

**Ghislaine GUEUDET,
CREAD, IUFM Bretagne UBO**

Résumé – Le foisonnement de ressources disponibles pour les professeurs de mathématiques, dû en particulier aux ressources numériques, amène la recherche en didactique à examiner le travail des professeurs avec ces ressources. Nous faisons ici un panorama des questions qui se posent, et des résultats de recherche déjà obtenus. Nous abordons de plus des questions directement liées au lien entre ressources et formation des professeurs.

I. Introduction à l'étude des ressources

Pourquoi s'intéresser aux ressources des professeurs de mathématiques ? A cette question, on peut apporter une multitude de réponses ; nous retenons ici certains aspects spécifiques. Premièrement, les ressources sont présentes dans tous les aspects du travail des professeurs, elle sont présentes dans leur travail hors classe et en classe. Ensuite, une des ressources centrales est sans conteste le manuel scolaire. Or, jusqu'à présent en France peu de travaux de recherche ont considéré le manuel. Ceci est paradoxal, sachant que la France est

« [la] 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 2005)

Autre raison, apparue plus récemment : le développement massif de l'offre de ressources en ligne à destination des professeurs de mathématiques (Artigue & Gueudet 2008). Ces ressources peuvent être conçues individuellement par des professeurs, ou collectivement par des associations ; elles peuvent émaner de l'institution, ministère ou académie. Elles sont parfois directement associées au manuel scolaire ; le manuel numérique (figure 1) relève d'ailleurs à la fois de la catégorie « ressources en ligne » et « manuel scolaire ». Dernière motivation, pour une recherche en didactique centrée sur les ressources : toute diffusion aux professeurs des résultats de recherche passe par la conception de supports spécifiques.



Figure 1 – Extrait du manuel numérique Sésamath

Dans ce qui suit, nous allons tout d’abord présenter brièvement les cas de deux professeurs, sur lesquels nous nous appuyerons pour illustrer notre propos. Nous exposerons ensuite les différents types de questions que l’on peut étudier, à propos des ressources. Nous introduirons la perspective de l’approche documentaire, que nous proposons de mobiliser pour apporter des éléments de réponse à ces questions. Nous présenterons certains de ces éléments de réponses, issus de recherches menées depuis plusieurs années (Gueudet & Trouche 2008 ; Gueudet, Pepin & Trouche 2012). Enfin, nous discuterons la question des liens entre ressources et formation des professeurs.

Pertinence d’une page web : un enseignement en Spécialité, TS

Anne est professeur en Terminale S Spécialité, elle a une classe de 20 élèves d’un bon niveau. En 2012-2013, a été mis en place un nouveau programme, portant pour moitié sur les matrices. Ce contexte est particulier : en effet, il n’y a aucun sujet de baccalauréat encore disponible, l’institution n’a pas fourni de « sujets zéro ». De plus, le programme ne fixe pas d’objectifs très précis, en termes de contenus mathématiques. Il insiste sur l’aspect « résolution de problèmes », les matrices devant être introduites comme outil, et sur l’usage de logiciels. Un document « Matrices » disponible sur le site Eduscol (MEN/DGESCO 2012) présente de nombreux exemples de tels problèmes.

Anne a choisi en début d’année que le manuel de sa classe serait *Math’x*. En effet, c’est aussi le manuel employé pour la partie obligatoire de l’enseignement de mathématiques en TS. Pour préparer ses cours sur le thème des matrices, elle utilise en outre 2 ou 3 autres manuels ; un livre d’annales de baccalauréat (qui comporte des « sujets zéro » sur les matrices ; des logiciels (*Scilab*, *Geogebra*, *OpenOffice*) et sa calculatrice ; le programme officiel et le document « Matrices ». En début d’année elle avait commencé à travailler avec une collègue, mais celle-ci s’est trouvée être en arrêt maladie pour une partie importante de l’année.

Parvenue en fin d’année scolaire, elle souhaite consacrer 1h30 à une activité visant à introduire l’étude de suites de matrices de la forme $U_{n+1} = U_n T + B$. Elle retient le thème « pertinence d’une page web », qu’elle a repéré dans le manuel *Math’x*. Elle consulte le document « Matrices » ; cependant, dans celui-ci, le thème « pertinence » fait l’objet de six pages denses et complexes. Il est difficilement utilisable, pour une

séance de 1h30. Ainsi Anne retourne à la source de *Math'x*, qu'elle compare avec d'autres manuels, *Odyssée* en particulier. Elle lit également un article, dans le bulletin de l'APMEP.

En appui sur ces différentes sources, elle élabore une activité qui se rapproche de celle du *Math'x*, mais avec plusieurs modifications :

- celle-ci est plus courte, en particulier la notion même de pertinence est d'emblée modélisée par un surfeur aléatoire, qui peut à la fois suivre des liens et « sauter » d'une page à l'autre ;
- le graphe support de l'étude a été complexifié, pour que la pertinence ne puisse pas être perçue intuitivement ;
- certaines questions intermédiaires ont été supprimées, et un enjeu : « montrer que l'état final est le même, quelle que soit la page de départ » a été ajouté.

Le graphe ci-dessous représente les liens existant entre quatre pages web numérotées de 1 à 4, un moteur de recherche doit classer les pages et on cherche donc à attribuer à chacune de ces pages une mesure de pertinence.

