration de l'opérationnalité de cette approche

Nous avons suivi le travail de Sophie, professeur au collège. Elle veut introduire, après une leçon sur le périmètre du cercle, une leçon sur l'aire d'un disque. Elle dispose d'un ensemble de ressources de différents niveaux : un tableau blanc interactif dans sa classe, son manuel scolaire, des anciennes leçons, un répertoire de sites web qu'elle connaît bien...

Elle commence par une recherche sur Google, avec les mots clés « aire du disque - géométrie dynamique » qui sont, pour elle, caractéristiques de la leçon qu'elle a l'habitude de faire. Elle obtient un ensemble de résultats (Figura 3), qui correspondent, pour les deux premiers, à des sites des IREM (Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, voir § 5.2), à qui elle fait confiance, car elle les connaît bien.

Environ 117 000 résultats (0,55 secondes)

Aire du disque - IREM de Lille

irem.univ-lille1.fr > Accueil du site > Collège > Sixième > Géométrie ▼
2 juin 2012 - but de l'activité : découvrir la formule de l'aire d'un disque ... Initiation à un logiciel de géométrie dynamique, ici GeoGebra; Savoir déplacer un ...
Vous avez consulté cette page 3 fois. Dernière visite : 08/12/15

Le pari de la géométrie dynamique pour changer notre ...

www.irem.ups-tlse.fr/dahan/ ▼
Le pari de la géométrie dynamique pour changer notre manière d'enseigner 2 .
AIRE. 2.1. Aire du disque (Figure 11 et Figure 11 bis : Lien_vers_Figure_11).

Aires de disques - XMaths - Calculatrices et logiciels ...

xmaths.free.fr/tice/geometrie/geogebra_aired.htm ▼
Logiciels de géométrie dynamique ... Faire afficher la somme des aires des deux disques. ... La construction géométrique ne pose pas de problème.

La géométrie dynamique au collège

debart.pagesperso-orange.fr/college/ ▼
La géométrie au collège avec GéoPlan et GéoSpace. ... mathématiques du passé, qui grâce au logiciel de géométrie dynamique, reprennent le goût du futur . Descartes et les ... Calculs d'aire - Théorème de Pick ... triangle, disque.

Figura 3. Les premiers résultats d'une recherche sur Internet.

Elle ouvre donc le premier site, qui propose un ensemble d'éléments pour organiser la leçon visée (Figura 4) : une description générale de la leçon, des idées pour la mise en œuvre, une idée d'animation, des fichiers informatiques... On retrouve en fait l'idée du SFoDEM (Figura 1) de penser l'ensemble des aspects du travail du professeur.

Aire du disque

Samedi 2 juin 2012, par [Raphaël Petit](#)

Activité informatique dynamique permettant d'établir la formule donnant l'aire d'un disque.

Présentation :

- ▶ auteur : [Raphaël Petit](#)
- ▶ statut : activité clé en main
- ▶ but de l'activité : découvrir la formule de l'aire d'un disque

Déroulement :

- ▶ lieu : salle pupitre
- ▶ durée : 1h
- ▶ matériel enseignant : tableau numérique interactif
- ▶ matériel élève : poste informatique pour manipuler une figure en géométrie dynamique et fiche à compléter



Figura 4. Un ensemble de ressources pour soutenir le travail du professeur.

Ce site, en fait, ne lui donne rien de nouveau par rapport à ce qu'elle connaissait déjà. Elle retourne alors sur un site web qu'elle connaît bien, réalisé par une collègue pleine d'imagination⁴.

