

RESSOURCES EN LIGNE, ENSEIGNEMENT ET APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES AU PREMIER DEGRÉ

Ghislaine Gueudet,
CREAD, IUFM de Bretagne-UBO
Ghislaine.Gueudet@bretagne.iufm.fr

1 ELÉMENTS DE CONTEXTE ET QUESTIONS

1.1 Le contexte du premier degré

Nous retenons ici un point de vue large sur les ressources en ligne susceptibles de concerner l'enseignement des mathématiques au premier degré. Le nombre de ces ressources ne cesse de croître ; dans le champ des EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain), les questions d'indexation donnent lieu à de nombreux travaux (Pernin 2006). Différents standards prévoient d'associer aux ressources des métadonnées, fournissant des informations sur leur contenu disciplinaire, sur les objectifs pédagogiques qui y sont associés. Il ne s'agit pas pour nous de nous pencher sur les questions d'indexation (quoique la question des dimensions didactiques de cette indexation soit fort importante, et peu abordée jusqu'à présent), mais de pointer d'emblée certaines distinctions qui sont utiles à notre étude. On peut ainsi classer les ressources :

- selon le ou les auteurs : sites web personnels, institutionnels ; ressources élaborées par des collectifs d'enseignants, associations en particulier ;
- selon les destinataires : élèves, professeurs des écoles, formateurs, autres acteurs du système éducatif. Ici il ne s'agit bien entendu pas de catégories mutuellement exclusives : une ressource pour les professeurs peut constituer également une ressource pour un formateur, par exemple. De plus certaines ressources peuvent être détournées de leur objectif : des ressources visant les élèves de collège peuvent être utilisées au premier degré ; certaines ressources ne sont a priori pas destinées à l'enseignement des mathématiques, et peuvent néanmoins être employées dans ce but, comme des extraits d'articles de presse etc. Néanmoins nous considérons comme Remillard (à paraître) qu'une ressource a toujours un public visé privilégié.
- selon la nature de la ressource⁵. Il peut s'agir de simples fiches au format pdf, ou de ressources qui mettent en jeu des éléments technologiques très avancés. On assiste ainsi actuellement au développement des « serious games », basés sur la réalité virtuelle et inspirés des jeux vidéo (voir à ce sujet le numéro spécial des dossiers de l'ingénierie éducative, n°65, 2009). L'écart entre fiche pdf et réalité virtuelle est extrême, du point de vue des possibilités d'interactivité. Sans aller aussi loin, on oppose aussi fréquemment les bases d'exercices en ligne (appellation que nous préférons ici à celle d'« exerciceur », nous expliquons ce choix au § 2) qui demeurent souvent à un niveau élémentaire d'interactivité et les logiciels libres offerts au téléchargement. Logiciels de géométrie dynamique (Déclic, Apprenti Géomètre, Tracempoche...), logiciels issus de la recherche en didactique (Bonjour Poussins, A nous les nombres...), poseurs d'opérations

⁵ Nous faisons figurer à la fin de ce texte une webographie, comportant les adresses de tous les sites que nous évoquons ici.

(par exemple celui développé par l'association Sésamath dans le cadre du projet Schène) semblent pouvoir constituer un apport technologique significatif.

Le choix des ressources retenues ici pour des exemples plus détaillés n'est pas lié à des critères de qualité. Il est motivé par différentes raisons, notamment :

- l'une des demandes formulées par les organisateurs pour cette conférence concernait les bases d'exercices en ligne. Nous portons donc ici un intérêt spécifique à ce type de ressources.
- nous avons retenu des ressources à propos desquelles nous avons effectué des recherches de terrain, qui nous permettent d'appuyer nos propos sur des observations faites en classe.

Dans le second degré, les travaux portant sur les ressources en ligne soulignent le recours massif à celles-ci (Bueno-Ravel & Gueudet 2007, Artigue & Gueudet 2008). Un tel constat ne peut être fait dans le cas du premier degré ; sans disposer de chiffres précis, on peut toutefois affirmer que les usages en classe de ressources en ligne en mathématiques sont nettement moins répandus à l'école primaire qu'au collège. L'équipement en ordinateurs des écoles reste peu développé (un ordinateur pour 12,5 élèves en moyenne en 2007, avec un objectif de un pour 10 en 2010), et les connexions à Internet sont très inégalement réparties sur le territoire. Bien entendu, l'absence de connexion est un facteur bloquant les usages de ressources en ligne. Il faut toutefois noter que le développement des usages n'est pas directement lié à l'équipement : ainsi, les calculatrices sont largement disponibles et demeurent cependant peu utilisées (Assude 2007). Ce constat est confirmé par le travail de Imbert (2008) à propos des usages des TICE au premier degré. Celui-ci a suivi les séances TICE réalisées par 15 professeurs des écoles durant 5 semaines. Pendant cette période, seuls 2 professeurs ont utilisé les TICE en mathématiques.

Pourquoi, dans ces conditions, s'intéresser tout de même aux ressources en ligne au premier degré ? Nous nous plaçons ici dans la perspective d'un développement à venir des usages de ces ressources. Cette perspective est conforme aux évolutions actuelles dans et autour de l'école, et aux projets institutionnels qui visent un large développement du numérique à l'école (mission e-Educ, 2008). Celui-ci doit être soutenu par différentes actions : distribution de clefs USB aux nouveaux enseignants, équipement Internet des écoles rurales, plate-forme d'identification des ressources et des usages, généralisation des Environnements Numériques de Travail, développement du portail PrimTICE... La volonté institutionnelle ne suffit pas pour bouleverser les pratiques en classe ; elle peut cependant constituer un facteur qui contribue aux évolutions.

1.2 Quelle(s) recherche(s), à propos des ressources en ligne ?

Les questionnements sur les ressources en ligne sont nombreux. Nous essayons ici de donner à voir largement l'état des lieux de la recherche sur ce sujet ; ceci nous amènera à nous pencher sur différents types de questions, que l'on pourrait regrouper de la manière suivante :

- quels usages de ressources en ligne par les élèves, quelles conséquences pour les apprentissages ?
- quels usages de ressources en ligne par les professeurs ; quelles modifications de leur travail, qu'est-ce qui permet l'appropriation d'une ressource, qu'est-ce qu'entraîne cette appropriation ?
- quels modes de conception des ressources, par et pour les professeurs de écoles ? Quels rôles pour les formateurs, les chercheurs ?

