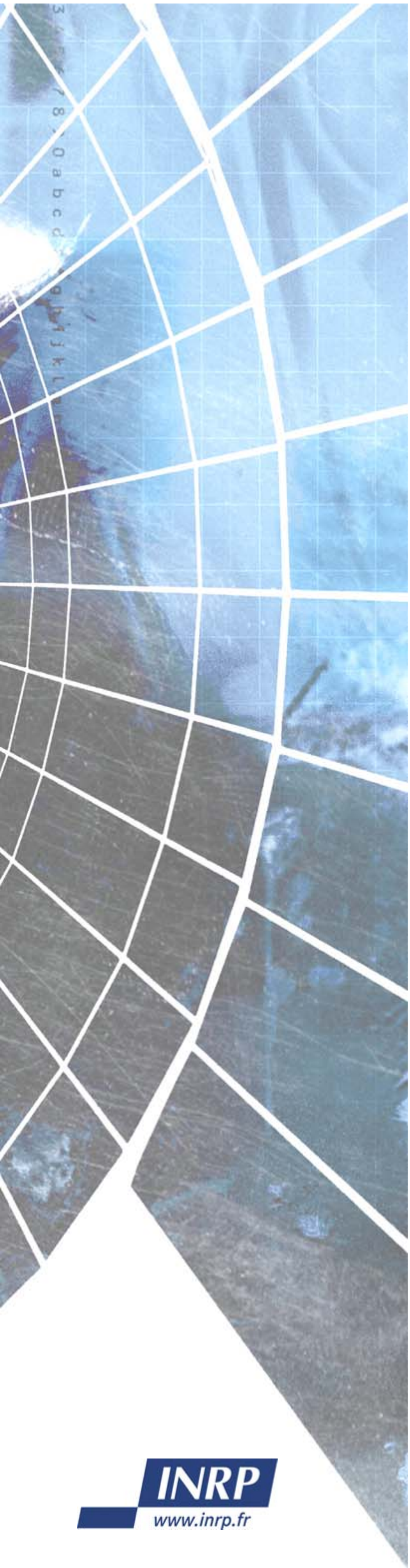

LES DOSSIERS DE LA VEILLE

DÉMARCHE EXPERIMENTALE
ET APPRENTISSAGES MATHÉMATIQUES

AVRIL 2007

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE

CELLULE DE VEILLE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

www.inrp.fr

Les dossiers de la Veille

Les *Dossiers de la Veille* ont pour vocation de présenter un état de l'art de la recherche sur une problématique, choisie et traitée à partir de références bibliographiques françaises et internationales.

Déjà parus

- Encyclopédisme et savoir : du papier au numérique (avril 2006)
- L'édition de référence libre et collaborative : le cas de Wikipedia (mars 2006)
- Pratiques enseignantes (février 2006)
- Standards, compétences de base et socle commun (décembre 2005)
- L'enseignement supérieur sous le regard des chercheurs (février 2005)
- Politiques compensatoires : éducation prioritaire en France et dans le monde anglo-saxon (octobre 2004)
- Éducation à l'environnement et au développement durable (juillet 2004)

Institut national de recherche pédagogique
19, allée de Fontenay – BP 17424
69347 Lyon cedex 07 – France

http://www.inrp.fr/vst
Tél : +33 (0)4 72 76 61 00 – Fax : +33 (0)4 72 76 61 93

Sommaire

Préambule

Ce dossier a été préparé à partir d'une étude réalisée pour l'équipe EducMath de l'INRP <http://educmath.inrp.fr> en 2006, sur la place d'une démarche expérimentale dans les apprentissages mathématiques. Cette étude a été coordonnée par Gérard Kuntz (animateur de l'APMEP et du réseau des IREM) et a bénéficié de contributions de Françoise Carraud (Centre Alain Savary INRP), Thierry Dias (LIRDHIST, université Lyon 1), Viviane Durand-Guerrier (LIRDHIST, université Lyon 1), Françoise Poyet (Veille Scientifique et Technologique, INRP) et Luc Trouche (INRP et LIRDHIST). Le texte original a été adapté et enrichi pour publication dans ce dossier de la Veille par Jana Trgalova (INRP et LIG) et Brigitte Bacconnier (VST).

L'étude est organisée en sept parties :

- Introduction ;
- Historique de la problématique ;
- Pourquoi la question de l'expérimentation se pose-t-elle de façon insistante aujourd'hui ? ;
- Prescriptions institutionnelles, en France et dans le monde ;
- Exemples de mise en œuvre, en France et dans le monde ;
- Débats autour de l'introduction d'une composante expérimentale dans l'enseignement des mathématiques ;
- Que révèle l'analyse des expériences menées sur l'apport de l'expérimentation pour l'enseignement des mathématiques ?

Introduction

Expérimenter en mathématiques, pratiquer la démarche expérimentale, ces expressions ont dans ce document un sens très précis. Il ne s'agit en aucun cas d'une manipulation qui serait en elle-même source de connaissance. L'expérimentation telle que nous l'entendons n'a de sens que par ses articulations avec la formulation (dimension langagière) et la validation (par la preuve). Le va-et-vient entre théorie et expérience est précisément ce qui caractérise la démarche expérimentale. Il n'y a pas d'un côté les aspects expérimentaux et de l'autre côté la preuve, entre lesquels il faudrait choisir.

Le défi pour l'enseignement est de développer des situations d'apprentissage qui permettent les aller-retour entre les deux. Si, comme l'affirme Paul Langevin dans *La pensée et l'action*, « *Le concret, c'est de l'abstrait rendu familier par l'usage* », les objets qui permettent l'expérimentation ne sont pas nécessairement des objets matériels. Ce sont des objets suffisamment familiers pour le sujet, qui servent de domaine d'expérience pour construire des connaissances plus complexes. C'est par exemple le cas des nombres entiers et de leurs propriétés élémentaires pour la théorie des nombres.

Expérimentation, formulation-interprétation et preuve, chacun des trois mouvements de la pensée peut rétroagir sur les deux autres, créant de la sorte un réseau de « boucles de rétroaction » (boucles génératrices dans lesquelles les produits et les effets sont eux-mêmes producteurs et cause de ce qui les produit). Ainsi, l'échec d'une tentative de preuve peut amener à mieux tester la solidité de la conjecture née d'une expérimentation. Il peut conduire à modifier la conjecture, voire l'expérimentation elle-même. Il peut aussi inciter à imaginer d'autres chemins de preuve… De même, l'expérimentation mise en place pour cerner une question mathématique peut déboucher sur des résultats imprévus, surprenants, qui conduisent à des interrogations sur d'autres propriétés et sur de nouveaux domaines, sur de nouvelles conjectures et tentatives de preuve.

Le travail conduit par Guy Brousseau depuis les années soixante-dix relève clairement d'une prise en compte de la dimension expérimentale dans l'enseignement des mathématiques. *La théorie des situations didactiques* (Brousseau, 1998) propose un cadre pour penser et construire les articulations entre expérimentation, formulation et validation. Comme l'écrit Guy Brousseau (p. 111) : « *Toutes les assertions de la théorie sont susceptibles de se voir explicitées et remises en question. La théorie elle-même est un objet d'étude et de construction* ». À cet égard, la situation du puzzle, développée par Guy Brousseau est emblématique. Catherine Houdement et Claudine Robert l'ont présentée au cours de leur intervention *La spécificité de la démarche d'investigation en mathématiques* à Saint-Étienne lors du colloque Mathématiques, sciences expérimentales et d'observation à l'école primaire (2005), organisé par La Main à la Pâte (cf. chapitre 2).

Nous pouvons citer également, dans une autre perspective, les travaux des didacticiens italiens, autour de Paolo Boero à Gènes, sur les domaines d'expériences, dont on trouve une illustration dans les Actes de l'École d'été de didactique de 1999, en particulier la présentation de l'atelier de P. Boero. On peut voir aussi, du même auteur, l'article « Argumentation et démonstration : Une relation complexe, productive et inévitable en mathématiques et dans l'enseignement des mathématiques » (Boero, 1999).

1. Historique de la problématique

L'expérimentation en mathématiques, un thème déjà ancien ?

Les travaux de Guy Brousseau montrent que la réflexion des chercheurs autour du thème de l'expérimentation dans l'enseignement des mathématiques est déjà ancienne. Ce thème a d'ailleurs été présent dans les programmes dès 1957, comme le montre T. Assude dans le chapitre intitulé « Travaux pratiques au collège ? Conditions et contraintes d'émergence et de vie d'un dispositif » de l'ouvrage *Nouveaux dispositifs d'enseignement en mathématiques dans les collèges et les lycées* (2003).

On en trouve des échos bien plus anciens encore dans les dictionnaires pédagogiques (1882) de Ferdinand Buisson rapportés par Denis et Kahn dans *L'école républicaine et la question des savoirs : enquête au cœur du Dictionnaire de pédagogie de Ferdinand Buisson* (2003). Dans cet ouvrage, Assude et Gispert (p. 175-196) comparent le dictionnaire pédagogique de 1887 (deux tomes : DP1 théorique et DP2 pratique) et le nouveau dictionnaire pédagogique (NDP) de 1911.

L'article *Géométrie* du DP2 avance des objectifs d'apprentissage très réduits :

> *« La géométrie* [ne] *se rattache à l'enseignement des écoles primaires* [que] *par le système métrique et la mesure des surfaces et des volumes* […]. *Il suffit alors qu'ils* [les élèves de l'école primaire] *sachent calculer et qu'ils aient dans leur mémoire les règles, les formules qu'ils doivent appliquer. C'est dans l'enseignement primaire supérieur et les écoles normales que "la géométrie doit reprendre tous ses droits", que "toutes les propositions doivent être démontrées rigoureusement et méthodiquement" ».*

Dans le NDP, le titre de l'article devient *Géométrie et dessin géométrique*. On retrouve l'aspect pratique, mais articulé avec une dimension essentielle d'expérimentation, en liaison avec une nouvelle conception de la géométrie :

> *« On oublie beaucoup trop souvent que la géométrie pure est une science à base expérimentale* [...]. *Toute la géométrie repose sur deux notions primordiales indéfinissables : celle d'une figure géométrique invariable et celle du mouvement* [...]. *La possibilité du déplacement des figures invariantes étant la raison d'être même de la géométrie, c'est le déplacement qui doit être naturellement l'instrument fondamental de la démonstration dans cette science ».*

Nous pouvons sans doute voir dans cette évolution la marque des idées pédagogiques nouvelles qui se développent au début du XX^e^ siècle.

Un thème ancien, mais pour qui ?

Mais le moins qu'on puisse dire, c'est que les travaux des chercheurs et les suggestions des programmes sur le thème de l'expérimentation n'ont été pris en compte que très marginalement dans les réflexions et les pratiques des enseignants de terrain, jusqu'à une date récente. Sans parler de l'épisode des « mathématiques modernes », qui a fait l'objet d'une émission d'Archimède, magazine européen de la science sur Arte, sous le titre de *Qui se souvient des maths modernes ?* en novembre 2000, où l'idée même d'expérimenter aurait paru incongrue, l'immense majorité des professeurs de mathématiques, jusqu'à la fin des années quatre-vingts, considérait que la force de leur discipline résidait dans le traitement abstrait d'objets abstraits à l'aide de propriétés et de règles clairement explicitées. Démontrer était au cœur de leurs préoccupations, et se passaient fort bien de l'expérimentation sous toutes ses formes. Ils ne faisaient là que reproduire la façon dont toute leur génération avait été formée à l'université !

La faible perméabilité (indifférence ? ignorance ?) entre les chercheurs, les concepteurs de programmes, les historiens des mathématiques d'une part et les « enseignants de terrain » d'autre part, est préoccupante et dommageable pour la formation scientifique des élèves. Comment mieux faire communiquer ces entités, un beau sujet d'étude et de recherche, essentiel pour faire progresser l'enseignement des mathématiques !

Il a fallu la conjonction de plusieurs phénomènes sociaux et techniques de grande ampleur, simultanés et indépendants, pour que le thème de l'expérimentation émerge sur une large échelle et soit réellement pris en compte (avec de grandes réticences) par les enseignants de mathématiques, confrontés par ailleurs à de profondes modifications des programmes et des méthodes d'enseignement. Les commentaires de ces programmes posent en effet, nous le verrons plus loin, des injonctions fortes auxquelles il est désormais difficile aux enseignants de se soustraire.

2. Pourquoi la question de l'expérimentation se pose-t-elle de façon insistante aujourd'hui ?

En France, l'arrivée en force de ce thème dans les discussions en « salle de professeurs » après 1995 a des racines profondes.