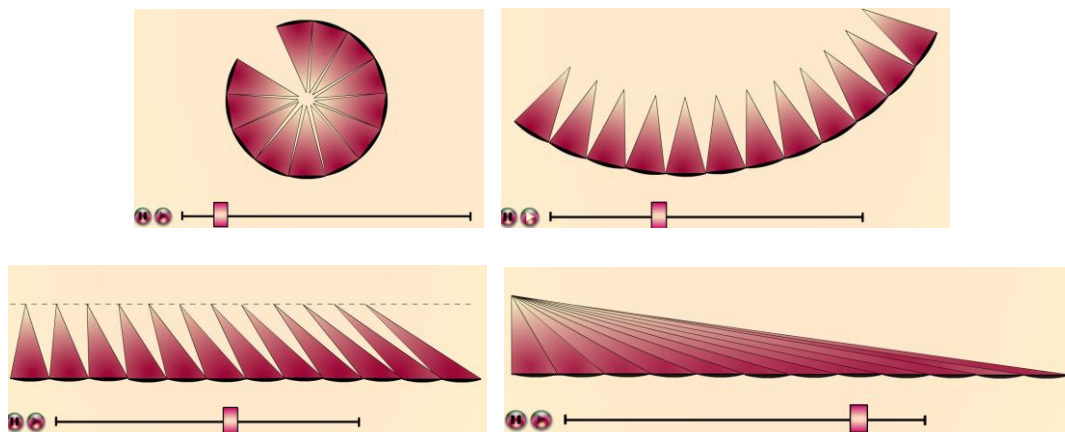


Figura 5. Une animation pour retrouver l'aire d'un disque à partir de l'aire d'un périmètre.

Elle retrouve alors l'animation que le site de l'IREM (Figura 4) exploitait aussi, mais ici dans un contexte familier (Figura 5), avec une présentation et des explications dont elle est familière : l'animation fait voir le découpage d'un disque en triangles de même aire, puis l'ouverture du disque, et le basculement de tous les triangles (sans changer leur hauteur, donc en conservant des triangles de même aire) pour obtenir un seul triangle, qui a donc pour aire le produit de la hauteur (qui est le rayon du cercle) par la base du grand triangle (qui a pour valeur approchée le périmètre du cercle, soit 2π), divisé par 2 : on trouve bien πR^2 .

La leçon de Sophie va être structurée autour de cette animation. Elle la laisse se dérouler en continu au tableau blanc interactif, sollicite l'observation des élèves, fait passer des élèves au tableau pour qu'ils gèrent eux-mêmes le déroulement de l'animation : ils la stoppent aux moments critiques pour proposer des résultats partiels (le fait que le site permette de stopper l'animation et de suivre son déroulement grâce à un curseur qui se déplace sur l'axe du temps est une fonctionnalité précieuse). Le résultat cherché apparaît alors comme le résultat de tâtonnements collectifs et de partages de conjectures.

On voit bien, à travers cet exemple, les *ressources* que le professeur a mobilisées pour sa leçon. Mais ce n'est pas seulement à partir de cette séance qu'on pourra inférer des éléments structurants du *document* que le professeur a développé. Pour pouvoir les inférer, on aura besoin de suivre le travail du professeur quand il reproduira la même leçon ou des leçons sur un sujet proche. On pourra alors inférer, à partir des invariants qui apparaîtront, des éléments du schème qui organisent son action : des invariants mathématiques (« pour démontrer des formules d'aire, on procède par découpages de surface en surfaces élémentaires dont on connaît les aires »), des invariants didactiques (« appuyer les raisonnements

⁴ «Mathématiques magiques» <http://therese.eveilleau.pagesperso-orange.fr>

sur des animations qui mettent en évidence le passage d'un état 1 à un état 2, en montrant bien toutes les étapes intermédiaires »). Bref : l'analyse de la préparation de la leçon (le choix des ressources et la structuration de la progression) et l'analyse de la mise en œuvre (le choix et le contrôle du scénario) fournissent des informations complémentaires pour comprendre la genèse du document et les connaissances du professeur qui pilotent son travail documentaire. Ce suivi pose cependant de délicates questions méthodologiques que nous allons aborder dans la section suivante.