Du point de vue de la recherche, ces questions touchent de nombreux champs, dans la didactique des mathématiques et au-delà. Elles sont naturellement liées aux recherches qui prennent en compte les supports dédiés à l'enseignement. De nombreux travaux ont étudié ce qui est désigné en anglais par l'expression « curriculum material » : les manuels scolaires, mais aussi les instructions officielles, différents types de matériel... Ces travaux examinent les caractéristiques de ces supports, leur impact sur les apprentissages et l'enseignement (Remillard 2005 ; Margolinas *et al.* 2007). Le manuel scolaire, qui joue un rôle central au sein de ce matériel, a fait en particulier l'objet de nombreux travaux (Ball & Cohen 1996, Hagerty & Pepin 2002 ;

Bruillard 2005, Rezat à paraître). On peut considérer que les TICE relèvent du «curriculum material»; du point de vue de la recherche, ce qui concerne les TICE constitue toutefois un courant spécifique. En didactique des mathématiques, de nombreux travaux ont examiné l'impact du recours aux technologies sur les apprentissages, en se plaçant dans le cadre de l'approche instrumentale (Guin & Trouche 2002). Cette approche, s'appuyant sur des concepts d'ergonomie cognitive (Rabardel 1995), distingue un *artefact*, disponible pour un utilisateur, et un *instrument* que cet utilisateur construit, à partir de cet artefact, dans le cours de son action. L'instrument comporte une partie de l'artefact, mais également un ensemble de connaissances développées au cours de l'usage de l'artefact. Ces connaissances prennent la forme d'un schème d'utilisation de l'artefact : un schème (Vergnaud 1996) est une organisation invariante de l'activité, qui comporte notamment des *règles d'action*, et est structurée par des *invariants opératoires* qui se forgent au cours de l'activité dans différents contextes rencontrés avec une même finalité de l'action. C'est en recourant à cette notion de schème que la plupart des recherches relevant de l'approche instrumentale ont modélisé les apprentissages réalisés avec les technologies, en se centrant essentiellement sur les élèves. La prise en considération du rôle de l'enseignant a ensuite été introduite, avec la notion d'orchestration instrumentale (Trouche 2004). Cet intérêt pour le rôle précis de l'enseignant, pour ses propres interactions avec les technologies se développe actuellement, y compris dans des travaux relevant de l'étude de l'intégration des technologies (Assude & Gélis 2002, Ruthven 2007). Considérer les ressources en ligne amène à rapprocher les recherches sur les technologies et celles sur le «curriculum material». En effet, on peut trouver en ligne des logiciels de différentes sortes, et il est clair que l'Internet fait partie des technologies ; cependant le manuel numérique, et même les bases d'exercices en ligne, ont une proximité évidente avec les supports papier. Ce rapprochement donne à voir de nombreux éléments communs dans les questionnements, les perspectives retenues et les résultats établis. Au-delà de la didactique des mathématiques, d'autres domaines de recherche interrogent l'impact du numérique sur les contenus de connaissance et leur transmission. Nous avons déjà évoqué ci-dessus le champ de l'ergonomie cognitive ; dans le prolongement de la distinction entre artefact et instrument, celle-ci considère plus généralement les rapports entre conception et usages de ressources (Rabardel & Pastré 2005, Folcher 2005), rapports largement modifiés par le numérique. Un autre champ qui considère ces questions est celui de l'ingénierie documentaire (Pédauque 2006, Bachimont 2007), qui montre comment le détachement des supports et des contenus induit par le numérique modifie profondément les modes de transmission des connaissances, les rapports entre les utilisateurs, les concepteurs de ressources, mais également la connaissance elle-même.

Nous précisons des connexions avec ces différents domaines de recherche dans ce qui suit. Nous allons, en partie 2, poser la question du lien entre ressources en ligne et apprentissage des mathématiques à l'école. Dans la partie 3 nous étudierons les usages de ressources en classe, du point de vue des choix de scénarios, et de l'appropriation de ressources par les enseignants. Nous considérerons finalement en partie 4 les processus de conception de ressources, les nouvelles articulations entre conception et usage, en portant un intérêt spécifique aux aspects collectifs de ces processus.

2 RESSOURCES EN LIGNE ET APPRENTISSAGE

2.1 L'exemple de la proportionnalité en CM2

Nous présentons ici une expérimentation qui a été menée au sein d'un groupe de recherche INRP-IREM de Rennes-IUFM de Bretagne entre 2003 et 2005. Ce groupe, Hyperpro

(Hypermédia et Proportionnalité), s'est penché sur les conséquences possibles pour les apprentissages de l'emploi d'une base d'exercices en ligne à propos du thème de la proportionnalité, aux niveaux CM2 et sixième. Le travail de ce groupe a déjà été présenté en détail par ailleurs (Gueudet 2007, Artigue & Gueudet 2008, Gueudet 2009), mais en se centrant sur la classe de sixième. Ici, nous allons donner brièvement les grandes lignes de notre démarche, et les résultats obtenus en classe de CM2.

L'objectif du groupe était d'analyser les apprentissages que de « jeunes » élèves pouvaient réaliser au cours d'une séquence ménageant un temps important de travail en autonomie (c'est à dire ici sans intervention de l'enseignant pour la classe entière) sur une base d'exercices en ligne (BEL). Ici, on voit d'emblée qu'on sort d'un *a priori* de type « exerciseur » : l'objectif n'est pas l'entraînement sur des techniques apprises précédemment, mais l'emploi d'une BEL comme support à la résolution de problèmes visant la construction de connaissances nouvelles.

Le groupe a débuté son travail en 2003 par l'examen des bases d'exercices disponibles, pour finalement retenir Mathenpoche⁶ (MEP), à l'initiative d'une des deux enseignantes de collège du groupe. Les exercices disponibles concernaient le niveau 6^e, et étaient donc peu adaptés pour le CM2. Ceci nous a amenés à concevoir une série d'exercices (30 au total) de proportionnalité qui peuvent être traités dès la fin du CM2. Il s'agit de problèmes de proportionnalité, qui peuvent tous être résolus avec diverses procédures, non suggérées dans l'énoncé. Nous nous sommes appuyés pour le choix de ces exercices sur les travaux de recherche en didactique sur le thème de la proportionnalité (Vergnaud 1997, Boisnard *et al.* 1995), en particulier afin d'effectuer des regroupements en classes de problèmes. Un autre choix central que nous avons effectué a consisté à faire afficher, avec la réponse juste, deux solutions correspondant à deux procédures différentes.