C'est le moment où les enseignants prennent douloureusement conscience de l'épuisement de l'enseignement traditionnel

La massification de l'enseignement secondaire a amené dans les collèges et les lycées des élèves ayant peu de points communs avec la minorité d'élèves pour lesquels les programmes et les méthodes pédagogiques avaient été définies. Le choc a été particulièrement rude dans les zones dites pudiquement « en difficulté », les Zones d'éducation prioritaire (Zep) et les Réseaux d'éducation prioritaire (Rep), où nombre d'élèves affichaient indifférence, voire hostilité a l'égard de ce qui leur était proposé (une carte académique de présentation de ces réseaux a été réalisée par le CNDP). À l'autre bout de l'échelle, à l'entrée dans l'enseignement supérieur, ceux qui avaient traversé sans trop d'encombre le collège et le lycée, commençaient à se détourner des filières scientifiques. Bernard Convert (CLERSE-CNRS, université de Lille 1) et ses collaborateurs ont consacré quatre documents à ce thème : *La chute des inscriptions dans les filières scientifiques des universités : Modalités et mécanismes sociaux explicatifs* (Convert et Gugenheim, 2003), *Étudier les sciences* (Convert, 2005), *Les bachelier(e)s scientifiques et les sciences* (Convert, 2005) et *Les impasses de la démocratisation scolaire. Sur une prétendue crise des vocations scientifiques* (Convert, 2006).

Ce double échec et les difficultés quotidiennes pour maintenir un enseignement scientifique cohérent dans les classes, a entraîné peu à peu des remises en cause. Georges Charpak ramène ainsi en 1995, des banlieues pauvres de Chicago, les idées d'une rénovation de l'enseignement des sciences qu'il expérimente à Vaulx-en-Velin. La Main à la Pâte en est issue. C'est des lieux en crise profonde que naissent souvent les démarches les plus novatrices. Celle-ci va ainsi se répandre dans l'enseignement élémentaire français, voir l'historique de la Main à la Pâte.
L'expérimentation et l'investigation y jouent un rôle primordial. Le document d'accompagnement des programmes de sciences et technologies pour le cycle 3, *Sciences et technologie : cycle des approfondissements (cycle 3)* paru en 2002 et le « vade-mecum », *L'enseignement des sciences à l'école : perspectives historiques et didactiques* de Jean-Michel Bérard l'attestent. Le débat ainsi ouvert dans l'enseignement élémentaire s'étend évidemment au collège et au lycée. La Main à la pâte met en place un dispositif expérimental en 2006 pour tester ses méthodes en collège.

Calculatrices et TICE bousculent les contenus et les méthodes d'enseignement

À la même période, des calculatrices graphiques et symboliques de plus en plus performantes arrivent dans les cartables des élèves. Une minorité d'enseignants comprend le parti qu'ils peuvent en tirer et expérimentent à leur sujet. L'IREM de Montpellier publie sur le sujet dès 1998, citons par exemple la brochure *Expérimenter et prouver* (Trouche, 1998). Mais rares sont ceux qui intègrent ces nouveaux outils dans leur travail. Se développe alors parfois une double démarche : celle du professeur, traditionnelle, des mathématiques de la preuve et celle des élèves, nouvelle et empirique, des mathématiques « techniciennes ». Les élèves les plus habiles introduisent des procédures techniques qui permettent de résoudre des problèmes… en se passant des « mathématiques du professeur ». Dans l'article « De l'influence de l'utilisation d'Internet sur la manière d'appréhender les mathématiques » (2001), Stoll et Kuntz soulignent que cette « expérimentation sauvage » qui sévit jusqu'au baccalauréat a provoqué une crise d'une certaine forme de mathématiques scolaires et a pu rendre suspect l'outil informatique dans l'esprit de nombreux enseignants. L'expérimentation réfléchie à l'aide des outils informatiques a été longue à mettre en place et est loin d'être unanimement reconnue. Mais la leçon est claire : si l'institution scolaire ne prend pas en compte les TICE, les élèves s'en emparent et les mettent en œuvre seuls, avec tous les risques de détournement (ou d'enrichissement ?) que cela comporte. Est-elle entendue ?

Le rapport de recherche sur les *Usages éducatifs des technologies de l'information et de la communication : quelles nouvelles compétences des enseignants ?* (Chaachoua, 2000), élaboré conjointement par l'INRP, l'IUFM et le Laboratoire Leibniz de Grenoble, permet de comprendre la profondeur des bouleversements opérés par les TICE quand elles pénètrent dans les classes. D'où le désarroi et les résistances de nombreux enseignants, desquels on exige de nouvelles compétences sans offrir la formation correspondante. Calculatrices et tableurs ont aussi rendu possible l'importante introduction des statistiques en collège et en lycée. Sans elles, aucune expérimentation sérieuse n'aurait été possible, pour mettre en évidence, par exemple, les fluctuations d'échantillonnages et les concepts de cette discipline, déconcertants pour beaucoup d'enseignants de mathématiques (Mathématiques, classe de 2de : programme, 2001). Mais il convient de rappeler que, dans les années soixante-dix, bien avant l'ère des calculatrices, Guy Brousseau avait réalisé un travail précurseur sur les statistiques à l'école élémentaire, *Situations fondamentales et processus génétiques de la statistique* (Brousseau, 2003). Ce travail a été repris au lycée par Briand et publié dans l'article « Une expérience statistique et une première approche des lois du hasard au lycée par une confrontation avec une machine simple » (2005) et par Chevallard et Wozniak dans *Enseigner la statistique au secondaire : entre genre prochain et différence spécifique* (2005).

L'expression « mathématiques expérimentales » apparaît par ailleurs en « phrase clé » dans plusieurs articles de revues d'enseignants de mathématiques, témoignage d'une évolution certaine : *Les TICE entre discours officiels et réalités de terrain* (Boulle, 2003), *Algorithmique au lycée* (Merle, 2003), *Un pont entre l'homme et la machine* (Novelli, 2002), *Le caractère expérimental de l'activité mathématique* (Chevallard, 1992). Enfin de nombreux cours à l'université se définissent aujourd'hui explicitement comme « Mathématiques expérimentales », mettant en avant le triplet « mathématiques, physique, informatique ». C'est une preuve de l'existence de cette démarche à ce niveau d'enseignement aussi. Citons comme exemple le cours Prémagistère L1 : Mathématiques expérimentales, à l'université Joseph-Fourier de Grenoble, le module libre Sciences de licence intitulé Mathématiques expérimentales à Paris 12 et le cours Simulation informatique et mathématiques expérimentales de master Sciences à Lille 1.

Les mathématiques se rapprochent d'autres disciplines scientifiques

Les Travaux personnels encadrés (TPE), les Itinéraires de découverte (IDD) et les thèmes de convergence avaient pour objectif de pousser les enseignants de différentes disciplines à se découvrir, à confronter leurs approches et leurs méthodes, à essayer d'harmoniser leurs notations et leurs façons de travailler, au service de leurs élèves. Cette petite révolution a bien sûr suscité des difficultés. D'autant que l'usage intensif (intempestif ?) d'Internet par les élèves a posé de très nombreux problèmes. Le travail documentaire sur un sujet scientifique suffit-il ? Quelle est la place de l'effort de compréhension et d'assimilation de ces documents dans ces activités pluridisciplinaires ? Ces questions sont traitées dans l'article « L'enseignement des mathématiques à l'ère des autoroutes de l'information : finalités et contenus » de Kuntz (1999).

Dans ces travaux d'un nouveau type, les enseignants de mathématiques découvrent l'importance et l'intérêt de la démarche expérimentale. Les programmes de terminale S en vigueur (2001) témoignent de ces rapprochements. L'introduction de l'exponentielle par une équation différentielle s'appuie sur la radioactivité traitée en physique (p. 4). Cette introduction est toujours un sujet de débat sévère parmi les enseignants de mathématiques en France. On peut ajouter à ce panorama la question de la modélisation qui a fait une apparition remarquée (et prématurée aux yeux de certains) dans les programmes de lycée. Deux brochures ont été consacrées à ce thème : *Approches de la modélisation au lycée : Quelques activités entre mathématiques et sciences physiques* (Decker *et al.*, 2001) et *Modélisation en probabilités au lycée* (Aldon & Feurly-Reynaud, 1994).

En France, la poussée récente du thème de l'expérimentation résulte ainsi, pour une grande partie, de la forte pression sur l'école de phénomènes techniques, sociaux et intellectuels extérieurs à elle. C'est pourquoi ce thème est aujourd'hui encore accueilli avec réserve et réticence par nombre d'enseignants de mathématiques qui ne reconnaissent plus la discipline structurée et hiérarchisée qu'ils ont apprise à l'université. Certains ont cru distinguer (pour s'en réjouir ou pour le regretter), à travers la valorisation de l'expérimentation, l'arrivée en force dans l'enseignement officiel des « pédagogies parallèles » de Célestin Freinet, de Johann Heinrich Pestalozzi ou de Maria Montessori. Mais il est difficile de reconnaître notre triptyque « observation, explication, preuve » dans les principes préconisés par leurs pédagogies (qui diffèrent d'ailleurs beaucoup entre elles). Ni le « tâtonnement expérimental », ni la simple « observation de la nature », ni « la manipulation de matériel spécifique » ne répondent à la « dialectique de l'expérimentation et de la preuve ». La connaissance naïve est fort éloignée du savoir scientifique, tel que nous l'entendons. Cela n'enlève rien à d'autres aspects positifs (et précurseurs) de ces pédagogies, en particulier ceux qui insistent sur l'implication des élèves dans la construction de leurs savoirs.

En ce qui concerne les rapports entre connaissance naïve et démarche scientifique, il est intéressant de consulter les études réalisées à ce sujet dans le cadre du programme « École et sciences cognitives » (au-delà du cas spécifique des mathématiques), *Des connaissances naïves au savoir scientifique* (2002) sous la responsabilité d'Andrée Tiberghien, CNRS, université Lumière Lyon 2. Plus encore, l'ouvrage *Concevoir et expérimenter* (1936) de Ian Hacking précise clairement les frontières entre diverses approches « intuitives et sensibles » et ce qui est désigné dans ce document par « démarche expérimentale ». En Europe et dans le reste du monde, les mêmes phénomènes se produisent dans les mêmes périodes, certes avec des nuances et conduisent, nous le verrons ci-dessous, à une forte poussée du thème de l'expérimentation dans l'apprentissage des mathématiques. Ce thème n'avait cependant jamais totalement disparu de la scène, en particulier là où les « pédagogies parallèles » évoquées ci-dessus exerçaient une influence importante.

3. Prescriptions institutionnelles

En France

Programmes français

Concernant la position institutionnelle, il y a dans les programmes scolaires français pour les mathématiques, depuis la fin des années 1990, une volonté très nette en faveur d'une approche « expérimentale » :

- Les programmes de l'école primaire, *Mathématiques, cycle des approfondissements*, applicables à la rentrée 2002, sont très clairs et très engagés sur la question. Les documents d'application des programmes du cycle 3 précisent en page 10 (paragraphe : matériel et manipulations…) :

  > *« Le travail mathématique est évidemment un travail de l'esprit. Mais celui-ci, en particulier à l'école élémentaire, s'exerce souvent à partir de questions posées sur des objets ou sur des expériences. Le matériel présent dans la classe doit donc être riche, varié et mis à disposition des élèves : cubes, jetons, bouliers, compteurs, instruments de géométrie et de mesure, jeux, etc. Il faut cependant se convaincre que ce n'est pas la manipulation d'un matériel qui constitue l'activité mathématique, mais les questions qu'elle suggère. Il convient ainsi de bien distinguer les tâches de constat ou d'observation, qui invitent l'élève à lire une réponse sur le matériel, des tâches d'anticipation qui lui demandent d'élaborer, de construire par lui-même une réponse dont il pourra ensuite vérifier la validité en revenant à l'expérience ».*

- Les nouveaux programmes de collège, *Programme de l'enseignement des mathématiques en classe de sixième du collège*, (septembre 2004) mettent en évidence les étapes essentielles de l'activité mathématique : identifier et formuler un problème, conjecturer un résultat en expérimentant sur des exemples, bâtir une argumentation, contrôler les résultats obtenus, mettre en forme une solution (p. 1).

- Les *Programmes de la classe de seconde générale et technologique* de 2001 précise, dès l'introduction, en relation étroite avec l'informatique :

  > *« L'informatique, devenue aujourd'hui absolument incontournable, permet de rechercher et d'observer des lois expérimentales dans deux champs naturels d'application interne des mathématiques : les nombres et les figures du plan et de l'espace. Cette possibilité d'expérimenter, classiquement davantage réservée aux autres disciplines, doit ouvrir largement la dialectique entre l'observation et la démonstration, et, sans doute à terme, changer profondément la nature de l'enseignement. Il est ainsi nécessaire de familiariser le plus tôt possible les élèves avec certains logiciels ; en seconde l'usage de logiciels de géométrie est indispensable. Un des apports majeurs de l'informatique réside aussi dans la puissance de simulation des ordinateurs ; la simulation est ainsi devenue une pratique scientifique majeure : une approche en est proposée dans le chapitre statistique ».*

  Il apparaît clairement que cette préoccupation est désormais omniprésente dans les recommandations officielles. On la retrouve massivement dans le document de l'inspection générale en 2004, *Les technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement des mathématiques au collège et au lycée*.

- Le programme de première S, *Mathématiques, série scientifique, classe de première*, indiquait déjà en 2000 :

  > *« L'expérimentation prend place à presque tous les niveaux de l'activité mathématique,* [...] *elle permet notamment de trouver d'éventuels contre-exemples, de comprendre comment une question se résout dans des cas particuliers et en quoi les arguments valables se généralisent ou non, de faire des conjectures sur des questions voisines »* (Annexe 2).