3.3. Un appareillage méthodologique en construction

Il s'agit en effet de suivre l'activité du professeur, à la fois en classe (ce qui n'est déjà pas si simple) et hors de la classe, dans une grande variété de lieux et de moments où se déploie son travail documentaire. Nous avons développé (Gueudet & Trouche), dans cette perspective, une méthodologie d'investigation réflexive qui consiste à mobiliser le propre regard du professeur pour rassembler les informations nécessaires sur son travail documentaire. Cette méthodologie combine un ensemble d'outils, qui sont adaptés en fonction des contextes et des objectifs particuliers de la recherche : une *visite guidée* des ressources du professeur ; un *journal de bord* dans lequel il consigne les informations concernant la préparation d'un cours particulier, pendant la période précédant le cours ; une « instruction au sosie », dans laquelle il transmet, avant son cours, toutes les informations nécessaires à quelqu'un qui aurait à faire le cours à sa place « sans que les élèves ne se rendent compte de la substitution ».

Pour repérer les éléments structurants du travail du professeur, il est nécessaire de réaliser un suivi sur la durée, permettant de voir la mise en œuvre répétée de la même leçon, ou de leçons proches. On a alors accès au cycle de vie d'une ressource, depuis son appropriation jusqu'à ses adaptations et peut-être un jour son abandon. Il est aussi nécessaire de ne pas considérer les ressources du professeur, et les documents qu'il développe, comme des éléments isolés, mais de les appréhender dans leur cohérence et leurs articulations. C'est l'intérêt de la notion de *système de ressources*, défini comme l'ensemble des ressources que le professeur s'est approprié dans le cadre de son activité finalisée. Ces ressources sont hautement structurées : par niveau de classe, par type d'activité, par ancienneté ou familiarité, par domaine mathématiques... Cette structure est explicite (par dossier, dans l'ordinateur ; sur les étagères, dans la bibliothèque...) ou implicite, dans la conscience du professeur.

Pour avoir accès à cette structure, le chercheur croise ce que lui-même peut analyser « de l'extérieur » et les représentations que le professeur donne à voir lui-même, des cartes réflexives de son système de ressource (Figura 6). Bien sûr, la carte n'est pas le territoire, et il y a sans doute un grand écart entre ce que le professeur choisit de dévoiler de ses ressources, et la réalité de son système de ressources. Mais il s'agit bien d'un élément, à prendre en compte, et à croiser avec ce que donnent les autres outils méthodologiques (visite guidée du système de ressources, suivi du cycle de vie des ressources). Cette carte elle-même doit être

considérée comme un outil évolutif, le professeur pouvant la compléter ou la rectifier au fur et à mesure du suivi de son travail.

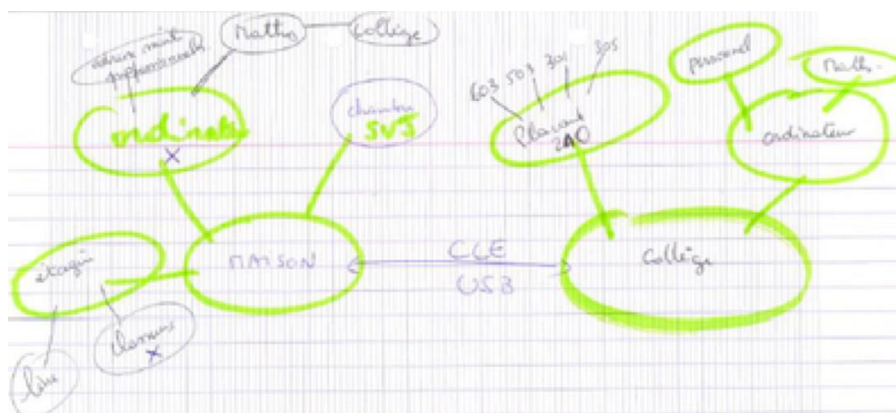


Figura 6. La carte des ressources du professeur, représentée par lui-même.