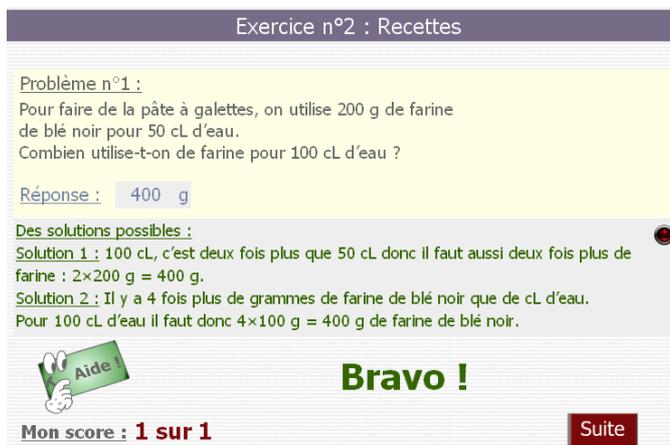


Figure 1. Exemple d'un écran MEP, problème de recette avec deux solutions.

Lors de la mise en œuvre en classe, les élèves ont travaillé pendant 4 séances par binômes sur des séries d'exercices. Ils devaient simultanément remplir un carnet de bord individuel, dans lequel une page était destinée pour chaque exercice à faire figurer la réponse numérique mais également une solution détaillée. A la suite de ces quatre séances, les élèves devaient en groupe rédiger des affiches sur deux thèmes :

- Qu'est-ce qu'un problème de proportionnalité ?
- Différentes manières de résoudre un problème de proportionnalité.

⁶ <http://mathenpoche.sesamath.net>.

Une séance de débat était ensuite organisée autour des affiches ; elle était suivie par l'institutionnalisation en classe.

Nous avons en début d'expérimentation soumis aux élèves un test diagnostique initial ; nous avons également effectué un diagnostic final, avant la séance d'institutionnalisation. De plus nous avons recueilli les carnets de bord, les suivis informatiques des élèves, les affiches, les vidéos des séances d'échanges. Enfin, deux binômes d'élèves ont été observés à chaque séance sur machine. L'analyse de ces données nous a fourni de nombreux résultats, nous en évoquons quelques uns ici.

Nous avons anticipé des difficultés du type « zapping », sans réflexion approfondie sur chaque exercice ; tentation de recopier la solution affichée à l'écran... Ceci ne s'est en fait pratiquement pas manifesté. En revanche, nous avons relevé dans les carnets de bord certaines réponses justes associées des procédures erronées. Ceci peut être renforcé par le feed-back « bonne réponse » de MEP, lorsque la valeur numérique est correcte. Nous avons de plus observé en classe certains élèves adoptant des procédures d'essai-erreur, en exploitant la possibilité de première réponse fausse.

Au total 34 élèves de CM2 ont pris part à cette expérimentation (une classe complète, et les élèves de CM2 d'une classe de CM1/CM2). L'examen des carnets de bord montre un seul élève qui s'est contenté d'écrire des résultats numériques, sans rédiger de solutions. Pour tous les autres, apparaissent dans les carnets et les évaluations finales des procédures reposant sur la linéarité, multiplicative ou additive. 30 élèves utilisent de plus des procédures de type coefficient de proportionnalité. Dans l'évaluation finale, 22 élèves font appel aux deux types de procédures, contre 11 seulement lors de l'évaluation initiale.

Il ne s'agit pas ici d'affirmer que les élèves ont appris plus, ou mieux, en travaillant sur MEP qu'avec un travail papier-crayon de même nature ; nous n'avons pas élaboré notre expérimentation dans cet objectif. Ce travail reste bien entendu à entreprendre.

2.2 Apprentissages et ressources en ligne

Au-delà de l'exemple présenté ci-dessus, nous avons travaillé au premier degré avec MEP dans différents projets. Nous en retenons qu'il est possible d'en faire un emploi qui va nettement au-delà du simple exerciceur, et contribue à la découverte de notions et méthodes mathématiques. Par ailleurs, l'emploi comme exerciceur ne doit pas être négligé : un travail technique, effectué par chaque élève à son rythme et en fonction de ses besoins peut être tout à fait profitable, par exemple dans le domaine du calcul mental (MEP dispose d'un module qui permet à chaque professeur d'élaborer ses propres exercices de calcul mental, en réglant des paramètres tels que la taille des nombres en jeu, le temps accordé etc.).

L'emploi de bases d'exercices en ligne soulève néanmoins des difficultés spécifiques. Un tel logiciel embarque son propre contrat didactique (Brousseau 1998) : il est porteur d'un système d'attentes, auquel l'élève est sensible. Typiquement, le logiciel attend une réponse numérique juste, indépendamment de la procédure employée pour obtenir ce résultat. Il est essentiel que le professeur soit conscient de cette attente, et mette en place un scénario susceptible de contrebalancer les règles implicites du logiciel qui seraient en conflit avec le contrat que le professeur veut mettre en place. A cet égard, les traces écrites peuvent jouer un rôle central. Sans aller jusqu'à demander de rédiger chaque exercice comme nous l'avons fait ci-dessus, on peut demander aux élèves de sélectionner certains exercices dont une solution complète sera écrite ; on peut aussi proposer des exercices proches sur papier, et laisser la BEL accessible à titre d'aide, en cas de besoin.

Les travaux sur les apprentissages avec des ressources en ligne à l'école doivent être poursuivis. Il est essentiel d'établir des résultats sur l'efficacité de ces ressources, en termes d'apprentissages

réalisés, pour éclairer leurs potentiels apports, et inconvénients, par rapport aux supports traditionnels.

3 RESSOURCES EN LIGNE ET ENSEIGNEMENT

3.1 L'exemple de la numération en CE2

Nous nous appuyons ici sur le travail d'un groupe de recherche INRP-IUFM Bretagne, le groupe TREMA-1 (TICE et Ressources en Mathématiques au premier degré). Ce groupe travaille sur l'intégration des TICE au premier degré ; dans ce cadre, nous avons en particulier suivi et analysé en 2008-2009 une séquence de numération en classe de CE2, lors de laquelle le maître a eu recours au boulier virtuel⁷, une ressource Sésamath-IREM de Lille.

La classe concernée comporte 18 élèves. 8 ordinateurs, tous connectés à Internet, sont disponibles dans la bibliothèque de l'école.

Le maître (qui est un membre du groupe) n'utilise pas ordinairement les ordinateurs pour travailler les mathématiques. Il a en revanche régulièrement recours à la calculatrice. Mais les ressources qu'il emploie le plus fréquemment pour préparer ses séances de mathématiques sont les manuels : ERMEL, le Nouvel objectif calcul, et Cap Maths.