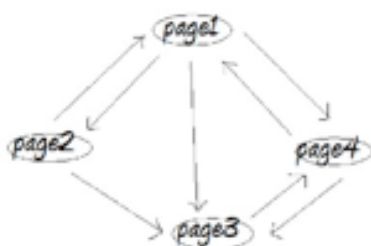


Figure 2 – Le début de l'activité « pertinence d'une page web »

Les élèves ont eu des difficultés à comprendre la modélisation proposée. Une fois cet obstacle surmonté, ils ont aisément effectué des calculs matriciels avec leur calculatrice, et sont parvenus à identifier la limite de la suite de matrices. Ainsi Anne a retenu des modifications à effectuer l'année suivante, surtout pour la partie de modélisation initiale. (Pour plus de détails sur l'activité « pertinence d'une page web » et le thème des matrices en TS spécialité, on pourra consulter Balliot & Gueudet, 2013).

L'alignement du XXIe siècle : une démarche d'investigation, en 3^e

Carole enseigne au collège, et est membre d'un groupe IREM travaillant sur le thème des démarches d'investigation. Avec ses élèves, elle travaille usuellement beaucoup sur la construction de solides. Elle utilise aussi couramment de nombreux logiciels, avec ses élèves ou pour son travail personnel. Elle développe un site web personnel¹¹, sur lequel on peut notamment trouver des patrons, et des procédures permettant de réaliser un grand nombre de solides. Certains de ces solides sont liés à des illusions d'optique, et à des œuvres d'art comme celles de Vasarely.

Dans sa salle de classe, elle a des vitrines dans lesquelles sont conservés des solides produits par les élèves : fractale de l'étoile de Képler, grand dodécaèdre étoilé etc. Cependant ces productions ne sont pas a priori réalisées avec une démarche d'investigation pour les élèves. Dans le groupe IREM, Carole a réfléchi à ce que

¹¹ <http://mathactivite.free.fr/>

pouvait être une démarche d'investigation ; de plus elle a suivi une formation sur ce thème à l'institut français de l'éducation (IFé) qui a fait évoluer ses idées sur l'investigation en classe. Elle en a retenu, en particulier, qu'il fallait autant que possible partir de questions effectivement posées par les élèves.



Figure 3 – L'alignement du XXI^{ème} siècle

L'alignement du XXI^{ème} siècle est une sculpture monumentale de Aurélie Nemours, formée de 72 colonnes de granit parallélépipédiques. Carole avait, en 2010-2011, fait réaliser une maquette de cet alignement à une classe de sixième. En 2011-2012, elle choisit de poser à sa classe de 3^e la question : « qu'est-ce que l'alignement du XXI^{ème} siècle ? », de collecter les réponses après un temps de recherche à la maison, puis de demander aux élèves de formuler des questions sur cet alignement. Les questions mathématiques sont retenues, et fournissent le point de départ pour une investigation qui amène les élèves à manipuler des notions de proportionnalité, de trigonométrie, de géométrie dans l'espace ; à utiliser *GeoGebra*, mais aussi *Google Sketchup* (ceci de la propre initiative des élèves, qui ont rencontré ce logiciel en cours de technologie). Plusieurs élèves choisissent, à la suite de cette séquence (d'une durée d'environ 10 heures), le thème de l'alignement du XXI^{ème} siècle pour l'épreuve d'histoire de l'art. Tous obtiennent de bons ou très bons résultats.

Les cas ci-dessus n'ont pas été choisis comme des cas exceptionnels, du point de vue des ressources ; pas non plus comme représentatifs de ce que seraient les pratiques de l'ensemble des professeurs. Nous les avons retenus essentiellement parce qu'ils permettent de montrer une diversité de ressources, et d'usages qui peuvent en être faits, ou de non-usage. Nous allons ci-dessous tout d'abord présenter les diverses directions de questionnement sur les ressources qu'il nous semble nécessaire de considérer ; puis une perspective que nous nous proposons d'adopter pour apporter des éléments de réponse à ces questions. Nous reviendrons alors sur ces cas, et sur les interprétations que nous en faisons.

II. Questionnements concernant les ressources des professeurs de mathématiques

Nous présentons ci-dessous des questions qui nous semblent nécessiter des recherches, concernant les ressources des professeurs. Ces questions sont toutes fortement connectées ; cependant, à des fins de clarification, nous les répartissons en plusieurs catégories. Dans tous les cas, nous nous intéressons à un questionnement transversal à ces catégories : quelles sont les évolutions apportées par les possibilités offertes par le

numérique ; quels sont les processus collectifs, pour les professeurs, en lien avec les ressources ?

Quelles sont les ressources des professeurs de mathématiques ?

Il est naturellement essentiel de répondre à cette question avant toute étude concernant ces ressources. S'il est évident que le manuel scolaire, les programmes officiels, les logiciels et sites web conçus spécifiquement à cet usage sont de telles ressources, nous notons également qu'il est complexe de déterminer les contours de ce qui est ou n'est pas une ressource.

Ainsi certains objets qui n'ont pas été conçus à des fins d'enseignement peuvent se constituer en ressources sous certaines conditions : nous l'avons vu ci-dessus avec le deuxième exemple, l'alignement du XXI^{ème} siècle s'est constitué en ressource pour Carole. Dans le même temps, certains supports conçus pour l'enseignement peuvent ne pas être utilisables, là encore selon des conditions particulières : le document « Matrices » n'a pas pu se constituer en ressource pour Anne dans le premier exemple que nous avons considéré. De plus, ce qui fait ressource pour le professeur n'est pas forcément un élément matériel facilement identifiable : de même qu'un mail envoyé par un collègue qui relate une séance de classe peut constituer une ressource, une simple discussion en salle des professeurs peut être une telle ressource.