Ces outils méthodologiques ont été rassemblés, à titre expérimental, dans une « valise documentaire », donnant à voir un ensemble d'éléments que le professeur rassemble pour organiser son enseignement⁵. Cette méthodologie est actuellement mise en œuvre dans le cadre d'un projet national de recherche, que nous présentons dans la section suivante.

4. Le projet ReVEA (Ressources vivantes pour l'enseignement et l'apprentissage)

Le projet ReVEA⁶ est un programme de recherche national français, financé par l'ANR (Agence nationale de la recherche). Nous en présentons les grandes lignes ci-dessous, puis proposons un focus sur l'un de ses objets, avant de souligner les nouvelles questions que ce programme de recherche ouvre.

4.1. Comprendre le travail des enseignants dans un moment de transition

Le projet ReVEA rassemble cinq structures de recherche, dont l'Institut français de l'éducation, dans le domaine de la didactique des disciplines, des sciences de l'information et de la communication, et des sciences de l'éducation. Le projet part du constat que le travail que les enseignants font réellement avec les ressources disponibles est fort peu connu. Il s'agit, sur une durée assez longue (de 2013 à 2018) de suivre le travail des enseignants avec les ressources, dans quatre disciplines : anglais, mathématiques, sciences physiques et chimiques (enseignées en France par le même professeur) et enfin technologie. Les hypothèses du projet est que ce travail documentaire des enseignants, va, dans cette période, subir des évolutions fortes, du fait des métamorphoses numériques, que ces évolutions

⁵ http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/approche_documentaire/documentation-valise

⁶ <https://www.anr-revea.fr>

devraient être différenciées suivant les disciplines, et que le repérage de ces variables et de ces invariants devrait permettre de mieux conceptualiser ce qu'est une ressource éducative. Une attention particulière est aussi portée, au cœur de ce projet, aux dimensions collectives du travail des enseignants.

Les analyses reposent sur le croisement de deux recueils de données : celles qui découlent de l'étude de *l'offre de ressources*, et celles qui découlent de l'étude *des usages réels*. L'offre de ressources a été étudiée à partir de l'interrogation des enseignants, formateurs, inspecteurs et chercheurs : quelles sont les ressources (manuels scolaires, logiciels, sites) qui apparaissent cruciales pour l'enseignement de la discipline en question. Les usages réels ont été étudiés à partir du suivi d'enseignants, individuellement ou collectivement, dans les quatre disciplines du projet. Le projet a développé des méthodologies propres, combinant des études quantitatives (concernant par exemple le nombre de photocopies réalisées par les enseignants dans un échantillon très vaste d'établissements scolaires) et des études qualitatives, dans la durée, d'enseignants et de collectifs d'enseignants. Pour ces suivis individuels, les éléments de méthodologie d'investigation réflexive (cf. § 3.3) ont été mis en œuvre, et transposés autant que possible aux suivis de collectifs.

Nous n'en sommes qu'au milieu du projet, mais déjà ressortent certaines tendances. Des différences fortes (elles ne sont pas nouvelles) apparaissent entre les disciplines : en anglais, les professeurs sont à la recherche de « ressources authentiques », faiblement didactisées, permettant aux élèves de pratiquer la langue au plus près de ses usages actuels, et sur des questions d'actualité (dans ces conditions, le manuel scolaire est très marginal) ; en mathématiques, le manuel scolaire reste très présent. Les ressources vidéos (par exemple le répertoire de YouTube) sont de plus en plus mobilisées par les enseignants d'anglais ; les animations, par exemple en géométrie, sont de plus en plus sollicitées par les professeurs de mathématiques. Dans toutes les disciplines, le recours aux ressources d'Internet se généralise, à travers des formes de recherche et d'intégration dans les systèmes propres de ressources, très diversifiées, suivant les individus. Mais c'est probablement sur les modes collectifs de travail documentaire que les évolutions sont les plus fortes, ce que nous allons voir dans le paragraphe suivant.