Nous avons examiné dans le groupe différentes ressources en ligne ; le choix de ce maître s'est porté sur le boulier virtuel à cause d'une séance du Nouvel objectif calcul qu'il n'avait jamais pu mettre en place en classe : numération avec un boulier chinois.

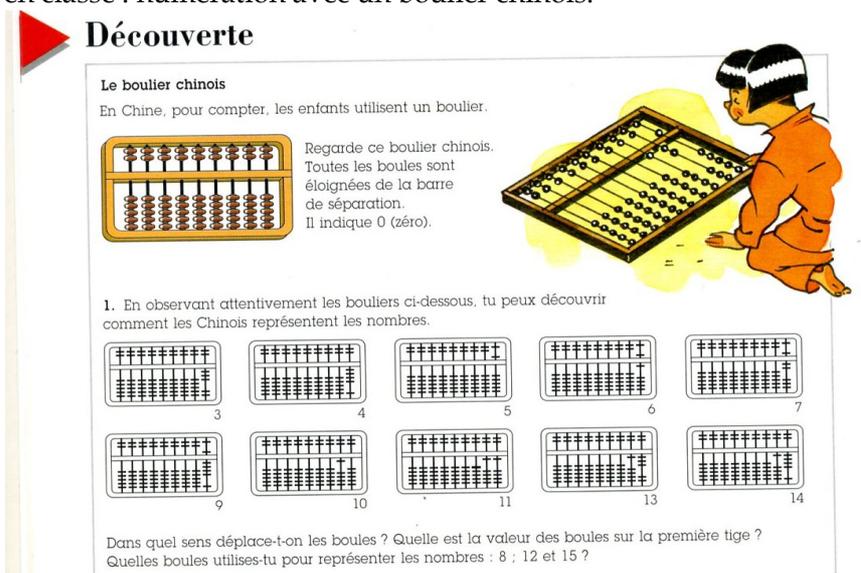


Figure 2 Extrait du nouvel objectif calcul, Peltier *et al.* 1996

Le livre du maître associé souligne l'importance d'une manipulation par les élèves de bouliers. Cependant, cette manipulation pose un problème important de mise en œuvre dans la classe. En effet, lorsque l'élève déplace des boules sur le boulier, seul le maître peut valider ou invalider le positionnement choisi. De plus, les boules étant très mobiles, même en imaginant que le maître parvient à circuler auprès de chaque élève, il est probable que lors de son arrivée celles-ci ne soient plus dans la position choisie par l'élève.

⁷ http://cii.sesamath.net/lille/exos_boulier/index.php

Ici, le recours au boulier virtuel s'est imposé comme condition de possibilité de mise en place de la séquence.

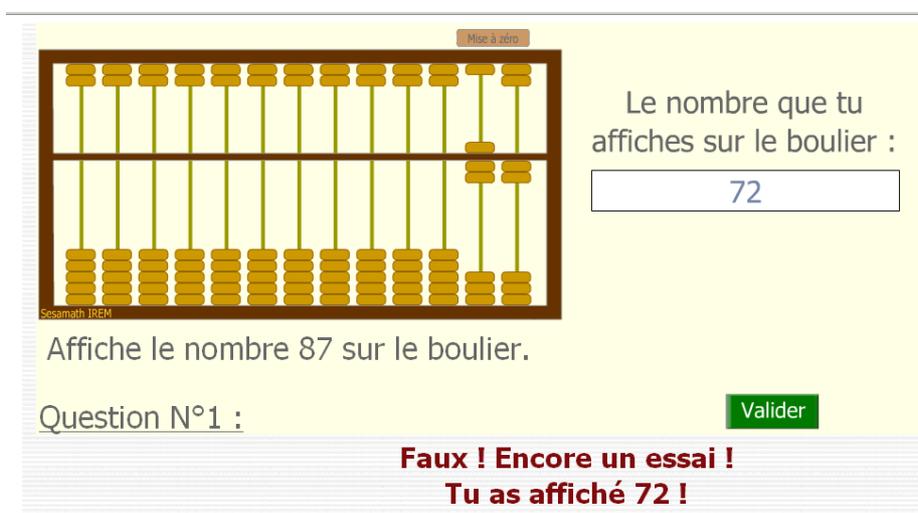


Figure 3. Un exemple d'exercice proposé sur le boulier virtuel Sésamath

La séquence de numération comporte 8 séances.

Un boulier matériel a été en premier lieu présenté aux élèves. Ensuite ceux-ci manipulaient en binômes ou trinômes le boulier virtuel. Ils devaient en particulier réaliser les affichages de nombres demandés par le Nouvel objectif calcul. Dans cette première phase de travail, tous les élèves ont réussi à effectuer des affichages corrects sur le boulier virtuel. Les discussions dans le groupe, appuyées par les résultats de recherche (Poisard 2006) ont amené le maître à s'interroger sur ce succès surprenant, étant donnée la difficulté de la tâche. Il a alors demandé à ses élèves, avant manipulation du boulier virtuel, de dessiner sur une feuille les positions des boules qu'ils pensaient correctes pour l'affichage d'un nombre donné (les exemples traités dans cette phase étaient 55, 64, 120, 187, 300, 575). Ceci a permis de constater que leur réussite précédente résultait de procédures d'essai-erreur sur le logiciel, et non d'une réelle compréhension du fonctionnement du boulier (symbolique des boules, échanges...). Les traces papier ont montré que pour des nombres de deux chiffres, certains élèves avaient besoin d'au moins 3 essais avant de parvenir à la bonne position.

On observe ici le recours à un ensemble de ressources varié : boulier matériel, boulier virtuel, livre de l'élève, résultats de recherche, mais aussi productions des élèves (ceux-ci ont notamment réalisé des affiches à propos du fonctionnement du boulier, qui ont permis la constitution d'un mode d'emploi du boulier commun à la classe). Du point de vue des élèves, le scénario mis en place, et l'articulation entre traces papier et boulier virtuel en particulier, a permis de déjouer les stratégies d'essai-erreur, induites par le contrat didactique de la ressource. Les évaluations finales ont montré que le fonctionnement du boulier était compris de tous, et que les élèves comprenaient le sens des affichages du boulier. Le maître a en outre observé, quelques semaines plus tard, que ces élèves semblaient particulièrement à l'aise avec la pratique des échanges, notamment lors de l'apprentissage de la division.

Du point de vue du maître, le boulier virtuel a été facilement intégré : il s'articule naturellement avec l'un des manuels qu'il a l'habitude d'utiliser. Cette ressource permet de concevoir une séquence qui vise un objectif auquel ce maître accorde beaucoup d'importance : le travail en numération entière sur les échanges.