Analyser les ressources et leurs modes de conception

Naturellement, même si les ressources des professeurs peuvent être de natures très diverses, on s'intéresse principalement à analyser les ressources spécifiquement conçues pour l'enseignement : manuels scolaires, ressources en ligne etc. Les processus de conception des ressources évoluent, notamment avec les possibilités de collaboration distante, et de publication de ressources sur le web par chaque professeur. De plus des ressources en ligne peuvent être aisément modifiées, par différentes personnes, ce qui pose la question de la notion même d'auteur, pour ces ressources. Comment sont conçues les ressources pour l'enseignement : par qui, avec quels objectifs, quel public visé, quelles contraintes ? Ces possibilités de création et de diffusion par de multiples auteurs, non reconnus comme experts, peuvent faire craindre le développement de nombreuses ressources de qualité médiocre. Mais comment peut-on définir, et évaluer, la qualité d'une ressource pour l'enseignement ?

Analyser les usages de ressources, et leurs conséquences sur les pratiques des professeurs

Le choix d'une ressource en ligne, au sein d'une offre pléthorique, peut être guidé par de multiples facteurs, sur lesquels on ne sait jusqu'à présent que très peu de choses. Sans s'intéresser à des questions aussi complexes, le processus de choix d'un manuel par une équipe de professeurs de mathématiques dans un établissement est un processus qui n'a encore pas fait l'objet de recherches.

Une fois une ressource sélectionnée, celle-ci est modifiée, associée à d'autres, complétée... Ce processus de transformation doit être étudié. Pourquoi un professeur apporte-t-il des modifications à une ressource, quelles sont ces modifications ? Comment sont associées, organisées, les différentes ressources mobilisées par un professeur ?

Par ailleurs les usages de ressources ne sont pas neutres, ils sont susceptibles de modifier les pratiques des professeurs. Analyser précisément comment une ressource, ou un ensemble de ressources, modifie les pratiques d'un professeur, est un autre objectif de recherche essentiel, si on souhaite concevoir des ressources avec un objectif de modification des pratiques. Ceci amène, plus généralement, à poser des questions sur le lien entre ressources et formation des professeurs. Peut-on utiliser certaines ressources à des fins de formation des professeurs ? La réponse à cette question est sans aucun doute positive ; il est en revanche plus complexe de déterminer si certaines ressources sont particulièrement propices à la formation, et si il est possible également de concevoir des ressources pour les formateurs d'enseignants. Enfin, en renversant la question, « quelles ressources pour la formation ? / Quelle formation pour les ressources ? », on en vient également à poser la question de la formation, initiale et continue, des professeurs en ce qui concerne le choix, et les usages de ressources pour l'enseignement. L'analyse et la comparaison d'extraits de manuels est certainement présente dans de nombreuses formations initiales. Mais la question des critères à prendre en compte, lorsque l'on choisit un manuel, n'est pas toujours abordée, pas plus que celle des usages à faire en classe.

III. Une approche didactique : la documentation des professeurs

L'approche documentaire, présentation

En se plaçant du point de vue de la recherche en didactique des mathématiques, on peut observer que les questions évoquées ci-dessus ont été d'une part abordées par les spécialistes des manuels scolaires et plus largement du « curriculum material » (Haggerty & Pepin 2002, Remillard, Herbel-Eisenmann, & Lloyd 2008), et d'autre part par les spécialistes des technologies éducatives (Hoyle & Lagrange 2010). Ces deux champs de recherche, jusqu'à présent, n'ont pas réellement communiqué : les chercheurs spécialisés sur l'un ou l'autre thème ne sont pas les mêmes ; des revues spécifiques existent, pour chaque thème, des regroupements se font en parallèle dans des conférences internationales etc. Les questions posées dans ces deux champs de recherche ne sont pas exactement les mêmes. Par exemple, en ce qui concerne le manuel, on va plutôt examiner ce qui amène les professeurs à choisir un manuel plutôt qu'un autre (ceci étant naturellement sous-tendu par d'importants enjeux commerciaux, pour les maisons d'édition ; mais également des enjeux de politique éducative, de nombreuses études ont eu lieu aux Etats-Unis en lien avec l'implémentation d'une importante réforme). Pour les technologies, on part d'un constat généralisé d'intégration insuffisante, et on se demande d'où viennent les résistances et comment surmonter celles-ci. Des enjeux commerciaux peuvent également être présents, même si le nombre de logiciels gratuits tend à augmenter.

Au-delà de ces caractéristiques financières, certains traits apparaissent communs dans les études des deux types. D'une part, le recours à ces ressources est reconnu comme étant susceptible d'influencer les pratiques des professeurs, et donc de contribuer à leur développement professionnel. Ainsi, dans les contextes de réforme, dans de nombreux pays un manuel peut être produit par les autorités nationales, et imposé aux professeurs, dans le but de faire évoluer les pratiques par ce moyen. D'autre part, les professeurs s'emparent de ces ressources de différentes manières, en fonction de leurs convictions professionnelles, et de leurs pratiques habituelles. Ceci est en

particulier modélisé, à propos des technologies, par la perspective de l'approche instrumentale (Guin & Trouche 2002). Cette approche distingue un artefact, produit de l'activité humaine, dans un objectif précis ; et un instrument, développé par un sujet utilisant cet artefact au cours de son activité avec celui-ci. L'instrument comporte une partie de l'artefact, mais aussi un ensemble de règles d'actions, de connaissances développées par le sujet.