4.2. Sésamath, un cas emblématique des évolutions en cours

Une des branches du programme ReVEA s'intéresse plus particulièrement au travail collectif des enseignants, dans les établissements scolaires, mais aussi en dehors, dans le cadre de dispositifs très divers permis par Internet (listes de diffusion, associations d'enseignants, sites collaboratifs...). C'est dans ce domaine que les évolutions apparaissent les plus significatives. Nous étudions plus particulièrement l'association Sésamath, dont le développement apparaît emblématique des évolutions en cours (Rocha & Trouche 2016).

L'association Sésamath⁷ a été créée en 2001. Composée uniquement d'enseignants de mathématiques, elle a pour objectif de promouvoir les *mathématiques pour tous*, à partir d'un processus de conception collaborative de ressources pédagogiques (Figura 7).



Figura 7. Le site Sésamath, porte ouverte vers un ensemble de ressources.

Sésamath a commencé, sur la base d'un petit groupe très militant, à concevoir une base d'exercices interactifs en ligne (Mathenpoche). Puis elle a agrégé de nombreux enseignants en constituant des groupes de conception de ressources sur des thèmes donnés, correspondant à des besoins réels des enseignants. Ce sont ensuite des manuels scolaires complets qui ont été développés, inter-reliés avec les bases d'exercices en ligne. Finalement, c'est tout un système de ressources (Figure 7) qui a été proposé, permettant aux enseignants de développer eux-mêmes leurs propres « petits fabrications » de ressources : c'est l'objectif de l'application LaboMep, qui permet, au niveau d'un établissement, ou d'un réseau d'enseignants, de personnaliser à partir des ressources de l'association, des recueils de ressources propres. Cela permet par exemple au professeur d'adapter des listes d'exercices aux difficultés propres de tel ou tel élève.

Dans le cadre d'une thèse de doctorat (Rocha 2016), nous suivons actuellement la conception d'un manuel de Sésamath pour le cycle 4 (classes de 5^{ème}, 4^{ème}, et 3^{ème} françaises, c'est-à-dire 7^{ème}, 8^{ème} et 9^{ème} grade), adapté à la

⁷ Sésamath reprend l'expression des Contes des Mille et une Nuits: Sésame, ouvre-toi! Pour les mathématiques, une intention d'ouverture d'un univers pour tous... <http://www.sesamath.net>

réforme curriculaire qui devrait se mettre en place en septembre 2016. Une vingtaine d'enseignants sont à l'œuvre pour concevoir ce manuel : certains sont membres de Sésamath, d'autres non ; certains sont des concepteurs novices, d'autre non. La conception de ce manuel les met en face de difficultés inédites :

- pour la première fois, il s'agit de faire, non pas un manuel scolaire pour un niveau scolaire (un an d'enseignement), mais un manuel pour trois niveaux scolaires successifs ; pour éviter de faire des manuels trop lourds, il faut alors nécessairement penser conjointement des éléments « sur papier », et des éléments en ligne ;

- le programme à enseigner intègre des notions nouvelles pour les professeurs, en particulier des éléments d'algorithmique et de programmation. Les professeurs doivent donc concevoir des ressources pour enseigner... des notions qu'ils n'ont pas apprises eux-mêmes.

Dans cette situation, les concepteurs du manuel doivent donc mobiliser beaucoup de ressources nouvelles pour faire face à ces difficultés. Ils doivent, de plus, concevoir simultanément une œuvre commune – un manuel – et leur propre enseignement pour l'année à venir. Il y a donc un jeu entre le système de ressources collectif, qui se construit, et les systèmes individuels de ressources, qui se réorganisent. C'est ce qu'analysent actuellement les chercheurs ReVEA, et qui donne de nouvelles informations sur les systèmes de ressources, leurs structures, et la nature de leurs éléments, qui peuvent jouer des rôles critiques (ressources *génératrices* ou encore ressources *pivots*).