3.2 Ressources et documents des professeurs

La conception de ressources en ligne est techniquement à la portée de nombreux professeurs, comme en témoigne le foisonnement de sites web personnels. Mais il n'est pas nécessaire de réaliser un site web pour effectuer une tâche de conception : dans l'exemple du boulier présenté ci-dessus, l'enseignant n'a pas conçu, ni même modifié, la ressource en ligne. Il en a sélectionné une partie, l'a associée avec d'autres, a prévu une mise en œuvre en classe ; durant cette mise en œuvre il a observé les élèves et leurs productions, qui l'ont amené à modifier ce qu'il avait prévu etc. L'intérêt pour les ressources en ligne amène ainsi plus largement à considérer le professeur comme un concepteur de ressources.

C'est ce point de vue qui est développé dans l'*approche documentaire du didactique* (Gueudet & Trouche 2008). Dans cette approche, nous considérons que les professeurs effectuent un *travail documentaire* : ils collectent des ressources, les sélectionnent, les recomposent, les mettent en œuvre, les révisent... Nous nommons *documentation* ce travail et ce qu'il produit. Le manuel scolaire tient une place centrale parmi ces ressources des professeurs, en particulier au premier degré. Margolinas & Wozniak (à paraître) montrent ainsi que pour certains professeurs des écoles, un manuel (nous nommons ici « manuel » l'ensemble constitué par le livre de l'élève et le livre du maître) particulier constitue une source centrale pour son travail documentaire, et donne forme à l'ensemble de la documentation de ce professeur (ce que Margolinas et Wozniak nomment *l'œuvre* du professeur). Le manuel est associé à d'autres ressources, parmi lesquelles on trouve de plus en plus souvent des ressources en ligne. Dans tous les cas, le travail documentaire est influencé par les connaissances professionnelles des professeurs. Ces connaissances amènent le professeur à choisir une ressource ou à la rejeter, à effectuer un choix spécifique de mise en œuvre... Mais dans le même temps, le travail documentaire induit le développement de nouvelles connaissances. En nous appuyant sur l'approche instrumentale (Guin & Trouche 2002), nous considérons qu'à partir d'un ensemble de ressources, le maître développe un *document*, composé de ressources recombinaisons et de connaissances professionnelles. Ce développement s'effectue dans la durée, dans différents contextes pour un même objectif d'enseignement ; nous nommons *genèse documentaire* ce processus.

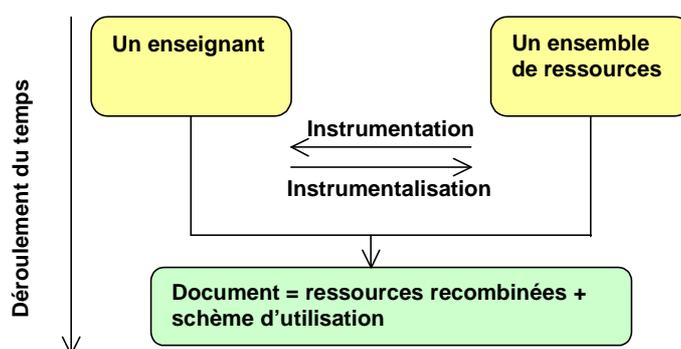


Figure 4. Représentation schématique d'une genèse documentaire

Ainsi dans le cas de la séquence présentée en § 3.1, c'est l'importance accordée aux échanges en numération entière qui a amené le maître à retenir le boulier virtuel et à élaborer une séquence y ayant recours (instrumentalisation). De plus celui-ci s'associait très naturellement à l'un des manuels régulièrement utilisés par le maître, et s'est ainsi inséré dans le *système de ressources* du maître (Gueudet & Trouche à paraître). L'élaboration de la séquence a amené le maître à développer de nouvelles connaissances (instrumentation). Certaines sont directement relatives au boulier, comme le fait de demander une trace écrite anticipant le positionnement, pour

déjouer les stratégies d'essai-erreur. D'autres touchent plus généralement l'enseignement de la numération, et l'emploi des principes de la numération entière dans d'autres domaines : ainsi le maître a été spécifiquement attentif à l'aspect des échanges lors de la découverte par les élèves de la division. Il ne s'agit ici que du début d'une genèse ; celles-ci sont des processus continus, chaque mise en œuvre produit de nouvelles ressources, qui vont amener des adaptations... L'analyse des genèses documentaires demande un suivi au long cours, suivi du travail en classe, mais également du travail de préparation du professeur, ce qui soulève des difficultés méthodologiques spécifiques (Gueudet & Trouche 2009a).

Cette analyse délicate nous semble cependant indispensable pour comprendre les mutations qui sont ou vont être engendrées par les nouvelles ressources. Elle éclaire également les phénomènes d'intégration ou de non-intégration de ressources. Dans tous les cas, l'approche documentaire amène à considérer le professeur comme un concepteur de ressources, et à porter un nouveau regard sur l'articulation entre conception et usage de ressources.

4 CONCEPTION ET USAGES DE RESSOURCES

La conception et la diffusion de ressources en ligne peuvent donner lieu à de vastes projets institutionnels. C'est le cas par exemple au Mexique : le projet Enciclomedia (Lozano & Trigueros 2007) vise la conception et la diffusion de ressources couvrant l'intégralité de l'enseignement du premier degré. Des moyens importants sont consacrés à ce projet national ; les ressources sont conçues par des chercheurs en didactique, associés à des informaticiens. Des actions de développement et d'accompagnement des usages sont réalisées sur le terrain. L'objectif initial de ce projet est de contribuer à résoudre le problème de la formation insuffisante d'une partie des enseignants. L'idée centrale est donc ici que la production de « bonnes ressources » pourra contribuer à améliorer la qualité de l'enseignement ; Internet sert de vecteur de diffusion privilégié pour ces « bonnes ressources » (ces ressources restent proches du manuel scolaire officiel, auquel sont adjointes certains supports interactifs simples).

Le projet Enciclomedia donne l'exemple d'un mode de conception « top-down » : des experts conçoivent à destination d'utilisateurs ; la qualité des ressources est garantie par l'expertise des concepteurs. Reste alors à assurer que ces ressources sont convenablement employées sur le terrain, d'où la mise en œuvre d'actions d'accompagnement des usages.