  Et dans la foulée, indication essentielle :

  > *« La démonstration est constitutive de l'activité mathématique et les élèves doivent en prendre conscience. Faire en sorte que les élèves puissent concevoir des démonstrations dans leur globalité, puis en détailler les différentes étapes, a toujours été et reste un objectif essentiel de tout enseignement des mathématiques en France ».*

Point de vue de la Commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques

La Commission de réflexion pour l'enseignement des mathématiques (CREM), créée par le ministère français de l'Éducation nationale en 1999, n'a pas étudié de façon systématique la place de l'expérimentation dans l'enseignement des mathématiques. Cette notion apparaît néanmoins en filigrane dans son *Rapport d'étape sur l'informatique et l'enseignement des mathématiques* (décembre 2002), où elle propose d'introduire une part d'informatique dans l'enseignement des sciences mathématiques et dans la formation des maîtres. Elle souligne plusieurs aspects qui touchent à l'expérimentation :

- l'ordinateur a permis, par sa puissance de calcul, d'aborder certains objets sous un jour nouveau ;
- le traitement par ordinateur pose de nouvelles questions et permet de revisiter certains domaines ;
- la puissance de calcul des machines permet de nouvelles expériences.

Elle rappelle que Vladimir Arnold parle des mathématiques comme de la partie de la physique où les expériences coûtent le moins cher… Elle suggère que :

> *« les lycées puissent abriter des laboratoires de sciences mathématiques à côté de ceux de sciences physiques. Élèves et professeurs y trouveraient documentation, matériels informatiques, logiciels... Ils pourraient s'y réunir, constituer des ateliers, inviter des conférenciers ou des consultants. Des créneaux horaires spécifiques pourraient être réservés aux professeurs, pour leur formation continue ».*

Notons qu'un colloque organisé par la cité des géométries à Maubeuge (mars 2006) a été consacré au thème Mathématiques : des laboratoires pour le primaire et le secondaire ? Peut-on mieux suggérer que désormais, les mathématiques présentent, comme la physique et grâce à l'informatique, un aspect expérimental ? On retrouve aussi cet aspect dans les nombreux exemples de *l'Annexe* (février 2002) *au Rapport d'étape sur le calcul* (mars 2001) de la CREM. Mais le rapport souligne aussi des contradictions : le *préambule aux nouveaux programmes de seconde* dresse un panorama avec de nombreuses interactions entre géologie, biologie, chimie et physique, et place à côté, avec leur développement propre, les mathématiques, sans lien évident avec les sciences expérimentales.

Aux USA

Point de vue du National Council of Teachers of Mathematics

Selon le National Council of Teachers of Mathematics (NCTM), parmi les « six principes » pour les mathématiques scolaires (Principles and standards for school mathematics, 2000), deux concernent directement notre thème. Les voici :

> « ***Apprentissage***. *Les élèves doivent apprendre les mathématiques en leur donnant du sens, en construisant des connaissances nouvelles activement à partir de l'expérience et des connaissances antérieures.*
>
> *La recherche a mis en évidence le rôle important de la conceptualisation dans l'apprentissage des mathématiques. En reliant la connaissance déclarative et le savoir-faire procédural avec la connaissance conceptuelle, les élèves peuvent devenir de véritables apprenants. Ils seront capables de reconnaître l'importance de réfléchir sur son raisonnement et d'apprendre de ses erreurs. Les élèves acquièrent la compétence et la confiance en leur capacité à aborder un problème difficile et la volonté de persévérer face aux tâches ardues.*
>
> […]
>
> ***Technologie***. *La technologie est essentielle dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques ; elle influence les mathématiques enseignées et favorise l'apprentissage des élèves.*
>
> *Les élèves peuvent approfondir leur compréhension des mathématiques avec un usage approprié de la technologie. La technologie peut favoriser l'exploration chez les élèves dans tous les domaines mathématiques et leur permet de se concentrer sur la prise de décisions, la réflexion, le raisonnement et la résolution de problèmes. L'existence, l'universalité et la puissance de la technologie rendent possible et nécessaire de ré-examiner quelles mathématiques les élèves devraient apprendre, ainsi que quelle est la meilleure façon de les apprendre* » [1].

Un enseignant français qui parcourt ce site n'est nullement dépaysé. Les principes et les recommandations qu'il y trouve sont en effet proches de ceux que le ministère de l'Éducation français promeut depuis plusieurs années.

1. Traduction J. Trgalova.

4. Exemples de mise en œuvre d'une démarche expérimentale dans l'enseignement des mathématiques

Les documents qui sont proposés ici (articles de revue, livres ou sites Internet) ne prétendent évidemment pas à l'exhaustivité. Ils cherchent à rendre perceptible les courants (scientifiques, didactiques et pédagogiques) à l'œuvre dans différentes parties du monde. Ils mettent en évidence des questionnements ou des réalisations significatifs dans le domaine de l'expérimentation en mathématiques.

En France

Des articles de revue

Plusieurs articles de revues destinées aux enseignants de mathématiques relatent des travaux en cours (ou achevés), qui donnent à l'expérimentation (telle que nous l'entendons) une place à part entière. Une place accordée sans réticence (mais non sans débat) car considérée résolument comme étant positive. La revue ci-dessous n'est pas exhaustive.

À l'école élémentaire

- Dans son article « Actions géométriques avec un ensemble de gabarits » (2001), Bettinelli écrit à propos de l'action en géométrie :

  > *« Le raisonnement des enfants se fonde essentiellement sur l'action. C'est d'elle que partent les analyses qui permettent aux enfants de comprendre les liens entre les faits qu'ils observent. Il n'est pas temps pour eux d'exercer leurs capacités mentales dans un formalisme qui sera l'expression normale de leur développement lorsqu'ils seront au lycée. »*

  Le travail sur des gabarits permet aux enfants un long travail de création d'images mentales qui les prépare (c'est ce qu'affirme l'auteur) à une mise en forme future, au collège et au lycée. L'éditorial de cette revue présente ainsi l'article :

  > *« Bernard Bettinelli veut donner une expérience géométrique riche aux enfants de l'école primaire, expérience des situations spatiales et du dessin. Partant du fait que "le raisonnement des enfants se fonde essentiellement sur l'action ; c'est elle qui suscite les analyses qui les amèneront à comprendre les liens entre les faits qu'ils observent", il a imaginé un ensemble instrumental "la moisson des formes" qu'il met dans les mains d'élèves de divers niveaux (CE2, CM1, CM2) pour les immerger dans un "bain de géométrie" afin qu'ils "agissent la géométrie, qu'ils la pratiquent de la même façon qu'un enfant d'un an commence à percevoir, dans les bruits qui l'entourent, un langage progressivement significatif", qu'il va s'approprier petit à petit. Dans l'article "Actions géométriques avec un ensemble de gabarits" il rend compte d'une expérimentation avec ce matériel. J'ai été sensible à la richesse préconceptuelle de l'expérience acquise par les enfants dans une telle pratique. Gageons qu'ils ne seront pas dépaysés au Collège par l'étude des figures simples, ni même par celle des transformations, car ils les auront déjà pratiquées ».*

- Dans l'article « Expérimenter pour apprendre en mathématiques » (2005), Dias et Durand-Guerrier analysent une expérience lors de laquelle des professeurs d'école, en « froid » avec les mathématiques trop précocement formalisées, découvrent leur capacité à conjecturer à propos des solides de Platon, qu'ils cherchent à réaliser matériellement. Peut-être proposeront-ils cette activité riche et subtile à leurs élèves ? Ils favoriseront ainsi l'accès aux connaissances mathématiques du plus grand nombre possible d'apprenants.

- Dans l'article « La dimension expérimentale en mathématique : mythe ou réalité » (2005), Dias se pose la question suivante. : si la dimension expérimentale des mathématiques est bien présente dans les programmes d'enseignement actuels sous la forme d'une préconisation à l'emploi de la démarche scientifique, qu'en est-il de sa mise en œuvre dans la construction et la diffusion des savoirs scientifiques à l'école ? En référence à l'épistémologie de la notion d'expérimentation, l'auteur présente quelques éléments réflexifs didactiques et épistémologiques pour répondre à cette question. Il est aussi fait référence à la notion de *milieu* en tant que moment d'une situation d'enseignement conçue par l'enseignant et avec laquelle les élèves sont mis en interaction. Il est amorcé ainsi une nouvelle caractérisation d'un milieu de type expérimental de certaines situations didactiques.

- L'article « La main, l'outil et le cerveau » (Kuntz, 2004) est consacré au programme La Main à la Pâte présentée dans le chapitre 2.

- L'article « Spirales végétales et suites de Fibonacci, un atelier mathématique pour les enfants » (Autier *et al.*, 2004) présente une activité qui fait apparaître aux enfants les régularités de la nature et l'existence de lois exprimées par les mathématiques. Elle cherche à éveiller leur intérêt pour les mathématiques et les sciences de la nature et à les préparer aux futures étapes de l'apprentissage des sciences. Sans s'en réclamer explicitement, cet article s'inspire de la philosophie de la Main à la Pâte.

- Le n° 427 des *Cahiers Pédagogiques* (novembre 2004, coordonné par Françoise Colsaët), intitulé « Enseigner les maths aujourd'hui », contient plusieurs textes intéressants pour notre sujet, en particulier un entretien entre Jean-Pierre Kahane et Françoise Colsaët, « Est-il bien utile d'enseigner les mathématiques ? », dans lequel Jean-Pierre Kahane parle de « la démonstration qui joue le rôle de l'expérience ». Dans le même numéro on trouve l'article « Les mathématiques à l'école élémentaire, une science expérimentale ? » de Thierry Dias.

- La formation d'adultes non-spécialistes de mathématiques (pour la majorité) et pourtant destinés à les enseigner a amené les formateurs d'enseignants du premier degré, et ce dès les années 1980, à développer une culture de formation, fondée en particulier sur l'expérimentation. Voici trois références :
  - *Autour des stratégies utilisées pour former les maîtres du premier degré en mathématiques* de Houdement et Kuzniak (1996) ;
  - *Aires de surfaces planes* de Houdement et Peltier (2003) ;
  - *Mathématiques, didactique et découpages : la richesse d'un problème* de Catherine Houdement (2005).

Au collège

- Un jeune collègue du Haut-Rhin fait peser des demi-sphères remplies d'eau ! Une activité que la Main à la Pâte ne renierait pas. Avec la remise en cause d'une idée populaire et fausse, la proportionnalité du volume au rayon, et la mise en évidence expérimentale de la proportionnalité du volume au…cube du rayon. Et des activités sur diverses fonctions avec l'aide du tableur, cela fait objet de l'article « Volume d'une sphère » de Lambert (2004).
- La démarche connue sous le nom de *narration de recherche* consiste, pour des élèves résolvant un problème, de relater l'ensemble des tentatives, des tâtonnements, des expérimentations, des errements, en un mot le chemin accompli durant l'effort de résolution, qu'il ait abouti ou non. Cette activité est un complément et une légitimation de la démarche expérimentale dans la résolution de problèmes, en particulier des problèmes ouverts. Voici quelques références concernant cette démarche : *De l'intuition à l'argumentation* (Lombard, 2004), *Une expérience anglo-saxonne* (Segouat, 2004), *Opérations mentales et résolution de problèmes mathématiques – collège* (Monti & Plourdeau, 2003), *Expériences de narration de recherche en mathématiques* (Bérélovitch *et al.*, 2002*), Les narrations de recherche de l'école primaire au lycée* (Bonafé *et al.*, 2002), *Narration de recherche, points d'appui pour la démonstration* (Combes & Bonafé, 2001), *Formation de l'esprit scientifique avec les narrations de recherche au cycle central du collège* (Sauter, 2000), *Narration de recherche : un nouveau type d'exercice scolaire* (Chevalier, 1993), *Narration de recherche* (Chevalier & Sauter, 1992).
- L'IREM de Montpellier expérimente depuis plusieurs années au sujet de la *résolution collaborative de problèmes ouverts* au moyen d'une plate-forme de communication à distance. Plusieurs classes de niveaux différents expérimentent, discutent, échangent à distance, au sujet du même problème, durant un mois environ. Cette expérience montre la force de l'intelligence collective et l'inventivité des élèves stimulés par des échanges nombreux et variés. L'article « Cinq classes au pays de 9 et 11 » (Combes *et al.*, 2004) relate une de ces expériences. Une autre expérience du même type est analysée dans *Résolution collaborative de problèmes ouverts. Un problème babylonien…* (Kuntz, 2005).