En nous inspirant de cette approche, nous avons proposé de développer une perspective similaire, mais plus large, en considérant l'ensemble des ressources des professeurs. Nous nous référons au travail mené par Adler (2000), qui propose de considérer comme ressource tout ce qui est susceptible d'aider le travail des professeurs de mathématiques : un manuel, mais aussi une copie d'élève, une discussion avec un collègue sur un forum etc.

Les professeurs choisissent des ressources, les modifient, les mettent en œuvre en classe : nous nommons ceci leur travail documentaire. Ce travail est essentiel, dans leur activité professionnelle. Au cours de ce travail, ils développent à partir d'un certain ensemble de ressources un document, qui comporte une partie de ressources, et une partie de connaissances professionnelles (Gueudet & Trouche 2008). Au fil de son activité professionnelle, un professeur développe un système structuré de documents ; et ce système comporte en particulier un système de ressources. L'analyse et la description de ces systèmes de ressources fournissent des éléments de réponses à certaines des questions présentées dans la partie précédente. Cette analyse est difficile à réaliser ; elle nécessite une méthodologie de recherche spécifique, que nous avons nommée investigation réflexive (Gueudet & Trouche 2010). Dans cette méthodologie, le professeur est fortement associé à la collecte de données, puisque lui seul a un accès à l'ensemble de ses ressources et de l'activité qu'il mène avec ces ressources, dans différents lieux, à différents moments.

L'approche documentaire est un cadre théorique, qui permet d'entreprendre des recherches sur les ressources. C'est aussi une perspective sur le travail des professeurs, et les évolutions de ce travail qui sont engendrées par le numérique en particulier. Il s'agit en effet de voir le professeur comme concepteur de ses propres ressources. A partir d'un ensemble de ressources disponibles, le professeur conçoit le matériau de son propre enseignement. Ceci est particulièrement mis en évidence par les possibilités offertes par le numérique, chaque professeur ayant la possibilité de diffuser à ses collègues des ressources qu'il a initialement produites pour ses élèves. Cependant, ce phénomène existe indépendamment du numérique, qui amène seulement à y prêter une attention particulière. Par ailleurs, ce travail documentaire n'est pas seulement le fait d'individus, il peut aussi être effectué par des groupes de professeurs, à l'échelle d'un établissement, d'un groupe IREM, ou d'une association.

Retour sur les exemples

Revenons aux exemples évoqués ci-dessus, afin d'illustrer comment cette perspective amène à les interpréter.

Dans le cas de Carole, nous retenons que son système de ressources laisse une grande place à la production de solides par les élèves : elle travaille avec toutes ses classes à faire des patrons, conserve certaines productions d'élèves dans ses vitrines etc. De plus, son système de ressources inclut déjà un certain nombre d'œuvres d'art en lien avec les mathématiques. Ce sont ces caractéristiques de son système de ressources qui

ont permis que l'alignement du XXI^{ème} siècle se constitue en ressource pour son enseignement de géométrie. Dans un premier temps, il s'est simplement agi de faire une maquette avec une classe de sixième : une activité très proche de ses pratiques usuelles. Ensuite, dans le contexte du groupe IREM sur les démarches d'investigation, elle s'est appuyée sur ce qu'elle avait appris à propos de l'alignement pour le choisir comme point de départ d'une séquence d'investigation avec ses 3^{ème}. L'investigation ne fait pas partie de ses pratiques habituelles ; cet objectif est venu du groupe IREM, des discussions menées au sein de ce groupe, et d'une formation suivie à l'IFé. Ces échanges avec d'autres collègues, avec des chercheurs en didactique, ont amené Carole à se représenter ce que pouvait être une investigation en classe : elle a retenu en particulier qu'il était essentiel de partir de questions des élèves. C'est l'ensemble de ces éléments qui a permis qu'elle conçoive cette séquence, en organisant les choses de manière à faire formuler aux élèves en début de séquence un ensemble de questions, qui guideront le déroulement de la séquence. Ajoutons que Carole a un degré d'intégration des TICE (Assude 2007) très important, qui lui permet d'envisager sans inquiétude d'accepter la proposition des élèves d'utiliser *Google Sketchup*, alors même qu'en début de séquence elle ne maîtrise pas elle-même ce logiciel qu'elle n'a pas encore utilisé pour son enseignement de mathématiques.

Nous retenons également que Carole diffuse ce qu'elle conçoit sur un site web personnel ; ceci est directement en lien avec la perspective introduite par l'approche documentaire, qui amène à considérer les enseignants comme des concepteurs.

Dans le cas de Anne, nous retenons tout d'abord la spécificité du contexte : un nouveau programme, très ouvert, qui rend impossible le recours à des supports créés lors des années précédentes – supports qui constituent certainement, en dehors de ce type de contexte particulier, le cœur des ressources mobilisées par les professeurs.

Pour son enseignement de matrices en TS, au centre du système de ressources de Anne se situe un ensemble de manuels scolaires. Le manuel de la classe est utilisé pour donner aux élèves des exercices à faire à la maison ou du travail technique en classe ; Anne leur conseille aussi d'employer chez eux les parties d'auto-évaluation du manuel. Pour les sujets de devoir, elle utilise plutôt les autres manuels ; et pour les activités à mener en classe, elle conçoit ses propres sujets, en adaptant de manière plus ou moins importante les propositions de l'un ou l'autre manuel. Elle trouve notamment que ces activités sont en général trop guidées, et supprime des questions intermédiaires.