4.3. ReVEA, un incubateur de concepts

A travers le suivi des ressources de Sésamath, comme à travers les autres suivis de ressources, d'enseignants et de collectifs en cours dans le projet, ce sont de nouveaux outils méthodologiques qui sont éprouvés, et de nouveaux concepts qui sont travaillés. Deux d'entre eux apparaissent, aujourd'hui, particulièrement productifs, celui de *trajectoire documentaire*, et celui d'*expertise documentaire*.

Par *trajectoire documentaire* (Rocha 2016), nous entendons un développement conjoint : le développement professionnel de l'enseignant, et le développement de son système de ressources. L'étude des trajectoires documentaires pourrait permettre de comprendre les choix qu'un enseignant fait pour telle ou telle ressource, et les éléments structurants de son système de ressource.

Par *expertise documentaire* (Wang 2016), nous entendons les compétences que le professeur construit pour développer son propre système de ressources en interaction avec les systèmes de ressources de ses collègues, en rapport avec les institutions dans lesquelles il organise son enseignement. Dans cette expertise, qu'est-ce qui est spécifique de la discipline enseignée ? Dans cette expertise, qu'est-ce qui est spécifique du travail collectif des enseignants ?

A cette étape du projet, il ne s'agit que de premières ébauches conceptuelles, que le développement de ReVEA devrait permettre de préciser, et d'opérationnaliser.

5. Ouvertures internationales

Un programme de recherche national, ce sont aussi de nouvelles opportunités de collaborations internationales. Dans le cadre du projet ReVEA, par le biais de thèses, ce sont deux collaborations internationales qui se sont dessinées, la première avec le Brésil, la deuxième avec la Chine.

5.1. Le Brésil, une relation particulière des institutions avec les manuels scolaires

Invité par l'UFPE dans le cadre d'une École des hautes études de la CAPES⁸, j'ai eu l'occasion de découvrir le programme PNLD⁹ qui n'a pas son équivalent en France. Il s'agit d'un programme national d'évaluation des manuels scolaires, et plus généralement des ressources didactiques pour l'enseignement, évaluation d'un point de vue éthique, ergonomique et didactique. Cette évaluation est liée à une perspective d'accompagnement du travail *documentaire des enseignants*, se traduisant par exemple par la conception d'un guide méthodologique pour l'utilisation de ce matériel didactique.

Ce programme ouvre de nombreuses questions : comment les commissions PNLD travaillent-elles dans les différentes disciplines ? Quel est l'usage réel des propositions PNLD par les enseignants ? Quelle est l'influence des travaux du PNLD sur les éditeurs scolaires, et, plus généralement, sur l'offre de ressources pédagogiques ? Une réponse à l'appel d'offres CAPES-COFECUB a été proposée¹⁰, pour traiter ces questions en relation avec le projet ReVEA. Il s'agit à la fois d'analyser les décisions didactiques que les enseignants sont amenés à prendre pour choisir et mettre en œuvre des ressources, et de développer de nouveaux moyens pour structurer cette analyse.

D'ors et déjà un étudiante brésilienne réalise sa thèse dans le cadre du projet ReVEA (Rocha, 2016), et son sujet concerne la conception du manuel Sésamath. Il y aura donc, sur ce point, matière à comparaison de deux processus de conception de manuels scolaires très différents, le premier (au Brésil) soumis à des contraintes institutionnelles fortes, le deuxième (en France) lié aux nouvelles dynamiques du travail collectif des enseignants.

⁸ <http://www.capes.gov.br/component/content/article?id=7337:ufpe-oferece-escola-de-altos-estudos-voltada-a-area-de-matematica>

⁹ <http://portal.mec.gov.br/pnld/apresentacao>

¹⁰ Le projet PREM (Professeurs et ressources pour l'enseignement des mathématiques) est porté par l'Université fédérale du Pernambouc au Brésil, et par l'École Normale Supérieure de Lyon en France). Il rassemble des didacticiens des mathématiques et des informaticiens.