Au lycée

- Dans l'article « Une classe bousculée par les nouvelles technologies relate son expérience » (1999), Kuntz analyse l'expérience de Luc Trouche et d'une classe de terminale S de Montpellier, relatée dans la brochure *Expérimenter et prouver : faire des mathématiques au lycée avec des calculatrices symboliques* (Trouche, 1998). L'introduction de calculatrices symboliques et d'une tablette de rétro-projection change la façon de faire des mathématiques. Il faut apprendre à traduire les problèmes pour la machine. Alors, on peut conjecturer à partir des résultats obtenus : les mathématiques prennent une dimension expérimentale. Des élèves en panne se remettent en route, gagnés par l'intérêt des problèmes proposés, par la liberté retrouvée, par le travail en équipe. L'enseignant devient le chef d'un orchestre d'une classe inventive, débordant d'initiatives, qu'il convient d'analyser, de canaliser, de conduire des conjectures reconnues comme solides aux preuves… L'article réfléchit aux possibles adaptations de l'expérience réalisée au système éducatif dans son ensemble.
- Les *travaux personnels encadr*és (TPE) ont amené de nombreux groupes d'élèves à découvrir, entre autres, la dimension expérimentale des mathématiques (en relation avec la physique et les sciences de la vie et de la Terre), le travail en équipe et le traitement d'un problème sur la longue durée. Mais de nombreux enseignants se sont plaints du faible contenu mathématique des TPE. Un thème controversé, auquel la revue *Repères-IREM* a consacré un dossier spécial dans le numéro 52 en juillet 2003.
- Quelques expériences relatées lors de la 3e université d'été Animath La place des mathématiques vivantes dans l'éducation secondaire à Saint-Flour en 2004, entrent dans le cadre de notre document, notamment celle présentée par F. Gaudel dans l'atelier 3 intitulé *Objets mathématiques*.
- Publimath propose par ailleurs un bouquet de trente-six articles (au 15 mars 2007) abordant de près ou de loin le thème de l'expérimentation (recherche par mot-clé « démarche scientifique »).

L'univers de la géométrie dynamique

Les logiciels de géométrie dynamique ont profondément modifié la perception et l'enseignement de la géométrie, en faisant une science quasi-expérimentale. Un certain nombre d'enseignants s'en réjouissent et publient des textes en nombre, articles de revues, mémoires de DEA ou thèses. D'autres se raidissent en constatant que trop d'élèves répugnent à démontrer des propriétés « évidentes à l'écran ». La rigueur est indispensable dans l'usage de ces outils. Mais s'en passer par principe est impensable.

Cabri-géomètre

Le site dédié à ce logiciel introduit dans l'univers de Cabri. Il donne accès aux travaux universitaires et aux ouvrages en relation avec ce logiciel. Il propose de nombreux sites où des expérimentations sont relatées. En les parcourant, nous mesurons l'apport de ce nouveau regard sur les mathématiques, au-delà même de la géométrie. L'article en ligne de Gilles Kuntz « Géométrie dynamique sur le Web » donne un éclairage et la liste de nombreux sites autour de l'animation de figures au moyen de CabriJava.

Les travaux de Roger Cuppens sur Cabri méritent attention. La rencontre d'un géomètre et d'un outil de géométrie conduit à de très belles réalisations ! De sa riche bibliographie, citons les ouvrages *Défense et illustration de la géométrie de Poncelet* (2004), *Découvrir les géométries non euclidiennes en jouant avec Cabri-Géomètre II*, en deux tomes (2004), *Voir avec Cabri II les points cycliques et les droites isotropes* (2000).

Geoplan - Geospace

Geoplan - Geospace est un environnement qui a suscité aussi de nombreux travaux. Un nouveau site dédié est en construction par l'Association pour l'Innovation Didactique (AID CREEM) qui développe ces logiciels. Le site académique d'Aix-Marseille consacre à ces logiciels des pages intéressantes avec de nombreuses ressources pour les enseignants. Le Café pédagogique propose un historique de ces outils à travers une entrevue avec Philippe Sérès, membre de l'AID-CREEM et souligne le chemin parcouru (technique et pédagogique) depuis les versions initiales distribuées dans les établissements scolaires français en 1992.

Autres logiciels

Citons encore, parmi les plus utilisés, Geonext, TracenPoche, Dr Geo et Geogebra. La liste n'est pas limitative.

Au-delà de la géométrie, des mathématiciens comme Jean-Paul Delahaye défendent l'idée que les mathématiques sont une science expérimentale. Son article « Mathématiques expérimentales » (2005) développe cette thèse. L'ordinateur, dont la puissance de calcul engendre des conjectures, est une puissante source d'inspiration. Une bibliographie considérable sur l'usage des TIC dans leur ensemble, établie par la Commission inter-IREM Mathématiques et Informatique, est disponible (bibliographie thématique sélective, établie par Magdalena Fiszer et Dominique Lenne).

Des mathématiques aux marges de la classe

Les mathématiques scolaires sont essentiellement perçues par de nombreux élèves comme élément de réussite ou d'échec scolaire, au même titre d'ailleurs que la plupart des autres disciplines « importantes »… Ils développent alors des stratégies qui permettent de « réussir », sans véritablement porter attention aux contenus ! C'est pour lutter contre ces attitudes que sont nées d'importantes initiatives : ateliers, clubs et compétitions mathématiques se développent en classe, mais surtout à ses marges, pour gommer une évaluation individuelle souvent pesante, pour retrouver le sens et le plaisir de l'activité mathématique. En voici des exemples particulièrement significatifs.

Animath

Cette association anime les Olympiades de mathématiques (françaises - internationales - académiques) et en publie les annales. Elle organise des clubs de mathématiques (liste et coordonnées) qui proposent des thèmes variés, ainsi que des Universités d'été destinées à former les animateurs. Elle propose aussi des Promenades mathématiques qui regroupent un ensemble de conférences de vulgarisation destinées à présenter de façon accessible des idées importantes des mathématiques.

MATh.en.JEANS

Cette association part de la même idée qu'Animath, mais l'accent est mis davantage sur la « recherche mathématique ». Faire de la recherche mathématique, voilà un moyen de découvrir les mathématiques autrement, de l'intérieur. « MATh.en.JEANS », c'est un slogan – des mathématiques décontractées, pour le plaisir – c'est aussi, acronyme aidant, une « Méthode d'Apprentissage des Théories mathématiques en Jumelant des Établissements pour une Approche Nouvelle du Savoir ». MATh.en.JEANS propose dans ses ateliers de découvrir une activité mathématique qui restitue les dimensions principales du travail du mathématicien (liberté, échange, documentation, découverte, recherche, invention, responsabilité, publication) et qui procure à ses auteurs une joie semblable à celle qui anime les mathématiciens dans leur métier. L'association ne s'adresse pas qu'aux « forts en maths ». Pour preuve, cette Chronique d'un atelier MATh.en.JEANS, une année de recherche mathématique en Zep (Zones d'Éducation Prioritaire) par Marie-Claude Guibé et Ludovic Moreau, professeurs de mathématiques, qui relate l'expérience d'un atelier de recherche en mathématiques mené avec une classe de CM2.

Les jeux et énigmes mathématiques

C'est un domaine considérable où l'expérimentation est reine et précède toute formalisation. Les initiatives et les sites sont légion. En voici un choix :

- Animath propose un ensemble d'adresses ;
- Maths-à-modeler propose une valise de supports d'expérimentation ;

- Association québécoise des jeux mathématiques qui vise à promouvoir les mathématiques par l'organisation du Championnat internationale des jeux mathématiques ;
- Comité international des jeux mathématiques, une association créée par des professeurs de mathématiques désireux de proposer une autre réflexion sur leur discipline ;
- Fédération suisse des jeux mathématiques qui fédère le championnat international de jeux mathématiques et logiques ;
- Association du Rallye Mathématique Transalpin de Suisse Romande, qui est une section de l'Association internationale du Rallye Mathématique Transalpin (ARMT) dont le but est de promouvoir la résolution de problèmes pour améliorer l'apprentissage et l'enseignement des mathématiques par une confrontation entre classes ;
- Maths e-formation IUFM Lyon, plate-forme alimentée et maintenue par Thierry Dias, formateur à l'IUFM de Lyon, où on trouve, entre autres, une énigme de l'année et des nombreuses ressources pour les enseignants et les formateurs ;
- Maths Magiques, site personnel de Thérèse Éveilleau ;
- MilleMath, site personnel de J.-L. Bregeon ;
- Mathématiques et formation des professeurs d'école, site personnel de Pierre Eysseric ;
- Le site de Jean-Louis Sigrist, site personnel.

Dans la communauté internationale

À l'échelle mondiale

Le rapport *Education for Teaching Science and Mathematics in the Primary School* (1993) de l'Unesco fait des propositions de contenu pour l'enseignement des mathématiques et la formation des enseignants. En page 55 par exemple, on trouve des propositions qui soulignent l'importance de l'expérimentation et des « activités ».

Dans l'union européenne

- *Finnish knowledge in Mathematics and Science in 2002* est un rapport très intéressant (et volumineux) sur les liens entre mathématiques et sciences, venant d'un pays dont les résultats ont été distingués par l'évaluation PISA 2003. L'approche est constamment transdisciplinaire, ce qui tranche avec d'autres rapports, en particulier en France.
- Le rapport annuel de l'Undergraduate Mathematics Teaching Conference (UMTC) de 1997, produit par la Grande-Bretagne, évalue les innovations pédagogiques :

  > *« The pressure to be inventive and try out innovations is obviously high. But one has to be discerning. It is unwise to introduce an innovation when there is little evidence to suggest that it works, other than the students enjoyed it! Similarly, it is pointless trying to implement an innovation in a context for which it may not be suited. Having a clear strategy for evaluating how good an innovation is, or how appropriate it might be in a given situation, is thus important. »* [2]

- *Engineering Mathematics* (Stroud & Booth, 2001), un ouvrage anglais proposant un cours de mathématiques dont la devise pourrait être « apprentissage actif » (learning by doing).
- L'article « The place of experimental tasks in geometry teaching: learning from the textbook designs of the early 20th century » (Fujita & Jones, 2003) pose un regard éclairé sur l'expérimentation en géométrie :

  > *« The dual nature of geometry, in that it is a theoretical domain and an area of practical experience, presents mathematics teachers with opportunities and dilemmas. Opportunities exist to link theory with the everyday knowledge of pupils but the dilemmas are that learners very often find the dual nature of geometry a chasm that is very difficult to bridge. With research continuing to focus on understanding the nature of this problem, with a view to developing better pedagogical techniques, this paper examines the place of experimental tasks in the process of learning geometry. In particular, the paper provides some results from an analysis of innovative geometry textbooks designed in the early part of the 20th Century, a time when significant efforts were being made to improve the teaching and learning of geometry. The analysis suggests that experimental tasks have a vital role to play and that a potent tool for informing the design of such tasks, so that they build effectively on pupils' geometrical intuition, is the notion of the geometrical eye, a term coined by Charles Godfrey in 1910 as "the power of seeing geometrical properties detach themselves from a figure. »* [3]

---

2. *La pression pour être créatif et essayer des innovations est évidemment grande. Mais il faut être raisonnable. Il n'est pas judicieux d'introduire l'innovation là où le fait que les étudiants l'ont appréciée est la seule évidence pour montrer que cela marche ! De même, il est sans intérêt d'essayer d'implémenter une innovation dans un contexte pour lequel elle peut ne pas être adaptée. Il est donc important d'avoir une stratégie claire pour évaluer dans quelle mesure une innovation est de qualité et adaptée dans une situation donnée.* (Traduction J. Trgalova.)
3. *La nature duale de la géométrie, résidant dans le fait que c'est un domaine théorique et un terrain d'expériences pratiques, offre aux enseignants des mathématiques des possibilités et des dilemmes. Les possibilités sont de lier la théorie avec les connaissances de la vie courante des élèves, mais les dilemmes sont que pour les apprenants, cette nature duale de la géométrie est un gouffre difficile à franchir. Dans la direction des recherches qui continuent à s'intéresser à comprendre la nature de ce problème et dans la perspective du développement de meilleures techniques pédagogiques, cet article étudie la place des activités expérimentales dans le processus d'apprentissage de la géométrie. En particulier, l'article donne quelques résultats d'une analyse des manuels de la géométrie innovateurs écrits au début du* XX*e* *siècle, période où des efforts significatifs ont été faits pour améliorer l'enseignement et l'apprentissage de la géométrie. L'analyse indique que les activités expérimentales jouent un rôle vital et que la*

En Amérique

- Un cours *Experimental Mathematics in Action* (2006) organisé par Jonathan M. Borwein à l'université Dalhousie à San Antonio (Texas) est présenté ainsi sur le site :

  > *« The goal of this course is to present a coherent variety of accessible examples of modern mathematics where intelligent computing plays a significant role and in so doing to highlight some of the key algorithms and to teach some of the key experimental approaches »* [4].