Autour de cet ensemble de manuels, et en lien avec celui-ci, son système de ressources intègre plusieurs autres éléments : le programme officiel, qui contient les principaux objectifs en termes de connaissances mathématiques ; certains logiciels et la calculatrice (dont l'usage est largement recommandé par les manuels) ; un livre d'annales de baccalauréat, qui fournit des exercices complémentaires (dans le cours de l'année, le sujet de baccalauréat de Pondichéry lui a fourni une nouvelle référence, sur ce qui pouvait être attendu des élèves), et dans une moindre mesure, le document « Matrices » du ministère. Dans le document « Matrices », Anne retient plutôt des intitulés de thèmes possibles, qu'elle retrouve ensuite dans les manuels. D'une certaine manière, ce document « Matrices » n'est pas directement pour Anne une ressource ; il semble en revanche avoir été largement utilisé par les auteurs de manuels, et c'est de cette manière que les choix faits dans ce document vont influencer les choix de Anne. Ainsi le document « Matrices » ne comporte que très peu de géométrie. Bien qu'il soit présenté comme un ensemble d'exemples, qui peuvent être complétés, la plupart des

manuels n'ont pas fait le choix de proposer plus de problèmes de géométrie que ce qui apparaît dans ce document. Ce choix se retrouve dans l'enseignement de Anne, qui propose relativement peu de travail dans un contexte géométrique à ses élèves.

Nous retenons ici un processus de développement d'un système de ressources (processus qui est en cours), pour l'enseignement des matrices. Naturellement, l'an prochain, ce système sera enrichi d'une part de tous les supports conçus cette année ; et d'autre part des différents sujets de baccalauréat qui auront traité de matrices. A ce système de ressources, est associé un ensemble de connaissances professionnelles, développées cette année par Anne à propos de l'enseignement des matrices. Elle apprécie cet enseignement, où les matrices et les calculs matriciels apparaissent comme des outils dans la résolution de certains problèmes. Cette manière de procéder lui semble plus pertinente que la manière dont elle avait elle-même étudié les matrices à l'université, avec une présentation abstraite qui ne permettait pas selon elle de comprendre le sens des calculs effectués. Elle a d'une part réactualisé ses connaissances mathématiques sur les matrices ; acquis des connaissances mathématiques nouvelles, car elle n'avait pas étudié la notion de matrice de transition ; elle a aussi acquis des connaissances sur les difficultés possibles des élèves : notamment, tout ce qui est lié à la confusion entre matrice et nombre réel. Ces connaissances ont été développées au fil d'interactions avec diverses ressources, certaines conçues pour cet enseignement, d'autres rencontrées notamment au cours de sa mise en œuvre (c'est le cas en particulier des productions d'élèves).

Au-delà de ces deux cas illustratifs, nous présentons ci-dessous des résultats sur la documentation des professeurs de mathématiques qui ressortent d'un ensemble de recherches menées depuis plusieurs années.

IV. Résultats de recherche : un bilan provisoire

Nous revenons ici sur les questions posées ci-dessus ; nous proposons certains éléments de réponses, ainsi que des hypothèses, issues de l'étude d'un nombre significatif de cas de professeurs (une vingtaine de professeurs environ ont été suivis avec la méthodologie d'investigation réflexive, depuis le début de nos travaux).

A propos des modes de conception, et de l'évaluation de la qualité des ressources

Le recours au numérique amène de manière évidente, non seulement une profusion de ressources, mais des modifications significatives des modes de conception des ressources. Tout professeur peut diffuser les ressources qu'il a conçues ; par ailleurs, de larges collectifs de professeurs, comme dans le cas de l'association *Sésamath* (Sabra & Trouche 2011) peuvent élaborer des ressources complexes comme un manuel scolaire numérique. Ces évolutions renforcent la nécessité d'évaluation de la qualité des ressources. Mais définir la qualité d'une ressource, qu'il s'agisse d'un manuel scolaire ou d'une ressource en ligne, pose question. Il faut certainement prendre en compte plusieurs types de facteurs : l'ergonomie de la ressource ; son contenu mathématique : justesse, adéquation aux objectifs du programme etc. Mais la qualité d'une ressource doit se comprendre comme qualité pour un utilisateur donné, et donc adéquation avec les objectifs précis de cet utilisateur. Comme tous les objectifs ne peuvent être prévus, d'emblée, on voit ainsi que l'adaptabilité de la ressource va entrer en compte, dans la détermination de la qualité de celle-ci. Ainsi pour un manuel accessible sous forme

numérique, la possibilité pour l'utilisateur de télécharger des parties du manuel sous un format aisément modifiable est essentielle. Dans le même temps, ceci pose question : si l'utilisateur peut tout modifier, comment sera conservée la cohérence initiale, construite par les auteurs du manuel ? Ce que l'intérêt porté au numérique met en évidence ici, c'est que la cohérence est, dans tous les cas, à la charge des utilisateurs qui composent leurs propres ressources. Un auteur de manuel, ou de ressources en ligne, ne peut pas soutenir ce processus, en envisageant toutes les modifications possibles ; il peut simplement faire le choix de supports, peut-être aussi de structurations, qui facilitent les adaptations.