5.2. En Chine, le rôle critique du travail collectif des enseignants

Une deuxième thèse (Wang, 2016), celle-ci en co-tutelle entre la Chine et la France, est intégrée dans le programme ReVEA. Il s'agit, dans ce cadre, de comparer les formes collectives du travail des enseignants autour de la conception de ressources.

Ce travail collectif, en France, existe dans des cadres particuliers. Les IREM (Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques), dont nous avons déjà parlé (§ 3.2), rassemblent ainsi, depuis 1970, dans chaque université, des équipes d'enseignants d'écoles primaires, de collèges, de lycées et d'universités (Trouche 2016). Dans un cadre non hiérarchique, ils conçoivent ensemble des ressources rendues nécessaires par les changements de programme, ou pour rendre les mathématiques plus vivantes. Il s'agit de professeurs volontaires, souvent pionniers pour l'intégration de nouvelles technologies ou pour l'expérimentation de nouveaux dispositifs d'enseignement. Même si cette implication d'enseignants reste minoritaire, elle a une certaine influence dans le milieu à travers les dispositifs de formation continue. D'autres cadres de travail collectif émergent dans le fil du numérique (Sésamath par exemple, § 4.2).

En Chine, le travail collectif est une réalité, depuis de nombreuses années, reconnue institutionnellement comme une partie intégrante du travail des enseignants¹¹. Les enseignants travaillent en classe devant leurs élèves moins de 10 heures par semaine, le reste du temps est essentiellement consacré à un travail sur les ressources de leur enseignement. Ce travail prend différentes formes (Pepin *et al.*, soumis) : participation, à l'intérieur de l'établissement scolaire, à des « Groupes de recherche sur l'enseignement » ou à des « Groupes de préparation des leçons », suivi, par tous les professeurs de mathématiques d'une école, d'une leçon d'un de leurs collègues. Il s'agit donc d'un cadre très privilégié pour analyser les interactions entre travail documentaire individuel et collectif, qui n'est pas propre au développement du numérique, mais qui se nourrit aussi de ce développement : le développement de petites communautés de professeurs, hors établissements scolaires, sur des thèmes particuliers, utilisant des applications de partage de vidéos, croise désormais le développement de collectifs à l'intérieur des établissements.

6. Conclusion

Les évolutions des environnements technologiques suscitent de nouveaux questionnements pour l'enseignement des mathématiques, très sensibles aux outils qu'il mobilise. Les métamorphoses numériques constituent un bouleversement complet des formes scolaires, des formes de communication et d'information, et, au-delà des formes mêmes de la connaissance. De nombreux phénomènes apparaissent, en particulier au niveau du travail documentaire des professeurs,

¹¹ Voir une description dans le bulletin de la CFEM, pp. 10-12 <http://www.cfem.asso.fr/liaison-cfem/lettre-cfem-decembre%202015>

c'est-à-dire dans leur façon de rassembler, de composer, de partager les ressources de leur enseignement.

L'approche documentaire décrite dans cet article se fixe pour objectif l'analyse de ce travail des enseignants. Elle ne prétend pas se substituer aux théories didactiques qui structurent ce champ scientifique, mais apporter un éclairage complémentaire, et développer des méthodologies qui permettent d'outiller le travail des chercheurs : suivre, dans la durée et au delà de l'espace de la classe, le travail des enseignants, dans ses composantes individuelles et collectives, suppose des outils spécifiques.

Les projets de recherche actuellement en cours dans ce domaine, au niveau national et au niveau international, mettent en évidence la complexité des problèmes et l'intérêt de leur étude. Structure des systèmes de ressources des professeurs, ressources critiques, interactions entre systèmes individuels et collectifs, schèmes de conception et d'utilisation des ressources, trajectoires documentaires, développement de l'expertise documentaire... Un vaste continent de recherche s'ouvre, nous ne sommes qu'au début de son exploration.