- Un très important bouquet de textes de Douglas Clements de l'université de Buffalo (État de New York) donne une place non négligeable à l'ordinateur et à l'expérimentation (« manipulatives ») en classe de mathématiques. De cette riche bibliographie, citons les articles, co-écrits avec J. Sarama, « The role of technology in early childhood » (2002) et « Young children and technology: What's appropriate? » (2005). La formation des enseignants EST largement évoquée à travers les articles de Sarama et Clements (2002 ; 2004). Tous ces textes sont d'autant plus intéressants et représentatifs de la situation actuelle aux États-Unis que l'auteur est membre du Curriculum Focal Points Writing Group de NCTM.
- Dans l'article « Renaissance de la démonstration dans l'enseignement des mathématiques aux États-Unis ? » (2000), Eric Knuth de l'université du Wisconsin interroge les enseignants des États-Unis sur leurs pratiques et souligne les évolutions depuis 1950.
- L'article « Hands-on engineering : learning by doing in the integrated teaching and learning program » (1999), Carlson et Sullivan présentent une expérimentation de type « Main à la Pâte ».
- Bien que la méthode de George Polya, décrite dans l'ouvrage *How to solve it* (Polya, 1945) et présentée sur le site de l'université de l'Utah, ne se réclame pas explicitement d'une démarche expérimentale, elle s'inscrit dans une démarche du même type. Le Polya Math Center se situe dans le cadre des travaux de Polya. Les recherches en didactique des mathématiques continuent à s'appuyer sur les idées de Polya concernant la résolution de problèmes mathématiques. À titre d'exemple, citons *Propos sur le « problem solving »* de Mohay (1994) et *Didactique de la résolution de problèmes* de Pluvinage (1993).
- L'article « Patterns of instructional discourse that promote the perception of mastery goals in a social constructivist mathematics course » (Morrone *et al.*, 2004) décrit une expérience de « cours de Mathématiques expérimentales » enseigné suivant une approche socio-constructiviste.
- L'Environmental Education and Training Partnership a publié dans sa revue l'article « Making the Experience of Environmental Education Experiential » (Heimlich & Daudi, 1996). Ce texte, bien que sans rapport direct avec les mathématiques, propose une interrogation intéressante à propos de l'expérience dans l'apprentissage :

  > *« An experience is unique for each learner. Each learner will reach to an experience in a unique manner. Any experience can be used as a basis for learning, regardless of outcome. Individual learning preferences can be met in different stages/steps of the cycle. The learner must create a framework for understanding the experience in a way that is relevant to prior experience and knowledge »*[5].

- L'article de Gerardo Silva Chandia, « Information systems and engineering education: learning by doing » (2003) de l'université de Santiago au Chili traite des TICE et de l'enseignement scientifique. Des exemples de simulation sont proposés, avec une importante utilisation d'Autocad. L'un des intérêts de l'article tient au renvoi vers d'autres sites et d'autres enseignements.
- *Experimental mathematics* est une revue dédiée aux aspects expérimentaux de la recherche mathématique. Elle publie des résultats formels inspirés par l'expérimentation, des conjectures suggérées par des expériences, des descriptions d'algorithmes et de logiciels pour l'exploration mathématique, des aperçus des domaines mathématiques du point de vue expérimental et des articles généraux susceptibles d'intéresser la communauté. Voir en particulier les intéressants développements de David Epstein, Silvio Levy et Rafael de la Llave (éditeur en chef de la revue) à propos des « mathématiques expérimentales » dans Statement of Philosophy & Publishing Criteria.
- L'article « The Production Recipes Approach to Modeling Technological Innovation: An Application to Learning by Doing » (Auerswald *et al.*, 2000) propose une autre approche de « l'apprentissage par l'expérience », dans le domaine économique :

  > *« We do two things in this paper. First, we put forward some elements of a microeconomic theory of technological evolution. This involves adding nascent (essentially undiscovered) technologies to the existing technologies of neoclassical production theory, and, more importantly, expanding the notion of the production plan to include the recipe – the complete description of the underlying engineering process. Second, we use the recipes approach in constructing a simple micro-*

---

notion d'œil géométrique, introduite par Charles Godfrey en 1910 pour désigner « la force de voir les propriétés géométriques se détacher de la figure », est un outil puissant pour inspirer la conception de telles activités de manière à ce qu'elles s'appuient sur l'intuition géométrique des élèves. (Traduction J. Trgalova.)

4. *L'objectif de ce cours est de présenter une variété cohérente d'exemples de mathématiques modernes accessibles où l'usage intelligent d'ordinateurs joue un rôle important et, par cela, de mettre en évidence quelques algorithmes clés et d'enseigner quelques approches expérimentales les plus significatives.* (Traduction de J. Trgalova.)
5. *L'expérience est unique pour chaque apprenant. Chaque apprenant parviendra à une expérience en une façon unique. Toute expérience peut constituer une base pour l'apprentissage, sans tenir compte du résultat. Les préférences d'apprentissage individuelles peuvent être satisfaites à différentes étapes/pas du cycle. L'apprenant doit créer un cadre pour la compréhension de l'expérience de manière qui est pertinente par rapport à l'expérience et la connaissance antérieures.* (Traduction de J. Trgalova.)

economic model of shop-floor learning by doing. We simulate the dynamics of the model and report the effects of changes in the basic parameters on the resulting engineering experience curves. For correctly chosen values of these parameters, the predictions of the model match the observed experience »[6].

- L'ouvrage *Science for All Americans* (en ligne) réalisé par American Association for the Advancement of Science mérite une attention soutenue (une traduction en espagnol est disponible). Il donne un panorama de la culture scientifique existante et celle qui, selon les auteurs, serait souhaitable aux États-Unis. Les chapitres 13, « Effective learning and teaching » (Apprentissage et enseignement efficaces) et 14, « Reforming education » (Réformer l'éducation), sont particulièrement importants, eu égard à notre thème. Le chapitre 13 présente les principes de l'apprentissage, dont voici quelques-uns : « L'apprentissage n'est pas nécessairement un résultat de l'enseignement », « Ce que les étudiants apprennent est influencé par ce qu'ils savent déjà », « L'apprentissage progresse d'habitude du concret vers l'abstrait », « On apprend à bien faire seulement ce qu'on pratique en faisant ».
- Le site de l'Educational Resources Information Center du gouvernement américain propose des textes plaidant fortement pour « l'apprentissage expérimental » des mathématiques, en particulier l'article de Hartshorn et Boren : « Experiential Learning of Mathematics: Using Manipulatives » (1990).
- Le Massachusetts Institute of Technology (MIT) propose une démarche spécifique vers les filles autour d'une approche des pratiques expérimentales : Women's Technology Program. Par ailleurs, le MIT promeut une démarche d'enseignement où les pratiques de laboratoire occupent une place importante, y compris en mathématiques. Les principes sont clairement énoncés :

  « All students take part in a full-time academic program including computer science, electrical engineering, and mathematics. Hands-on laboratory projects emphasize learning by doing. Team projects and labs introduce students to collaborative problem solving »[7].
- Le site 21st Century Information Fluency Project de Illinois Mathematics and Science Academy propose une réflexion au sujet de la recherche et de l'évaluation de l'information sur Internet, qui se situe au cœur de la démarche expérimentale, au-delà des seules mathématiques :

  « Digital Information Fluency (DIF) is the ability to find, evaluate and use digital information effectively, efficiently and ethically. DIF involves knowing how digital information is different from print information; having the skills to use specialized tools for finding digital information; and developing the dispositions needed in the digital information environment. As teachers and librarians develop these skills and teach them to students, students will become better equipped to achieve their information needs »[8].
- Le site Midwest Consortium for Mathematics and Science Education du laboratoire North Central Regional Educational Laboratory propose un panorama de l'enseignement des mathématiques. Le constat est inquiétant :

  « National educational standards are being developed in nearly all subject areas. The National Council of Teachers of Mathematics has recently developed standards for mathematics. Their Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics reflects a concern that students in the US are not mathematically literate and often fail to see the relationship between mathematics learned in school and real-life situations »[9].

  Des solutions qui donnent confiance aux élèves et leur fassent aimer les mathématiques y sont explorées…

6. *Nous faisons deux choses dans cet article. Premièrement, nous mettons en évidence quelques éléments de la théorie microéconomique de l'évolution technologique. Ceci inclut l'ajout de technologies naissantes (essentiellement non découvertes) aux technologies de la théorie de la production néoclassique existantes et, ce qui est plus important, l'élargissement de la notion du plan de production pour inclure les prescriptions – description complète du processus de gestion sous-jacent. Deuxièmement, nous utilisons l'approche de prescriptions dans la construction d'un modèle microéconomique simple de l'apprentissage actif (learning by doing) dans un atelier. Nous simulons la dynamique du modèle et reportons les effets des changements des paramètres de base sur les courbes expérimentales correspondantes. Dans le cas où les valeurs de ces paramètres sont correctement choisies, les prédictions du modèle correspondent à l'expérience observée.* (Traduction J. Trgalova.)
7. *Tous les étudiants participent au programme académique à temps plein, comprenant les sciences informatiques, le génie électrique et les mathématiques. Les projets pratiques de laboratoire favorisent l'apprentissage en pratiquant (learning by doing). Les projets de groupes et de laboratoire initient les étudiants à la résolution collaborative de problèmes.* (Traduction J. Trgalova.)
8. *La maîtrise de l'information numérisée (MIN) est la capacité à trouver, évaluer et utiliser l'information numérisée de manière effective, efficace et éthique. MIN comprend la connaissance de la différence entre l'information numérisée et l'information imprimée ; la capacité à utiliser des outils spécifiques pour trouver de l'information numérisée ; et le développement de conditions nécessaires dans un environnement d'information numérisée. Comme les enseignants et les libraires développent ces compétences et les enseignent aux étudiants, les étudiants seront mieux outillés pour satisfaire leurs besoins d'information.* (Traduction J. Trgalova.)
9. *Les programmes nationaux d'enseignement sont développés pour presque toutes les matières. Le conseil national des enseignants des mathématiques a récemment développé le programme pour les mathématiques. Leur document* Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics *constate avec inquiétude que les étudiants aux Etats-Unis n'ont pas de culture mathématique et souvent ne sont pas capables de percevoir la relation entre les mathématiques apprises à l'école et les situations de la vie courante.* (Traduction J. Trgalova.)

5. Débats autour de l'introduction d'une composante expérimentale dans l'enseignement des mathématiques

Questions et mises en garde à propos de l'expérimentation en mathématiques

On le voit ci-dessus, l'introduction d'une dimension expérimentale en mathématiques, recommandée par les programmes d'enseignement est en oeuvre. Cette introduction et les différentes initiatives pédagogiques qui s'y rattachent sont cependant fortement contestées en France par un courant minoritaire, mais très vigoureux, qui dénonce les dérives et les abandons issus, d'après lui, de ces innovations. Rudolf Bkouche en est un porte-parole particulièrement énergique (voir la liste de ses articles). Ses mises en garde méritent attention, malgré leur caractère parfois excessif. Peut-on sans risques, demander à des enseignants de mathématiques formés de manière très théorique, d'intégrer (sans formation complémentaire) une dimension expérimentale consistante à leur enseignement ? Disposons-nous d'analyses comparatives montrant la supériorité de cette approche par rapport aux approches dites plus « classiques » ? L'expérimentation est-elle une bonne réponse au public scolaire « en difficultés graves » et à l'arrivée massive des outils informatiques en classe ? Ses conséquences ont-elles bien été pesées ? L'expérimentation n'a certes de sens en mathématiques que si elle est une étape d'une démarche globale, dont l'examen des conjectures et la preuve de celles qui paraissent vraisemblables, sont des moments déterminants.

« *Le premier effet fécond de l'expérimentation dans la recherche en mathématiques est de fournir un vivier de conjectures* ». Pour Jean-Paul Allouche, mathématicien, l'expérimentation virtuelle est le lot quotidien. Mais il sait que la réfutation ou la preuve des conjectures constituent l'essentiel de son travail. Son article « La recherche expérimentale en mathématiques » est une utile mise en garde contre le « tout expérimental ».

L'article de Claudine Robert et de Jacques Treiner, « Une double émergence » (2004), oblige à prendre de l'altitude face à des expérimentations « naïves ». Il montre la complexité de la notion d'expérimentation et souligne que sa pertinence repose sur une double modélisation préalable, physique et mathématique, en interaction forte. Le premier exemple traité, le calcul du rayon de la terre par la méthode d'Ératosthène, est particulièrement percutant.

La preuve est un moment essentiel de la démarche mathématique. La *Lettre de la Preuve* est une mine de textes venus du monde entier, qui en souligne le caractère central pour que l'enseignement des mathématiques garde son sens et son intérêt. Ceci n'est évidemment en rien contradictoire avec la prise en compte de la dimension expérimentale des mathématiques (qui en est un autre moment important).

L'article de Epstein et Levy, « Experimental mathematics: self-contradiction or lifeblood? » (2001) montre aussi l'articulation entre pensée pure et aspects expérimentaux :

> *« Why should mathematicians need experiments rather than only pure thought? Since after a billion years of evolution, the eye is better at picking out patterns than the brain – after perhaps a million years of evolution – is at symbolic manipulation, drawing pictures of complicated mathematical phenomena or looking at organized data often enables us to pick out essential regularities. Of course, we must know what to look for. This is why experimental mathematics, while based on systematic experimentation, is fuelled by theoretical ideas and is important largely to the extent that it leads to new theoretical ideas. […]*
>
> *In sum, mathematics has always had an experimental component, although until the late twentieth century, experiments were on a smaller scale. Mathematics also depends on proof. Because of proof, we can still read and understand mathematics written by the ancient Greeks; not much experimental science has survived 2500 years. Therefore, we worry that proof often seems to be absent from high school mathematics courses. In the end, only the interplay of experimentation and proof can keep mathematics vital and connected. »* [10]

La démarche expérimentale affaiblit-elle la nécessité de la preuve ?