Tenir compte des besoins spécifiques des utilisateurs, comme critère de qualité des ressources, amène à placer l'évaluation de la qualité sous la responsabilité des utilisateurs. C'est ce qui a été pratiqué dans le projet *Intergeo* (Trgalova et al. 2010), à propos de ressources concernant l'utilisation en classe de logiciels de géométrie dynamique. Un questionnaire est proposé aux utilisateurs pour l'évaluation des ressources qu'ils emploient. Ceci pose toutefois la question des modifications effectivement apportées aux ressources initiales, si une évaluation négative en est faite. Cette modification demande un travail significatif des concepteurs – et l'accord de ceux-ci, avec les modifications suggérées ! –, ce qui n'est pas forcément réaliste.

A propos des usages de ressources par les professeurs

En France, les professeurs de mathématiques utilisent largement les manuels scolaires. Tous les professeurs que nous avons suivis ont ainsi recours à un ensemble de trois ou quatre (parfois plus) manuels, pour chaque niveau de classe auquel ils enseignent.

Parmi ces manuels, le manuel de la classe joue un rôle spécifique, vecteur de communication avec les élèves, avant tout mobilisé pour donner des exercices à la maison. Les autres manuels servent à fournir des idées d'activités à faire en classe, des sujets de devoir à la maison, ou surtout sur table. A propos de ces activités, nous avons plusieurs fois entendu des professeurs déclarer qu'elles étaient trop détaillées, offrant trop de questions intermédiaires. Ceci concerne le texte d'activité à fournir aux élèves : en effet, ces questions intermédiaires sont en fait appréciées lorsqu'il s'agit de prendre connaissance du contenu de l'activité (et, dans le manuel numérique *Sésamath*, les professeurs utilisateurs ont massivement demandé l'accès à des corrigés des exercices). Parfois, nous avons également observé qu'un de ces manuels donnait la progression annuelle, dimension organisatrice essentielle du système de ressources des professeurs. En ce qui concerne cette progression annuelle, celle-ci peut aussi avoir d'autres sources (site académique par exemple) ; elle est généralement décidée en accord avec des collègues ayant le même niveau. Les manuels sont naturellement associés à d'autres ressources : notamment les ressources de type logiciel, qui sont maintenant largement mentionnées dans tous les manuels.

Les professeurs utilisent également le programme paru au Bulletin Officiel, qui donne les objectifs précis (et, pour le collège, les référentiels de compétences du socle commun). Ces objectifs pilotent les choix des auteurs de manuels, mais aussi les choix des professeurs dans les manuels. Quant aux documents « d'accompagnement des programmes », ceux-ci sont diversement appréciés et utilisés (selon les documents). Nous avons entendu des avis très positifs sur certains textes produits pour le collège ; et d'autres avis, très négatifs, notamment sur des textes produits pour le lycée. Les professeurs utilisent également d'autres types de ressources : ressources trouvées sur divers sites web. En collège, les ressources *Sésamath* sont très largement utilisées, les

professeurs téléchargent des parties du manuel numérique et les adaptent pour leurs élèves – surtout les professeurs disposant dans leur salle de classe d'un Tableau Blanc Interactif.

Nous avons identifié de manière claire que les professeurs développent au cours de leur travail un système de ressources structuré ; et qu'une nouvelle ressource est facilement intégrée si elle s'articule naturellement avec les ressources déjà présentes dans ce système – voir le cas de Carole, avec l'alignement du XXI^{ème} siècle. Nous ne pouvons pas inférer de nos travaux des tendances plus globales : « il est important que le manuel propose un grand nombre d'exercices », « grâce à Internet je trouve des activités plus ouvertes » etc. Des études complémentaires sont donc indispensables.

Des études menées aux Etats-Unis sur des professeurs du premier et du second degré (Diekema & Olsen 2012), à propos du traitement de l'information par les professeurs dans le cadre de leur pratique professionnelle, ont montré que le critère essentiel pour déterminer la pertinence d'une ressource était son adaptation aux objectifs précis du professeur. A propos des pratiques de recherche de ressources, les chercheurs ont montré que la première source d'information était les collègues, auxquels on demande conseil : en effet ces collègues sont à même de connaître, ou au moins de comprendre, les objectifs précis dont il est question. En cohérence avec ces constats, les professeurs sont demandeurs, en particulier en ce qui concerne les ressources offertes sur des sites web, de recommandations personnalisées.

Les interactions entre les ressources et les professeurs

Les descriptions que nous avons données ci-dessus soulignent bien que le professeur est concepteur du matériau de son enseignement. Tout professeur, même s'il ne diffuse pas ses productions, combine, modifie des ressources. On entend parfois dire que les professeurs sont seulement à la recherche de ressources clef en main, qu'ils puissent appliquer directement en classe pour économiser du temps de préparation. Toutes nos observations vont à l'encontre d'une telle idée. Certes, les professeurs privilégient des ressources qui ne les obligent pas à un travail complexe de compréhension des intentions des auteurs, qui affichent clairement les objectifs poursuivis et les tâches proposées. Cependant, même lorsqu'un professeur déclare qu'il a « appliquée telle quelle » une fiche trouvée sur Internet, ou une leçon passée par un collègue, une observation précise identifie rapidement des adaptations substantielles, qui peuvent être liées au contexte d'enseignement, au profil des élèves, au temps disponible, ou aux connaissances du professeur.

Inversement, le contenu d'une ressource influence clairement la préparation du professeur et ce qui va se passer dans la classe. Le document « Matrices » annonce qu'il ne présente que des exemples, et que les professeurs peuvent faire d'autres choix de problèmes à traiter ; toutefois, ce sont ces mêmes exemples qui se retrouvent dans les manuels, et donc sans doute dans bien des cours de Spécialité. Ainsi, les transformations géométriques sont très peu abordées. Ce choix peut avoir plusieurs origines ; mais le contenu du document « Matrices » y contribue de manière certaine.