On peut considérer qu'à l'opposé de cette démarche existent des ressources résultant d'un mouvement « bottom-up » : ressources issues du travail des utilisateurs. C'est le cas, en France, des ressources conçues par l'association Sésamath, auxquelles nous avons largement fait allusion ci-dessus. Au départ du travail de l'association, quelques professeurs concevant individuellement des ressources ont décidé de mutualiser leur travail, en fondant cette association (Sésamath 2008, Gueudet & Trouche 2009b). Ils sont rapidement passés à un travail coopératif, concevant ensemble la base d'exercices MEP (§ 2), puis des logiciels destinés à la géométrie, avant qu'un nouvel élargissement n'amène à la production collaborative de manuels scolaires (qui existent en ligne et sur papier). Le site web de Sésamath enregistre plus de 1,3 millions de connexions chaque mois, ses ressources sont largement utilisées dans les classes.

Dans ce cas, la qualité des ressources doit provenir des dimensions collectives du travail de conception (un phénomène connu dans les communautés de type wikipedia). L'une des dimensions importantes est alors la possibilité de recueillir les avis des utilisateurs, et de faire évoluer les ressources pour intégrer les améliorations suggérées, corriger les éventuelles erreurs etc. C'est l'un des objectifs du site Sésaprof, qui a été ouvert en 2008 pour permettre la communication entre utilisateurs et concepteurs de ressources Sésamath, la communication entre utilisateurs et la réalisation conjointe de certaines ressources. L'existence de ces deux logiques opposées, sur la conception de ressources et l'articulation entre conception et usages,

soulève de nombreuses questions. Est-ce qu'une des deux logiques serait préférable, et selon quels critères ? Faut-il promouvoir des logiques intermédiaires, où experts et acteurs de terrain collaborent, et sous quelles formes ?

Dans le projet européen Intergéo, consacré à la géométrie dynamique (Trgalova *et al.* to appear), des chercheurs et des professeurs collaborent pour élaborer des ressources ; les tests en classe et les retours des utilisateurs constituent un levier essentiel pour la qualité des ressources.

En mathématiques en France, nous n'avons guère d'exemples de vastes projets relevant de telles logiques de collaborations « métis » (entre experts et acteurs du terrain). La situation est semblable-t-elle différente en sciences expérimentales : le projet « la main à la pâte », initié par l'académie des sciences, propose des ressources conçues par des experts mais permet également de mutualiser des séquences de classe réalisées par des professeurs des écoles.

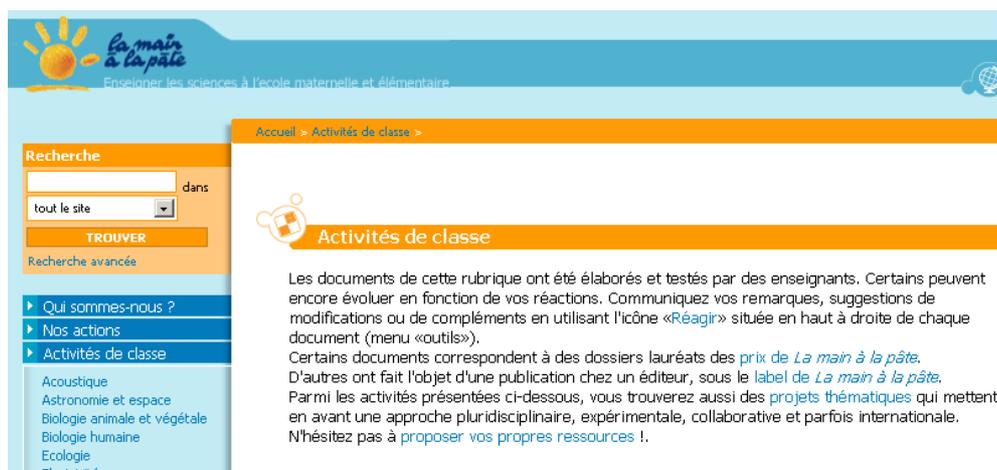


Figure 5. La main à la pâte, mutualisation de ressources

La circulaire de rentrée 2009 met en avant l'intention de développer le portail PrimTICE, qui vise à mutualiser des scénarios de séquences intégrant les TICE au premier degré, dans toutes les disciplines. Il s'agirait alors d'une dynamique de mutualisation impulsée par l'institution, et certainement associée à un contrôle des ressources avant leur diffusion.

Il est certain que les dimensions collectives, effectives et possibles, tant dans la conception que dans les usages, constituent une caractéristique majeure des ressources en ligne. « Voilà donc ce que change la numérisation : elle fabrique des communautés virtuelles, flottantes, illimitées, insaisissables... » (Pédauque 2006, p.12).

Quel peut être alors le rôle des chercheurs en didactique des mathématiques, des formateurs, dans ces nouveaux équilibres, au-delà de la production de ressources expertes, ou du contrôle de ressources produites par d'autres ?

Nous n'avons jusqu'à présent que peu évoqué les actions de formation associées aux ressources, c'est cette direction que nous allons considérer maintenant. Une formation peut viser de présenter les caractéristiques techniques des ressources, ainsi que des usages considérés comme efficaces. Une telle formation relève là encore d'une démarche « top-down ». Les nouveaux équilibres entre conception et usages, l'importance que nous accordons au travail documentaire du professeur conduisent à penser d'autres modes de formation, initiale ou continue. Considérer le professeur comme un concepteur amène à penser la formation comme un accompagnement de cette conception. Il s'agit d'assister le travail documentaire du professeur.

L'un des aspects centraux de cet accompagnement peut prendre la forme de la constitution de collectifs dans lesquels le professeur pourra s'insérer. On retrouve ici des principes bien connus dans les IREM, mais qui peuvent prendre de nouvelles formes grâce au numérique. Plusieurs

initiatives de formation au premier degré vont en ce sens. Georget (2009) a ainsi constitué des groupes de professeurs stagiaires qui travaillent via une plate-forme distante pour préparer conjointement pour leurs classes des séquences de résolution de problèmes. Plus largement, le programme Pairform@nce du ministère de l'éducation nationale propose des formations continues, dans toutes les disciplines et à tous les niveaux scolaires, visant l'intégration des TICE et fondées sur un principe de conception collaborative de séquences de classe. La plate-forme nationale Pairform@nce propose des parcours de formation continue, donnant l'architecture de telles formations, à mettre en oeuvre dans les classes. Certains de ces parcours concernent les mathématiques au premier degré ; c'est en particulier le cas du parcours M2PC (Assude 2009, atelier Assude *et al.* COPIRELEM 2009), qui porte sur l'intégration en classe des calculatrices. La recherche INRP-Pairform@nce (Gueudet *et al.* 2008) a conçu et analysé divers parcours (dont ceux cités ci-dessus) et leur mise en oeuvre. Nous avons ainsi observé que de telles formations peuvent conduire à l'émergence de collectifs de professeurs développant un travail commun au-delà de la formation, sous certaines conditions. En particulier, une part importante de travail collectif en présence, accompagné par un formateur, reste nécessaire. Cette recherche confirme ainsi que l'hypothèse d'une auto-formation de professeurs exploitant, sans formateurs, des ressources au sein de collectifs distants spontanément constitués est très éloignée de la réalité, et qu'il est nécessaire de résister à la tentation économique qui conduit à formuler des telles hypothèses.