À vrai dire, ce qui est contesté n'est pas l'intérêt d'une dimension expérimentale pour appréhender les mathématiques. C'est plutôt la façon de l'introduire qui est en cause et tout particulièrement la réduction, dans les cas extrêmes, des mathématiques à une forme « d'activité de constat » : les élèves mettent en évidence (à partir d'un dispositif matériel ou virtuel) une propriété mathématique, et considèrent que le travail est fait ! Ni la formulation, ni la vérification, ni la preuve ne leur paraissent vraiment utiles. Les demander, les exiger, conduit à d'importantes résistances, épuisantes, que

---

10. *Pourquoi les mathématiciens auraient besoin d'expériences plutôt que de pensée pure ? Car après une évolution d'un billion d'années, l'œil arrive mieux à reconnaître des figures que le cerveau – après une évolution d'un million d'années probablement – n'arrive à effectuer des manipulations symboliques, dessiner des images de phénomènes mathématiques complexes, ou regarder des données organisées nous aide souvent à percevoir des régularités essentielles. Évidemment, nous devons savoir ce que nous cherchons. C'est pourquoi les mathématiques expérimentales, lorsqu'elles sont fondées sur des expériences systématiques, sont propulsées par des idées théoriques et sont importantes dans la mesure où elles mènent aux nouvelles idées théoriques.* […] *En résumé, les mathématiques ont toujours eu une composante expérimentale, bien que jusqu'à la fin du* XX*e siècle, les expériences ne se faisaient qu'à petite échelle. Les mathématiques dépendent aussi des preuves. Grâce aux preuves, nous sommes encore capables de lire et de comprendre les mathématiques écrites par les mathématiciens de l'ancienne Grèce ; pas beaucoup de science expérimentale a survécu en 2 500 ans. Par conséquent, nous craignons que la preuve ne paraît souvent absente des cours de mathématiques de l'enseignement secondaire. Après tout, seulement la dialectique entre expérience et preuve peut maintenir les mathématiques vivantes et cohérentes.* (Traduction J. Trgalova.)

les enseignants rencontrent fréquemment. N'obtenant pas une véritable démarche expérimentale (qui suppose la dialectique entre expérimentation et preuve), ils se replient sur un enseignement moins exposé à ces tensions (obtiennent-ils par là de meilleurs résultats ?).

L'affaiblissement de la démarche de preuve au collège et au lycée est incontestable et soulève de légitimes protestations. Le raisonnement des détracteurs de l'expérimentation tient en ceci : la montée en puissance d'une « démarche expérimentale très appauvrie » à l'école coïncide avec la réduction à peau de chagrin (la disparition, disent les plus durs) de la démonstration et de la preuve, sans lesquelles les mathématiques sont une coquille vide.

Mais coïncidence n'est nullement lien de cause à effet. Car la montée de l'un n'implique en rien l'affaiblissement de l'autre, comme le montrent les nombreux exemples du chapitre 4. Un certain nombre de travaux s'appuient au contraire sur l'hypothèse que la prise en compte de la dimension expérimentale en mathématiques permet de motiver la nécessité de la preuve, sous réserve que les enjeux de vérité soient présents. Les travaux de Guy Brousseau, ou ceux sur les problèmes de recherche vont dans ce sens (même si leurs auteurs n'utilisent pas tous le terme de démarche expérimentale).

Rien n'interdit en effet de tenter de démontrer les conjectures que l'expérience (matérielle ou virtuelle) offre, sinon les résistances de plus en plus fortes d'élèves qui ne comprennent plus les enjeux scientifiques de l'école et qui y cherchent la réussite sociale des diplômes, mêmes dévalués. Il faut avouer que de nombreux enseignants, fatigués par les résistances des élèves et des familles face au coût intellectuel et psychologique d'un travail mathématique formateur, ont lâché du lest… D'autant que certains discours de ministres ont été très ambigus à l'égard de cette discipline. Qu'on se souvienne des brûlots de Claude Allègre contre les mathématiques, rendues, pour lui, moins nécessaires par le développement des ordinateurs. Lire à ce sujet l'article « Les maths et la formation des élèves » de Françoise Colsaët (2002).

Accuser la démarche d'investigation de vider les mathématiques de tout contenu, c'est lui attribuer des responsabilités qui incombent bien plus sûrement au corps social et au consumérisme scolaire dans ses diverses manifestations. On pourrait le résumer de façon lapidaire : ce qu'on apprend à l'école n'a aucune importance, pourvu qu'on y réussisse ! Si de plus la réussite peut être confortable, sans trop de « prise de tête » et de complications, c'est tant mieux ! D'où la résistance généralisée aux notions difficiles dans toutes les disciplines, et particulièrement en mathématiques.

L'introduction d'une démarche expérimentale pour réconcilier les élèves avec les études scientifiques ?

La physique, plus que les mathématiques, souffre de la désaffection des étudiants. Toute la démarche de Georges Charpak (voir chapitre 2, p. 6) vise à introduire davantage de démarche expérimentale dans cette discipline et cela dès l'école primaire. Pour lui, la formalisation trop précoce a éloigné nombre d'élèves de la Physique.

T. Dias et V. Durand-Guerrier, dans *Expérimenter pour apprendre en mathématiques* (2005), vont dans le même sens :

> *« Comme on peut le constater lorsqu'on intervient, par exemple, dans la formation initiale ou continue des professeurs d'école, l'enseignement des mathématiques semble contribuer de façon assez irrémédiable à de nombreux "divorces" entre les individus et les objets mathématiques. Nous faisons l'hypothèse que pour une part, ceci est dû au fait que, même à l'école élémentaire, l'enseignement des mathématiques s'appuie sur des méthodes favorisant l'intervention parfois trop rapide d'un formalisme au détriment de la recherche de sens, et ceci bien que depuis quelques années, de nombreuses préconisations institutionnelles prônent la nécessaire évolution des démarches d'enseignement des disciplines scientifiques, y compris en ce qui concerne les mathématiques. Elles ont notamment insisté sur un aspect incontournable dans la construction des connaissances en sciences : le recours à l'expérience. Ceci étant alors surtout destiné à provoquer des changements dans l'enseignement des disciplines scientifiques traitant du domaine de l'empirie et, dans une moindre mesure, les mathématiques ».*

Ainsi, le divorce d'avec les mathématiques n'aurait pas comme origine leur affaiblissement par l'expérimentation, celle-ci étant un des éléments d'une possible réconciliation !

Pour le mathématicien Daniel Duverney, c'est la réduction des horaires des mathématiques dans l'enseignement secondaire qui porte en germe la fuite devant les études scientifiques. Lire à ce sujet son article « Réflexion sur la désaffection pour les études scientifiques » (2003).

Dans un réquisitoire contre les programmes scolaires actuels, *Les savoirs fondamentaux au service de l'avenir scientifique et technique : Comment les réenseigner*, sept académiciens français, dont Laurent Lafforgue, fustigent certaines dérives du système éducatif, du point de vue en particulier d'un relâchement de la rigueur. Raison de plus pour accueillir avec intérêt leur appréciation équilibrée des outils informatiques, et donc de l'expérimentation virtuelle, pourvu qu'elle ne soit pas trop précoce :

> *« Les ordinateurs sont aujourd'hui devenus un objet de la vie courante. Leur usage est extrêmement diversifié, depuis la bureautique de base, les technologies de la communication, jusqu'aux utilisations multimédias et au calcul scientifique. Nous ne voyons pas d'inconvénient à ce que les élèves soient (un peu) familiarisés avec l'usage des ordinateurs au niveau de l'école primaire, comme outils de création de textes et de documents, pour rechercher des informations ou pour résoudre des exercices interactifs soigneusement choisis par le maître, par exemple à des moments de la semaine où l'attention des élèves est difficile à capter par d'autres méthodes. Au niveau du collège et du lycée, l'ordinateur peut servir à présenter ou à modéliser des expériences scientifiques qu'il serait difficile d'observer directement. Dans toutes ces circonstances, l'usage doit en rester très modéré et ne doit pas nuire aux apprentissages fondamentaux ; nous continuons à penser que rien ne saurait remplacer la leçon traditionnelle du maître et les exercices écrits. En revanche, l'informatique est aujourd'hui une véritable branche de la science et de la technologie, et la fin du lycée devrait donner l'occasion aux élèves scientifiques (et pourquoi pas aux autres*

aussi) de découvrir les premiers éléments de l'informatique comme science savante. Nous entendons par là la programmation dans un langage de base comme C, C++, Pascal, Basic..., qui permet de faire un lien très direct avec le formalisme mathématique, le principe de récurrence, la numération binaire, l'algèbre de Boole, etc., sans présenter l'inconvénient d'offrir d'emblée aux élèves des solutions toutes prêtes à l'emploi et qui minimisent le travail de réflexion. Nous sommes beaucoup plus circonspects sur l'utilisation de logiciels avancés de calcul formel, qui, à ce niveau au moins, présentent le risque déjà évoqué de se transformer en prothèses électroniques ».

La démarche expérimentale accompagne-t-elle une sélection sociale occulte ?

La question peut se traduire en ces termes : pendant que les élèves de milieux « défavorisés » s'occupent à des activités manipulatoires « concrètes » mais sans profondeur, et « tuent le temps » devant les ordinateurs, ceux des milieux culturellement favorisés s'exercent à l'abstraction dont la maîtrise leur ouvre largement les portes des grandes écoles. L'introduction d'une expérimentation en mathématiques serait alors une stratégie machiavélique des classes dirigeantes pour assurer l'avenir professionnel et social de leurs enfants !

C'est, une fois encore, confondre la formation scientifique et la réussite scolaire. Est-on sûr que les élites ainsi sélectionnées aient les qualités que requièrent la recherche ou le pilotage des entreprises ? Les grandes écoles appellent d'ailleurs à plus de diversité, intellectuelle et sociale, et à un recrutement plus ouvert. (voir les « conventions d'éducation prioritaire » dans l'article de Gérard Kuntz « À chacun son Everest : Des voies nouvelles et diverses pour chacun, de sommet en sommet » (2005). Le caractère durement sélectif du système français est souvent dénoncé. L'ouvrage *La fabrique des « meilleurs »* (2005) de Patrick Fauconnier en est un bon exemple.

La maîtrise d'une démarche expérimentale de qualité est indispensable, même aux « meilleurs ». Elle ne saurait être réservée à ceux que l'abstraction rebute. Elle est une des portes d'entrée vers l'abstraction. Quant au pseudo débat entre concret et abstrait, Paul Langevin le clôt de façon lapidaire : « *Le concret, c'est de l'abstrait rendu familier par l'usage* » ! (cf. Introduction).

Le débat autour de « l'expérimentation » mérite d'être mené avec sérieux. Une expérimentation naïve et sans profondeur dans les classes peut se révéler à terme désastreuse pour la qualité et la pérennité même de l'enseignement des mathématiques. Répétons-le haut et fort : il est important de ne pas laisser croire que prendre en compte la dimension expérimentale des mathématiques se résume à développer quelques activités de manipulation en classe, en vue d'une quelconque concrétisation des objets d'apprentissage. Le risque est en effet très grand de proposer une recette, un « remède » à la difficulté d'apprendre des plus résistants, dans un message pour le grand public du type suivant : « face à l'incompréhension (traduire par incapacité à conceptualiser) le retour au concret (traduire par le facile, le manipulable) est nécessaire ». Ceci conduirait alors aux dérives connues des activités dites « d'éveil » des années 1970 : « Je fais, donc j'apprends ».

L'expérimentation en sciences (mais aussi en littérature ou au cinéma) ne prend pas racine dans la manipulation des objets du réel, mais dans les moyens que se donne le scientifique (ou l'artiste, ou l'élève) de se frotter à l'incertitude. Si révolution il y a (surtout en mathématiques), elle se situe bien dans la situation où la connaissance se trouve confrontée à ses propres doutes, à ses propres limites et domaines de validité. Ainsi apparaît-il nécessaire d'aller chercher à l'extérieur (hors de soi), la source d'une décision sans cela inaccessible (conformément à l'origine latine du mot *experiri* qui signifie à la fois « essayer » et « éprouver »). On voit ainsi que la recherche provoquée par un dispositif externe à l'individu (mais néanmoins conçu par lui) n'est pas limitée à une manipulation sans intention d'objets sensibles. L'expérimentation est un processus intentionnel s'appuyant sur l'activité de pensée qui n'a rien de « concret » *a priori*. Cette démarche fait ensuite intervenir des objets du monde grâce auxquels des aller-retour entre théorie et expérience sont générateurs de la construction de la connaissance scientifique.

6. Que révèle l'analyse des expériences menées sur l'apport de l'expérimentation pour l'enseignement des mathématiques ?

Nous privilégions ici les expériences qui ont eu une durée suffisante (plus d'un an) et qui ont été véritablement analysées. Elles ne sont pas légion…

La rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire

Même si elle ne concerne pas directement les mathématiques, cette rénovation menée sous l'influence de la Main à la Pâte intéresse notre étude. Malgré leurs indéniables spécificités, les mathématiques ne peuvent en effet pas vivre dans un « splendide isolement ». De plus, la démarche expérimentale est au cœur de la rénovation en cours à l'école. Enfin, un travail très détaillé d'analyse de cette rénovation est à notre disposition et permet d'en comprendre les apports et les limites.