C'est pourquoi nous soulignons les interactions entre les professeurs et les ressources : il s'agit bien de relations à double sens, les ressources influençant les choix des professeurs, et les professeurs transformant les ressources qu'ils utilisent. Le lecteur intéressé pourra trouver plus de détails dans : Gueudet & Trouche 2008, 2010 ; Gueudet, Pepin & Trouche 2012.

V. Formation des professeurs de mathématiques et ressources, des propositions

Former les professeurs aux usages de ressources

Nous espérons l'avoir mis en évidence ci-dessus : former les professeurs aux usages de ressources est essentiel, en particulier dans le contexte actuel de foisonnement de l'offre de ressources disponibles. Dans la formation initiale des professeurs de mathématiques, il semble que le manuel soit un objet d'étude assez répandu, et que soient pratiquées des analyses de manuels, à différentes échelles : progression choisie, contenu d'un chapitre, texte d'une activité, énoncé d'un exercice... Des activités sont proposées de comparaison de différents manuels, et de réflexion sur les choix effectués par les auteurs. En revanche, l'usage du manuel avec les élèves (quelles recommandations leur faire, quels usages leur proposer) semble nettement moins abordé dans ce contexte de formation – initiale ou continue – et pourrait utilement trouver sa place en formation.

En ce qui concerne les ressources en ligne, là encore leur analyse semble peu pratiquée en formation. Il serait possible de proposer des tâches d'analyse de ressources, utilisant une grille d'évaluation de la qualité ; ou même la construction d'une telle grille, avant de l'appliquer à l'analyse. Les travaux menés notamment dans le cadre du projet *Intergeo* (Trgalova et al. 2009) ont montré que l'analyse de ressources contribuait utilement à la formation des professeurs – formation aux usages de logiciels de géométrie dynamique, dans le cas d' *Intergeo*.

Dans le cas de la formation continue, un travail plus général sur les ressources pourrait également être envisagé. Les recherches menées dans le cadre de l'approche documentaire, mobilisant la méthodologie d'investigation réflexive, ont eu – sans que cet objectif ait été retenu au départ – un impact significatif sur les pratiques des professeurs. En effet cette méthodologie demande au professeur d'identifier quelles sont ses ressources, comment celles-ci sont agencées, mobilisées etc. On demande notamment au professeur de fournir une représentation schématique de son système de ressources (RSSR, figure 4).



Figure 4 – Représentation schématique par un enseignant de son système de ressources

Cet auto-examen de ses ressources par le professeur peut en amener des restructurations significatives, et mettre au jour des possibilités qu'il/elle n'avait pas encore identifiées.

Travail documentaire collectif et modalités de formation continue

Quel que soit l'objectif d'une formation de professeurs de mathématiques, celle-ci met en jeu des ressources ; et par ailleurs, celle-ci implique un travail documentaire des stagiaires. Certaines modalités de formation, susceptibles d'amener des changements durables de pratiques des professeurs, ont été identifiées par des recherches en didactique des mathématiques. Au Japon, sont pratiquées depuis de nombreuses années des *Lesson Studies* (Fernandez et Yoshida 2004) : des équipes de professeurs préparent une leçon sur un thème, l'implémentent en classe, et l'améliorent suite aux observations réalisées en classe. De manière générale, le travail documentaire collectif des professeurs a été identifié comme une modalité de formation continue efficace, dans le sens où elle amène des modifications durables des pratiques (Jaworski 2008, Krainer & Wood 2008, Gueudet & Lebaud 2013). Le groupe IREM est une telle modalité de formation, dont on sait par expérience l'efficacité, sans que celle-ci ait fait l'objet de recherches spécifiques – une autre piste qu'il serait intéressant de poursuivre.

Les moyens numériques amènent sur ce point encore des modifications significatives, notamment grâce aux plate-formes qui permettent une collaboration distante. Nous avons mené des travaux en particulier sur le programme *Pairform@nce*, programme de formation continue visant l'intégration de logiciels pour toutes les disciplines et tous les niveaux scolaires (Soury-Lavergne, Gueudet, Loisy & Trouche 2011). Les formations *Pairform@nce* reposent sur un principe de conception collaborative, de mise en œuvre et d'analyse de séances ou séquences de classe, par des équipes de professeurs. Il s'agit de formations hybrides (donc en partie en présence et en partie à distance), utilisant une plate-forme distante, locale à la formation dispensée. Nous avons observé que pour de telles formations, une part de travail en présence des stagiaires était un prérequis essentiel, pour qu'une collaboration distante soit possible.

De plus, une formation *Pairform@nce* est issue d'un parcours de formation, qui donne une description générique de la formation, ainsi que des conseils pour les formateurs (figure 5). Ce parcours est disponible sur une plate-forme nationale, et est importé sur la plate-forme locale pour la construction d'une formation locale. Ainsi les parcours *Pairform@nce* constituent (ou devraient constituer) des ressources pour les formateurs.

The screenshot displays a web interface with several navigation links: 'Déposer vos scénarios de TP', 'Forum pour la préparation du TP', and 'Emploi du temps'. Below these is a paragraph explaining a collaborative work calendar for trainees. A green header 'Conseil de pédagogie' is followed by a note stating it is only visible to formateurs and pedagogical staff. The main section, 'Pour les formateurs', lists resources for 'Assistant de formation étape 2', including a list of documents: 'Fiche de renseignements pour les stagiaires', 'Diaporama_Presentiel1', 'Liste_stagiaires', 'Riviere', 'Merlin', 'Reglisse', and 'TP'.