5 CONCLUSION

Nous avons choisi ici de nous situer dans une perspective de développement des usages de ressources en ligne au premier degré. Ainsi nous ne nous interrogeons pas en particulier sur des dispositifs qui pourraient soutenir l'intégration de ressources en ligne, puisque nous faisons l'hypothèse que, comme aux autres niveaux scolaires, l'usage de telles ressources va se répandre. Dans cette perspective, une question centrale concerne la qualité des ressources. Du point de vue du chercheur en didactique, du formateur, il s'agit de contribuer à cette qualité comme à celle des usages. Avec le point de vue de l'approche documentaire, qui regarde le professeur comme un concepteur de ressources, non pas isolé mais potentiellement inséré dans divers collectifs, il s'agit pour les chercheurs et les formateurs d'assister le travail documentaire, au sein de formations spécifiques. La forme exacte de cette assistance reste à préciser en fonction du contexte et des objectifs de la formation ; elle peut dans tous les cas intégrer le recours à un travail documentaire collectif.

Il reste cependant un point central que nous n'avons pas approfondi ici : comment définit-on, et comment peut-on évaluer la qualité d'une ressource, d'un usage de ressources en classe ? Selon le contenu mathématique en jeu, la recherche fournit des critères concernant la qualité didactique, épistémologique d'une ressource. Mais évaluer la qualité des usages demande de prendre en compte l'efficacité de l'enseignement. Cette question est délicate ; il est cependant central d'y consacrer des recherches, en examinant de près les apprentissages réalisés par les élèves. Nous avons choisi ici de nous situer dans une perspective de développement des usages de ressources en ligne au premier degré. Ainsi nous ne nous interrogeons pas en particulier sur des dispositifs qui pourraient soutenir l'intégration de ressources en ligne, puisque nous faisons l'hypothèse que, comme aux autres niveaux scolaires, l'usage de telles ressources va se répandre. Dans cette perspective, une question centrale concerne la qualité des ressources. Du point de vue du chercheur en didactique, du formateur, il s'agit de contribuer à cette qualité comme à celle des usages. Avec le point de vue de l'approche documentaire, qui regarde le professeur comme un concepteur de ressources, non pas isolé mais potentiellement inséré dans divers collectifs, il s'agit pour les chercheurs et les formateurs d'assister le travail documentaire,

au sein de formations spécifiques. La forme exacte de cette assistance reste à préciser en fonction du contexte et des objectifs de la formation ; elle peut dans tous les cas intégrer le recours à un travail documentaire collectif.

Il reste cependant un point central que nous n'avons pas approfondi ici : comment définit-on, et comment peut-on évaluer la qualité d'une ressource, d'un usage de ressources en classe ? Selon le contenu mathématique en jeu, la recherche fournit des critères concernant la qualité didactique, épistémologique d'une ressource. Mais évaluer la qualité des usages demande de prendre en compte l'efficacité de l'enseignement. Cette question est délicate ; il est cependant central d'y consacrer des recherches, en examinant de près les apprentissages réalisés par les élèves.

6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARTIGUE, M., GUEUDET, G. (2008). Ressources en ligne et enseignement des mathématiques, Université d'été de mathématiques, Saint-Flour.

http://www3.ac-clermont.fr/pedago/maths/pages/UE2008/prog_UE_2008.htm.

ASSUDE, T. (2007). Formation, recherche et enseignement : changements, stabilités et résistances à propos de l'arithmétique élémentaire. In Rouchier, A et Bloch, I. ed . *Perspectives en didactique des mathématiques, Cours de la 13e école d'été de didactique des mathématiques, Sainte-Livrade 2005*, La Pensée Sauvage, Grenoble.

ASSUDE, T. (2009). Une approche systémique et fonctionnelle de la conception de parcours de formation, présentation au colloque EMF 2009, Dakar, Sénégal.

ASSUDE, T., GÉLIS, J.M. (2002). Dialectique ancien-nouveau dans l'intégration de Cabri-géomètre à l'école primaire. *Educational Studies in Mathematics*, 50, 259-287.

BACHIMONT, B. (2007). *Ingénierie des connaissances et des contenus : le numérique entre ontologies et documents*. Paris : Hermès.

BALL, D.L., COHEN, D. (1996). Reform by the book: what is -or might be- the role of curriculum materials in teacher learning and instructional reform? *Educational researcher* 25(9), 6-8, 14.

BOISNARD D., HOUDEBINE J., JULO J., KERBOEUF M.-P., MERRI M. (1995). *La proportionnalité et ses problèmes*, Hachette éducation, Paris.

BROUSSEAU, G. (1998). *La Théorie des situations didactiques*, La Pensée Sauvage, Grenoble.

BRUILLARD, E. (2005). *Manuels scolaires, regards croisés*. CRDP de Basse Normandie, documents, actes et rapports sur l'éducation, Caen.

BUENO-RAVEL, L., GUEUDET, G. (2007). Genèse instrumentale pour l'enseignant : tâches et techniques didactiques instrumentées par une base d'exercices en ligne, 2e congrès sur la théorie anthropologique du didactique, Uzès,

http://www4.ujaen.es/~aestepa/TAD_II_fr/listado_comunicaciones.htm.

BUENO-RAVEL, L., GUEUDET, G., POISARD, C. (2008). Teachers, resources and documents: a case study about primary school geometry, colloque ECER, Göteborg.

FOLCHER, V. (2005). De la conception pour l'usage au développement de ressources pour l'activité, in P. Rabardel, P. Pastré (dir.) *Modèles du sujet pour la conception*. 189-210. Toulouse : Octarès.

GEORGET, J.-P. (2009) Apport de l'ergonomie des EIAH pour l'analyse et la conception de ressources destinées aux enseignants de mathématiques, Colloque EMF 2009, Dakar, Sénégal.

GUEUDET, G. (2007). Emploi de Mathenpoche et apprentissage, *Repères IREM* 66, 5-25.

GUEUDET, G. (2009). Travailler avec Mathenpoche autrement ? *Repères IREM* 75, 69-83.