Les rapports des inspecteurs généraux, Jean-Pierre Sarmant *Rapport sur l'opération* La main à la pâte, *l'enseignement des sciences à l'école primaire* (1999) et celui de Christian Loarer *La rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire* (2002) éclairent les expériences en cours et en font une « instruction équilibrée, à charge et à décharge ». Le rapport Sarmant relève des effets positifs induits par la méthodologie caractéristique de « la main à la pâte » sur le comportement social et moral des élèves, sur leurs capacités d'expression, sur la formation de leur esprit logique et sur l'acquisition de connaissances scientifiques. Il souligne aussi des dérives méthodologiques, technologiques et « relativistes », liées à une culture scientifique et à une formation insuffisantes des enseignants. Dans une proportion significative des classes, on constate que l'acquisition de connaissances est un objectif mineur, voire inexistant. Dans certaines zones, on observe une activité exclusivement technologique, le plus souvent réductrice, qui consiste à réaliser un objet, sans autre problématique. Par exemple, au cours d'une séance relative à des mélanges (solide-liquide), le maître a donné des consignes sur la quantité de solide mais pas sur celle de liquide. Utilisant des quantités libres insuffisantes d'eau, les enfants arrivent à la conclusion que « le sel ne se mélange pas avec l'eau ». Celle-ci est enregistrée sans autre commentaire. Un entretien avec le maître indique que ce dernier n'a pas réfléchi à cette difficulté et qu'il n'envisage pas d'expériences ultérieures. Dans d'autres cas, l'enseignant ne voit même pas l'intérêt de la confrontation avec le « savoir constitué ». Des déclarations notées à plusieurs reprises témoignent d'un relativisme résolu, par exemple : « on sait de nos jours qu'il n'y a pas de certitudes scientifiques », « l'opinion des enfants n'est pas moins valable qu'une autre ».

En page 15 du rapport Loarer, on trouve des questions essentielles et des réponses (en pourcentages) un peu inquiétantes, sauf peut-être pour la dernière :

- les élèves ont-ils été confrontés à un problème de départ ? oui dans 25% des cas ;
- les élèves ont-ils observé des êtres vivants ou des objets réels ? oui dans 16 % des cas ;
- les élèves ont-ils expérimenté ou manipulé ? oui dans 19 % des cas ;
- les élèves ont-ils procédé à des recherches documentaires ? oui dans 13 % des cas ;
- les élèves ont-ils formulé des résultats ? oui dans 22 % des cas ;
- les élèves ont-ils échangé et argumenté ? non mesurable ;
- les élèves ont-ils acquis des connaissances ? oui dans 55 % des cas.

En page 33, on peut lire un constat un peu alarmant : les sciences et la technologie sont enseignées dans toutes les classes mais, seuls 15 % des maîtres pratiquent une pédagogie conforme aux spécifications du plan de rénovation, la généralisation est donc loin d'être acquise. Ce constat mérite toutefois d'être nuancé. Les réalisations de qualité sont nombreuses, surtout dans les sites antérieurement engagés dans l'opération La main à la Pâte. À la durée et à la constance, il convient sans doute d'ajouter un effort considérable de formation initiale et continue des professeurs d'école chargés de faire vivre la rénovation. Ce qui suppose un coût important pour la puissance publique et le ministère de l'Éducation.

Une bonne partie des succès et des difficultés relevés dans l'analyse qui précède se retrouve dans l'introduction de l'expérimentation en mathématiques, même si les enseignants du second degré qui n'enseignent qu'une discipline, ont en général une bonne culture dans leur domaine. Mais beaucoup d'entre eux sont démunis quant à l'expérimentation sous toutes ses formes, matérielle ou virtuelle, dans leur discipline. Leur formation universitaire, très théorique et livresque, ne leur est d'aucun secours en la matière… L'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques reste, pour cette raison essentiellement, très limitée et progresse très lentement : on estime à moins de 15% la proportion d'enseignants qui intègrent les TICE dans leurs pratiques professionnelles, comme l'indique en 2003 Dominique Guin dans une conférence, *SFODEM : Un dispositif de Formation à distance pour accompagner les enseignants dans l'intégration des TICE en mathématiques* au colloque ITEM (Intégration des Technologies dans l'Enseignement des Mathématiques).

Signalons aussi les évolutions récentes de la Main à la Pâte vers les mathématiques, affirmées lors du colloque de St Étienne en septembre 2005, intitulé *Mathématiques, Sciences expérimentales et d'observation à l'école primaire*. L'évolution est importante :

> *« Pendant neuf années, l'action de* La main à la pâte *s'est focalisée sur la science, entendue comme la science de la nature, celle des phénomènes, celle des objets fabriqués par la technique. Cette science n'existe pas seule, et le choix fut fait de mettre*

prioritairement en valeur ses liens avec le langage (apprentissage du français) Le rôle du cahier d'expériences, la précision du lexique, la correction de la syntaxe ont ainsi fait pendant à la découverte du monde, au questionnement devant la nature, aux réponses rationnelles progressivement construites. De manière à amorcer une réflexion sur le lien entre la rénovation de l'enseignement des sciences à l'école et les mathématiques ».

Les travaux de l'IREM de Montpellier

Parmi les nombreux travaux que cet IREM a menés sur une ou plusieurs années, voici ceux qui intéressent particulièrement notre thème :

- *Expérimenter et prouver : Faire des Mathématiques au Lycée avec des calculatrices symboliques, 38 variations sur un thème imposé* (Trouche, 1998). Cette brochure relate et analyse l'expérience d'une année scolaire réalisée par Luc Trouche et une classe de Terminale S de Montpellier. Chaque élève a été doté d'une calculatrice TI 92. Une tablette de rétroprojection a permis à l'enseignant ou à un élève de communiquer à la classe l'écran de sa calculatrice. L'enseignement des mathématiques en a été bouleversé. Il est devenu expérimental. L'investissement des élèves a été stimulé, l'enseignant est devenu le chef d'orchestre de la classe. L'expérience peut être une précieuse source d'inspiration. Elle souligne l'impact positif sur les élèves et les difficultés inhérentes à cette façon toute nouvelle de faire des mathématiques. Elle devrait conduire à repenser la manière d'enseigner et d'apprendre les mathématiques.
- *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique* (Guin et Trouche, 2002). Fruit d'une large collaboration internationale, cet ouvrage constate que les calculatrices graphiques ou symboliques (c'est-à-dire pourvues d'un SCF - Système de Calcul Formel), sont de plus en plus fréquemment utilisées par les élèves, mais font rarement l'objet d'une réelle intégration par les enseignants en mathématiques dans le système d'enseignement français, malgré une volonté institutionnelle affirmée dans les programmes scolaires. Entre l'enthousiasme des pionniers et les réticences de certains professeurs, les auteurs tentent de dégager des pistes pour une instrumentation raisonnée des calculatrices symboliques : analysant les expériences récentes, ils montrent la nécessité d'un système d'exploitation didactique des SCF, reposant sur des ingénieries didactiques et des orchestrations instrumentales, organisant le temps et l'espace de l'étude dans les environnements de calculatrices symboliques.
- *Suivi de formation à distance pour les enseignants de Mathématiques (SFoDEM). Bilan de la phase expérimentale* (2000-2003). Un important travail de formation à distance d'enseignants de mathématiques et de création de ressources mathématiques utilisables à une large échelle est présenté. La nécessité de structurer les ressources est soulignée. L'expérience est analysée par Dominique Guin (voir plus haut). Le bilan qu'elle présente (page 13 de la conférence) mérite une attention particulière :

  > *« Parmi les 90 stagiaires de la première année, 33 se sont réinscrits pour la deuxième année (malgré les nombreux dysfonctionnements de la plate-forme pendant cette première année), ce qui manifeste un intérêt certain pour ce type de formation.*
  >
  > *Leurs appréciations sur le dispositif SFoDEM donnent des informations sur quelques aspects essentiels de l'expérience (ressources mises en ligne, intérêt des séances en présentiel, intérêt des outils de communication à distance). Cependant, la valorisation du travail important réalisé par les stagiaires interne au dispositif SFoDEM est certainement insuffisante : comme le soulignent tous les formateurs, une valorisation institutionnelle permettrait sans doute un investissement plus important de la part des stagiaires et un engagement plus ferme dans un travail qui s'inscrit nécessairement dans la durée. De même, les témoignages des formateurs mettent en évidence l'évolution de leur métier. Ils soulignent les difficultés rencontrées pour réguler le dispositif d'évaluation et pour instaurer un travail collaboratif entre des stagiaires qui n'ont aucune expérience dans ce domaine. Les réflexions et discussions de la cellule visant à surmonter ces difficultés se sont appuyées simultanément sur les travaux existant en matière de travail collaboratif (Dillenbourg, 1999)[11] et sur les pratiques de formation développées au sein des thèmes 1 et 5. En effet, les formateurs de ces thèmes ont réussi à instaurer une culture commune et une dynamique de groupe nécessaires au bon fonctionnement de ce dispositif de formation. Enfin, le rôle de "compagnon", c'est-à-dire de partenaire dans un processus d'accompagnement, n'est pas aisé à gérer de la part des formateurs confrontés, eux aussi à une rupture avec les pratiques de formation classique. »*

  Tous ces témoignages donnent une idée de l'intérêt du dispositif pour l'évolution des pratiques professionnelles, elles donnent aussi la mesure des difficultés et du chemin qui reste à parcourir pour la phase opérationnelle. On retrouve dans cette analyse la difficulté de passer d'un enseignement traditionnel à un enseignement intégrant les démarches nouvelles, rencontrée dans l'enseignement primaire. Mais aussi l'idée qu'une rénovation réussie de l'enseignement des mathématiques serait profitable à tous, élèves et enseignants. Des thèmes essentiels sont abordés : l'enrichissement de l'enseignement des mathématiques, les difficultés de cette mutation (pour les élèves et les enseignants), les besoins en formation, la scénarisation nécessaire des activités proposées, l'accompagnement des enseignants tout au long de leur formation et au-delà, la généralisation du travail collaboratif.
- Projet *Résolution collaborative de problèmes*. Que se passe-t-il lorsqu'on soumet le même problème à 20 classes en les invitant à une démarche collaborative au moyen d'une plate-forme virtuelle ? Deux articles analysent cette démarche : « Cinq classes au pays de 9 et 11 » (Combes et al., 2004) et « Résolution collaborative de problèmes ouverts. Un problème babylonien » (Kuntz, 2005).

11 L'article « What do you mean by collaborative learning ? » de Pierre Dillenbourg (note de G. Kuntz).

- *L'option sciences en Seconde*. Cette option très prometteuse est ouverte depuis 2002. Il est encore trop tôt pour en tirer un bilan définitif, qui pourrait conduire à son extension dans toutes les académies. Cette initiative a le soutien plein et entier de l'APMEP et est relayée par le site de l'académie de Montpellier. Le site de l'IREM de Montpellier propose un recueil de quelques travaux réalisés au cours des phases expérimentales des années 2004/2005 et 2005/2006.

Le cas particulier des Réseaux d'éducation prioritaires (Rep)

- Le site Éducation prioritaire du Centre national de documentation pédagogique (CNDP), propose un dossier thématique, *Maths et Zep/Rep*, qui embrasse de vastes domaines de l'enseignement en Zep : réflexions sur les pratiques, des enseignants témoignent, des outils… et une bibliographie détaillée. La nécessité – et la possibilité – d'enrichir les pratiques est ici encore soulignée. L'expérience d'un atelier, *Chronique d'un atelier MATh.en.JEANS, une année de recherche mathématique en Zep* (Guibé et Moreau, 2000) est à cet égard éloquente. Pas de manipulations « basiques », mais une « expérimentation collective » de grande ampleur et de longue durée, adaptée au rythme de ces élèves, pour qu'ils apprennent des « mathématiques formatrices de l'esprit ».
- Le bulletin *XYZep* du Centre Alain Savary a publié en juin 1998 l'article « Les mathématiques en Zep, un moyen de réussir à l'école et par l'école » de Marie-Jeanne Perrin-Glorian. On trouve aussi un dossier complet sur le site Mathématiques en Zep-Rep proposant une bibliographie, des ressources, des articles et des descriptions d'actions et de pratiques éducatives mises en œuvre dans des établissements Zep/Rep.
- Un groupe de travail Zep/Rep, constitué de professeurs et d'enseignants-chercheurs à l'IREM Paris 7, a fait paraître une brochure *Expériences de narration de recherche en mathématiques : Les petites Zep … qui montent … qui montent … et qui démontent* (2002) qui relate des expériences réalisées en Zep.
- Le centre académique Michel Delay de Lyon dans un numéro spécial de la lettre d'échanges Réseaux Delay (n°22, mars 2005), propose en particulier des articles *En maths, d'abord comprendre …* de Roland Charnay, *Faire des maths en Rep* de Janine Raynaud et *Rallyes et défis maths : expérimenter pour apprendre* de Thierry Dias.
- Un livre écrit sous la direction de Marie-Lise Peltier-Barbier, *Dur d'enseigner en Zep* (2004), montre qu'à l'école primaire en Zep/Rep, il existe « *de fortes contradictions entre différentes logiques qui cohabitent dans l'institution elle-même. La logique de l'apprentissage notamment se trouve à différents niveaux en contradiction avec d'autres logiques qui bien souvent l'emportent : celle de la socialisation, celle de la réussite immédiate, celle du projet et des innovations* ». Face aux nombreuses difficultés qui en résultent et que rencontrent les enseignants en Zep et en Rep, la tentation peut être de penser que le concret et l'expérimentation / manipulation peuvent être des voies de recours simples. Sur le site de l'association Observatoire des zones prioritaires (OZP), Marie-Lise Peltier-Barbier met en garde contre de fausses solutions et développe son propos :