Figure 5 – Des ressources pour les formateurs, dans un parcours Pairform@nce

Les recherches que nous avons menées sur le programme *Pairform@nce* montrent notamment, à propos des formateurs, (Gueudet, Sacristan, Soury-Lavergne, & Trouche 2012), la difficulté de l'appropriation d'un parcours de formation par des formateurs qui ne l'ont pas conçu. Là encore, des travaux complémentaires sont nécessaires, pour déterminer comment il serait possible de constituer un corpus de ressources à destination de formateurs, qui soit réellement utile pour la mise en œuvre de formations.

Conclusion

Nous avons tenté dans ce texte, à la fois de faire un bilan des résultats déjà obtenus sur les ressources des professeurs de mathématiques ; de souligner la perspective fondamentale du professeur comme concepteur de ses ressources ; et d'indiquer des directions de recherche et des pistes de formation. Ces travaux doivent naturellement être poursuivis ; de prochaines publications amèneront des éclairages sur les manuels scolaires (numéro spécial de ZDM, octobre 2013), et sur le travail collaboratif des professeurs avec différents types de ressources (numéro spécial de ZDM, décembre 2013). Peu de chercheurs français prennent part à ces travaux internationaux, souhaitons que cette situation évolue !

BIBLIOGRAPHIE

- Adler, J. (2000). Conceptualising resources as a theme for teacher education, *Journal of Mathematics Teacher Education* 3, 205–224.
- Artigue, M., & Gueudet, G. (2008). Ressources en ligne et enseignement des mathématiques. *Actes De l'Université d'Été De Mathématiques*, Saint-Flour.
- Assude, T. (2007). Teachers' practices and degree of ICT integration, *Proceedings of the Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*, Larnaca, Chypre.
- Balliot, A. & Gueudet, G. (2013). Matrices au lycée : de nouvelles possibilités, pour la transition secondaire-supérieur ? *Actes du colloque IREM "Transition lycée-post-bac"*, Lyon, Mai 2013.
- Borba, M.C., & Llinares, S. (2012). Online mathematics teacher education: overview of an emergent field of research. *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 44, 697-704.
- Bruillard, É. (dir.) (2005). *Manuels scolaires, regards croisés*. CRDP de Basse-Normandie, Documents, actes et rapports sur l'éducation, Caen.
- Choppin, A. (2005). L'édition scolaire française et ses contraintes : une perspective historique, in Bruillard, É., *Manuels scolaires, regards croisés*. CRDP de Basse-Normandie, Documents, actes et rapports sur l'éducation, Caen.
- Diekema, A. R. & Olsen Whitney, M. (2012). The Notion of Relevance in Teacher Information Behavior. In *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology*, Baltimore, MD.
- Fernandez, C., & Yoshida, M. (2004). *Lesson Studies: a Japanese Approach to Improving Mathematics Teaching and Learning*. London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Fischer G., Ostwald J. (2005), Knowledge communication in design communities, in R. Bromme, F. Hesse, H. Spada (eds.), *Barriers and Biases in computer-mediated knowledge communication – and how they may be overcome*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gueudet, G. & Lebaud, M.-P. (2013). Démarches d'investigation en sciences, collectifs dans la formation des enseignants : enquête sur un lien complexe. In Grangeat, M. (ed.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*, (pp. 95-114), Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Gueudet, G., Pepin, B., Trouche, L. (eds.) (2012). *From Text to 'Lived' Resources : Mathematics Curriculum Materials and Teacher Development*, New York, Springer.
- Gueudet, G., Sacristan, A.I., Soury-Lavergne, S. & Trouche, L. (2012). Online paths in mathematics teacher training : new resources and new skills for teacher educators, *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 44 (6), 717- 731.
- Gueudet, G. & Trouche, L. (dir.) (2010). *La documentation des professeurs en mathématiques, Ressources vives*. PUR, Rennes et INRP.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2008). Du travail documentaire des enseignants : Genèses, collectifs, communautés. le cas des mathématiques. *Education Et Didactique*, 2(3), 7-33.
- Guin, D., Trouche, L. (dir.) (2002). *Calculatrices symboliques : transformer un outil en un instrument du travail mathématique, un problème didactique*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Haggarty, L., & Pepin, B. (2002). An investigation of mathematics textbooks and their use in English, French and German Classrooms: who gets an opportunity to learn what? *British Educational Research Journal*, 28(4), 567-90.
- Hoyle, C., & Lagrange, J.B. (Eds.) (2010). *Mathematical Education and Digital Technologies:*

Rethinking the terrain. New York: Springer.

Jaworski, B. (2008). Building and sustaining inquiry communities in mathematics teaching development: teachers and didactitians in collaboration. In K. Krainer & T. Wood (Eds.), *International Handbook of Mathematics Teacher Education, Vol. 3: Participants in mathematics teacher education* (pp. 309-330), Rotterdam, Taipei: Sense Publishers.

Krainer, K. & Wood, T. (eds.) (2008). *International Handbook of Mathematics Teacher Education, Vol. 3: Participants in mathematics teacher education*, Rotterdam, Taipei: Sense Publishers.

MEN/DEGESCO (2012). Ressources pour la classe Terminale générale et technologique. Matrices.