Bibliografía

- Adler, J. (2000). Conceptualising resources as a theme for teacher education. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 3(3), 205-224.
- Guin, D., & Trouche, L. (1999). The Complex Process of Converting Tools into Mathematical Instruments. The Case of Calculators, *The International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 3(3), 195-227.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2016). Do trabalho documental dos professores : gênese, coletivos, comunidades. O caso da Matemática (tradução K. Rocha), *EMTEIA*.
- Guin D., & Trouche, L. (2008). Un assistant méthodologique pour étayer le travail documentaire des professeurs : le cédérom SFoDEM 2006, *Repères-IREM*, 72, 5-24.
- Lagrange, J.-B., Artigue, M., Laborde, C., & Trouche, L. (2003). Technology and Mathematics Education: a Multidimensional Study of the Evolution of Research and Innovation, in A.J. Bishop, M.A. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, & F.K.S. Leung (eds.). *Second International Handbook of Mathematics Education* 239-271, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Monaghan, J., Trouche, L., & Borwein, J. (2016). *Tools and Mathematics: Instruments for Learning*. Springer. New York.
- Pédaque, R. T. (coll.) (2006). *Le document à la lumière du numérique*. C & F éditions. Caen.
- Pepin, B., Xu, B., Trouche, L., & Wang, C. (soumis). Developing a deeper understanding of *mathematics teaching expertise*: Chinese mathematics teachers' resource systems as windows into their work and expertise. *Educational studies in Mathematics*.
- Rabardel, P. (1999). Éléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques. Actes de la Xe École d'été de didactique des mathématiques. Caen : IUFM. 202-213.

- Rocha, K. (2016). Uses of online resources and documentational trajectories: the cases of Sésamath. *13th International Congress on Mathematical Education, Hamburg*, 24-31 July 2016
- Rocha, K., & Trouche, L. (2016). Da produção coletiva de livros didáticos digitais aos usos feitos por professores de Matemática: o caso do grupo francês Sésamath. *EMTEIA*.
- 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.
- Trouche, L., & Drijvers, P. (2010). Handheld technology for mathematics education, flashback to the future, *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 42(7), 667-681
- Trouche, L., Drijvers, P., Gueudet, G., & Sacristan, A. I. (2013). Technology-Driven Developments and Policy Implications for Mathematics Education, in A.J. Bishop, M.A. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, & F.K.S. Leung (eds.), *Third International Handbook of Mathematics Education* 753-790. Springer.
- Trouche, L. (2016). Didactics of Mathematics: Concepts, Roots, Interactions and Dynamics from France, in J. Monaghan, L. Trouche, & J. Borwein, *Tools and mathematics, instruments for learning* (pp. 219-256). Springer
- Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation. Actes de la 8^{ème} Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques. Clermont-Ferrand : IREM (Université Clermont-Ferrand 2). 174-185.
- Wang, C. (2016). Analysing teachers' expertise, Resources and Collective Work throughout Chinese and French windows. *13th International Congress on Mathematical Education, Hamburg*, 24-31 July 2016
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice. Learning, meaning, identity*. Cambridge University Press.

Luc Trouche est professeur de didactique des mathématiques à l'Institut Français de l'Éducation (Ecole Normale Supérieure de Lyon, France). Il s'est intéressé aux processus d'intégration des technologies dans l'enseignement des mathématiques avant de se consacrer à l'étude des interactions entre les professeurs et les ressources de leur enseignement.

Institut français de l'Éducation, École Normale Supérieure de Lyon,
15 parvis René-Descartes, BP 7000, 69342 Lyon cedex 07
Tel : 00 33 (6) 728 823 75 luc.trouche@ens-lyon.fr
<http://ens-lyon.academia.edu/LucTrouche>