GUEUDET, G., SOURY-LAVERGNE, S., TROUCHE, L. (2009) Soutenir l'intégration des TICE : quels assistants méthodologiques pour le développement de la documentation collective des

professeurs ? Exemples du SFoDEM et du dispositif Pairform@nce. *Actes du colloque DIDIREM, Paris* (septembre 2008).

<http://www.didirem.math.jussieu.fr/colloque2008/groupe1-3.htm>

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

GUEUDET, G., TROUCHE, L. (2009a). La documentation des professeurs de mathématiques, in L. Coulange, C. Hache, *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques 2008*, ARDM, IREM Paris 7, 249-269.

GUEUDET, G., TROUCHE, L. (2009b). Conception et usages de ressources pour et par les professeurs : développement associatif et développement professionnel. *Les dossiers de l'ingénierie éducative* 65, 78-82.

GUEUDET, G., TROUCHE, L. (à paraître). Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires, In Gueudet, G. et Trouche, L. *Le travail documentaire des professeurs : regards croisés, le cas des mathématiques*. Presses Universitaires de Rennes.

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*, Vol.28(4), 567-590.

IMBERT, J.-L. (2008) L'intégration des TICE dans les pratiques mathématiques à l'école primaire. Thèse de Doctorat de l'Université de Provence.

LOZANO, D., TRIGUEROS, M. (2007). Mathematics Learning with the use of the balance, a computer programme from Enciclopedia. *Proceedings of the fifth congress of the European Society for Research in Mathematics Education, CERME 5*, Larnaca, Chypre.

MARGOLINAS, C., CANIVENC B., DE REDON, M.-C., RIVIÈRE, O., WOZNIAK, F. (2007). Que nous apprend le travail mathématique hors classe des professeurs pour la formation des maîtres ? *Actes du 31ème colloque Inter-IREM des formateurs et professeurs chargés de la formation des maîtres*, 1-19.

MARGOLINAS, C., WOZNIAK, F. (à paraître) Usage des manuels dans le travail du professeur : l'enseignement des mathématiques à l'école primaire. *Revue des sciences de l'éducation, Numéro spécial: Les manuels scolaires : réformes curriculaires, développement professionnel et apprentissages des élèves*.

MISSION E-ÉDUC (2008). *Pour le développement du numérique à l'école, rapport de la mission e-Éduc*, ministère de l'éducation nationale,

http://media.education.gouv.fr/file/2008/24/5/Pour_le_developpement_du_numerique_a_l_ecole_27245.pdf

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

PELTIER, M.-L., CLAVIER, C., GAUCHE, A.-M. (1996). *Le nouvel objectif calcul CE2*, Hatier, Paris.

PERNIN, J.-P. (2006) Normes et standards pour la conception, la production et l'exploitation des EIAH, in M. Grandbastien, J.-M. Labat (dir.) *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, 201-222, Hermès, Paris.

POISARD, C. (2006). Dossier : la fabrication et l'étude d'instruments à calculer. [Site Internet CultureMath, Rubrique Matériaux pour la classe](#).

RABARDEL, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.

RABARDEL, P., PASTRÉ, P. (dir.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement*. Toulouse : Octarès.

REMILLARD, J.T. (2005). Examining key concepts in research on teachers' use of mathematics curricula. *Review of Educational Research*, 75(2), 211-246.

- REMILLARD, J.T. (à paraître). Modes d'engagement : comprendre les transactions entre professeurs et ressources curriculaires en mathématiques. In Gueudet, G. et Trouche, L. *Le travail documentaire des professeurs : regards croisés, le cas des mathématiques*. Presses Universitaires de Rennes.
- REZAT, S. (to appear) The Utilization of Mathematics textbooks as Instruments for Learning, *Proceedings of CERME 6 Conference*, Lyon, France.
- RUTHVEN, K. (2007). Teachers, technologies and the structures of schooling. In D. Pitta-Pantazi & G. Philippou (dir.), *Proceedings of the fifth congress of the European Society for Research in Mathematics Education*, CERME 5, Larnaca, Chypre, <http://ermeweb.free.fr/CERME5b/>.
- SÉSAMATH (2008), Questions de Sésamath pour un dialogue avec les chercheurs en didactique, *Actes du colloque DIDIREM, Paris* (septembre 2008).
<http://www.didirem.math.jussieu.fr/colloque2008/groupe1-3.htm>.
- TRGALOVA, J., JAHN, A.P., SOURY-LAVERGNE, S. (to appear) Quality process for dynamic geometry resources : the Intergeo project. *Proceedings of CERME 6*, Lyon, France.
- 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.
- VERGNAUD, G. (1996). Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation, in R. Noirfalise, M.-J. Perrin (dir.), *Ecole d'été de didactique des mathématiques* (pp. 174-185). Clermont-Ferrand : IREM, Université Clermont-Ferrand 2.
- VERGNAUD G. éd. (1997). *Le Moniteur de Mathématiques : résolution de problèmes Niveau 2-3 (CM1 - CM2) Cycle 3*, Nathan, Paris.

7 WEBOGRAPHIE

APPROCHE DOCUMENTAIRE

http://educmath.inrp.fr/Educmath/recherche/approche_documentaire

LA MAIN À LA PÂTE

<http://lamap.inrp.fr/>

LOGICIELS DE GÉOMÉTRIE DYNAMIQUE

- *Apprenti Géomètre*

<http://www.crem.be/index.php>

- *Déclic*

<http://emmanuel.ostenne.free.fr/declic/>

LOGICIELS POUR L'APPRENTISSAGE DE LA NUMÉRATION

- *A nous les nombres*

http://abuledu.org/leterrier/a_nous_les_nombres

- *Bonjour Poussins*

<http://bonjour.poussins.free.fr/>

RÉPERTOIRE DE SCÉNARIOS D'UTILISATION DES TICE : PRIMTICE

<http://primtice.education.fr/>

SÉSAMATH ET SITES AFFILIÉS

- Commission Inter-IREM ressources en ligne, le boulier virtuel

http://cii.sesamath.net/lille/exos_boulier/index.php

- *Mathenpoche*

<http://mathenpoche.sesamath.net/>

- *Projet Schène* : calculatrice cassée, générateur de calcul mental, poseur d'opérations

<http://www.sesamath2.sesamath.net/schene/Schene/Accueil.html>

- *Sésamath*

<http://www.sesamath.net/>

- *Sésaprof*

<http://sesaprof.sesamath.net/section-accueil/index.php>

- *Tracenpoche*

<http://tracenpoche.sesamath.net/>