  > *« Pourquoi en dépit de l'investissement des enseignants et des mesures compensatoires, cela ne va-t-il pas mieux ? Nos premiers résultats mettent en évidence des injonctions contradictoires auxquelles les professeurs sont confrontés. […]*
  >
  > *Le caractère injonctif des prescriptions pousse les maîtres à proposer des solutions qui ont pour but de faire réussir sur des tâches très ponctuelles : cela rassure tout le monde. Mais ce travail ne contient pas en lui-même ce qu'il faut pour construire des apprentissages. En fin de compte c'est du temps perdu.* […] *Les exercices répétitifs sur des lacunes ponctuelles font que les élèves ne sont jamais confrontés à du nouveau.* […] *Il y a aussi des dérives avec la pédagogie du projet. Les projets ont souvent un aspect inaugural, visible, mais pas forcément centré sur des apprentissages. La dimension de motivation et de socialisation n'est pas négligeable. Mais ce travail, s'il n'est pas converti en apprentissage, introduit de la confusion chez les jeunes face aux attentes de l'école.* […]
  >
  > *En maths, si l'enseignant véhicule une conception utilitaire de cet enseignement, il renforce un rapport à la discipline qui n'est pas souhaitable pour travailler efficacement. En essayant d'accrocher les enfants avec du quotidien, on renforce un rapport identitaire et non distancié. Or, cette distanciation est fondamentale pour la poursuite d'études. […] Quand on donne aux élèves des situations riches, intéressantes, les enfants fonctionnent comme les enfants des autres écoles, ils s'investissent. Cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas de difficultés, mais des handicaps, non. »*

- Dans un numéro des *Cahiers pédagogiques* sur les Zep (n° 445, 2006) intitulé « Où en sont les Zep ? », on trouvera sur le site un article « Comment former à l'enseignement des mathématiques en Zep ? L'accompagnement des nouveaux titulaires » de Denis Butlen, Monique Pezard et Pascale Masselot.
- Le site MathsEnZep propose une variété de ressources pour les professeurs de mathématiques en collège, notamment en Zep. On y trouve des cahiers de référence, des livrets complets de séquences utilisées en classe, des fiches de devoirs, exercices, activités, compétences, etc.

Bibliographie

(1997). « Undergraduate Mathematics Teachning Conference ». En ligne : <http://www.umtc.ac.uk/umtc97/brief.htm> (consulté le 8 mars 2007).

(2004). *Les technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement des mathématiques au collège et au lycée*. Paris : Inspection générale de l'Éducation nationale. <http://eduscol.education.fr/D0015/cadrage_math_et_TICE.pdf>

(2005). « Faire des maths en Rep (numéro spécial) ». *Lettre d'échanges des réseaux d'éducation prioritaire*, vol. 22.

(2005). « Mathématiques, sciences expérimentales et d'observation à l'école primaire : Compte rendu de colloque ». En ligne : <http://lamap.fr/bdd_image/144_CR_Colloque.pdf> (consulté le 13 mars 2007).

(2006). « Où en sont les Zep ? (numéro spécial) ». *Cahiers Pédagogiques*, n° 445.

ALDON Gilles & FEURLY-REYNAUD Josette (1994). *Modélisation en probabilités au lycée (brochure)*. Villeurbanne : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (Irem) de Lyon.

ALLOUCHE Jean-Paul. « La recherche expérimentale en mathématiques ». En ligne : <http://www.lri.fr/%7Eallouche/experimental.html> (consulté le 8 mars 2007).

ASSUDE Teresa & GISPERT Hélène (2003). « Les mathématiques et le recours à la pratique : une finalité ou une démarche d'enseignement ? ». In Denis D. & Kahn P. (dir.). *L'école républicaine et la question des savoirs : Enquête autour du Dictionnaire pédagogique de Ferdinand Buisson*. CNRS Histoire, p. 175-196.

ASSUDE Teresa (2003). « Travaux pratiques au Collège ? Conditions et contraintes d'émergence et de vie d'un dispositif ». In Bridenne Michel (dir.). *Actes des journées sur les "Nouveaux dispositifs d'enseignement en mathématiques dans les collèges et les lycées"*. Dijon : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (Irem) de Dijon, p. 47-63.

AUERSWALD Philip, KAUFFMAN Stuart, LOBO Jose & SHELL Karl (2000). « The production recipes approach to modeling technological innovation : An application to learning by doing ». *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 24, n° 3, p. 389-450. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V85-3Y0JNDG-4/2/7b8ceb9a6867d6d961d7f8bd06a06c6c>

AUTIER Bénédicte, CRON Muriel, MITTELBRONN Anne-Céline *et al.* (2004). « Spirales végétales et suites de Fibonacci, un atelier mathématique pour les enfants ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 455, p. 759-778. <http://irem2.u-strasbg.fr/spip/IMG/pdf/atelier-fibo.pdf>

BALIAN Roger, BISMUT Jean-Michel, CONNES Alain *et al.* (2004). « Les savoirs fondamentaux au service de l'avenir scientifique et technique : Comment les réenseigner ». *Les Cahiers du débat*. En ligne : <http://www.ihes.fr/%7Elafforgue/textes/SavoirsFondamentaux.pdf> (consulté le 9 mars 2007).

BÉRARD Jean-Michel (2000). *L'enseignement des sciences à l'école : Perspectives historique et didactique*. Paris : Inspection générale de l'Éducation nationale. <http://eduscol.education.fr/D0027/EXSREN11.htm>

BÉRÉLOVITCH Marie-Rose, BRIN Philippe & BOURGEOIS Pierre (2002). *Expériences de narration de recherche en mathématiques : Les petites Zep... qui montent... qui montent... et qui démontrent*. Les Éditions du Kangourou.

BETTINELLI Bernard (2001). « Actions géométriques avec un ensemble de gabarits ». *Repères*, n° 43, p. 5-27. <http://www.univ-irem.fr/commissions/reperes/consulter/43bettinelli.pdf>

BETTINELLI Bernard (2002). *La moisson des formes*. Aleas. <http://assoc.orange.fr/une.education.pour.demain/materiels_pedago/mathematiques/descriptifs/moisson.htm>

BOERO Paolo (1999). « Argumentation et démonstration : Une relation complexe, productive et inévitable en mathématiques et dans l'enseignement des mathématiques ». *La lettre de la preuve*, vol. juillet/août.

BONAFÉ Freddy, CHEVALIER Arlette & COMBES Marie-Claire (2002). *Les narrations de recherche de l'école primaire au lycée*. Montpellier : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (IREM) de Montpellier.

BOULANGER Philippe, HENRY Jean-Jacques, LÉVY Pierre *et al.*. 14 novembre 2000. *Qui se souvient des maths modernes ?* (Arte). <http://archives.arte-tv.com/hebdo/archimed/20001114/ftext/sujet5.html>

BOULLE Rémi (2003). « Les TICE entre discours officiels et réalités de terrain ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 447, p. 443-454.

BRIAND Joël (2005). « Une expérience statistique et une première approche des lois du hasard au lycée par une confrontation avec une machine simple ». *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 25, n° 2, p. 247-282.

BRIDENNE Michel (2003). *Nouveaux dispositifs d'enseignement en mathématiques dans les collèges et les lycées (Actes des journées de Dijon, 24-25 mai 2002)*. Dijon : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (Irem) de Dijon.

BRONNER Alain, DIEUMEGARD Gilles, LARGUIER Mirène & LEBLANC Serge (2005). « Analyse de l'activité des formateurs et des stagiaires d'un dispositif d'e-accompagnement en formation PLC2 mathématiques ». En ligne : <http://sif2005.mshparisnord.org/pdf/Bronner.pdf> (consulté le 9 mars 2007).

BROUSSEAU Guy (1998). *La théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée sauvage.

BROUSSEAU Guy (2003). « Situations fondamentales et processus génétiques de la statistique ». In Mercier Alain & Margolinas Claire (dir.). *Balises en didactique des mathématiques : Cours de la 12e École d'été de didactique des mathématiques*. Grenoble : La Pensée sauvage, p. 165-193.

BUISSON Ferdinand (dir.) (1882). *Dictionnaire de pédagogie et d'instruction primaire*. Paris : Hachette.

BUTLEN Denis, PEZARD Monique & MASSELOT Pascale (2006). « Comment former à l'enseignement des mathématiques en Zep ? - L'accompagnement des nouveaux titulaires ». *Cahiers Pédagogiques*, n° 445.

CARLSON Lawrence D. & SULLIVAN Jacquelyn F. (1999). « Hands-on Engineering : Learning by Doing in the Integrated Teaching and Learning program ». *International Journal of Engineering Education*, vol. 15, n° 1, p. 20-31. <http://spot.colorado.edu/~carlsole/Ijee1041.pdf>

CHAACHOUA Hamid (2000). *Usages éducatifs des technologies de l'information et de la communication : Quelles nouvelles compétences des enseignants ? (recherche menée dans le département Technologies de l'information et de la communication de l'INRP)*. Lyon : Institut national de recherche pédagogique (INRP).
<http://www.inrp.fr/Tecne/Savoirplus/Rech40003/pdf/chaachvers_courte.pdf>

CHANDÍA Gerardo Silva (2003). « Information Systems and Engineering Education: learning by doing ». In *International Conference on Information Systems and Engineering*, 5 juin 2003, p. 159-164.
<http://www.scs.org/scsarchive/getDoc.cfm?id=2226>

CHARNAY Roland (2005). « En maths, d'abord comprendre... ». *Réseaux Delay*, n° 22.
<http://pedagogie.lyon.iufm.fr/mathdelay/IMG/pdf/reseauxdelay22.pdf>

CHEVALIER Arlette & SAUTER Mireille (1992). *Narration de recherche*. Montpellier : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (IREM) de Montpellier.

CHEVALIER Arlette (1993). « Narration de recherche : un nouveau type d'exercice scolaire ». *Petit x*, n° 33, p. 71-79.

CHEVALLARD Yves & WOZNIAK Floriane (2005). « Enseigner la statistique au secondaire : Entre genre prochain et différence spécifique ». In Mercier Alain & Margolinas Claire (dir.). *Balises en didactique des mathématiques : Cours de la 12e École d'été de didactique des mathématiques*. Grenoble : La Pensée sauvage, p. 195-218.

CHEVALLARD Yves (1992). « Le caractère expérimental de l'activité mathématique ». *Petit x*, n° 30, p. 5-15.

CLEMENTS Douglas H. & SARAMA Julie (2002). « The Role of Technology in Early Childhood Learning ». *Teaching children mathematics*, n° 8, p. 340-343. <http://www.gse.buffalo.edu/RP/PDFs/Role_of_Technology.pdf>

CLEMENTS Douglas H. & SARAMA Julie (2005). « Young Children and Technology : What's Appropriate? ». In Masalski W. & Elliott P. C. (dir.). *Technology-supported mathematics learning environments: 67th yearbook*. Reston : VA: National Council of Teachers of Mathematics, p. 51-73.

COLSAËT Françoise (2002). « Les maths et la formation des élèves ? ». *Cahiers Pédagogiques*, vol. 405.
<http://www.cahiers-pedagogiques.com/article.php3?id_article=491>

COLSAËT Françoise (2004). « Enseigner les maths aujourd'hui ». *Cahiers Pédagogiques*, n° 427.
<http://www.cahiers-pedagogiques.com/numero.php3?id_article=1131>

COMBES Marie-Claire & BONAFÉ Freddy (2001). « Narration de recherche, points d'appui pour la démonstration ». In Barbin Evelyne (dir.). *Produire et lire des textes de démonstration*. Paris : Ellipses, p. 143-160.

COMBES Marie-Claire, SAUMADE Henri, SAUTER Mireille & THÉRET David (2004). « Cinq classes au pays de 9 et 11 ». *Bulletin de l'APMEP*, vol. 455, p. 829-846.

COMMISSION DE RÉFLEXION SUR L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES (2000). *Rapport d'étape sur l'informatique et l'enseignement des mathématiques*.
<http://smf.emath.fr/Enseignement/CommissionKahane/RapportInfoMath/html/RapportInfoMath.html>

COMMISSION DE RÉFLEXION SUR L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES (2001). *Rapport d'étape sur le calcul*.
<http://smf.emath.fr/Enseignement/CommissionKahane/RapportCalcul/RapportCalcul.pdf>

CONVERT Bernard & GUGENHEIM Francis (2003). « La chute des inscriptions dans les filières scientifiques des universités : Modalités et mécanismes sociaux explicatifs ». En ligne :
<http://www.irem.univ-montp2.fr/popup/Convert.pdf> (consulté le 18 janvier 2007).

CONVERT Bernard (2005). « Étudier les sciences ». En ligne :
<http://www.apmep-aix-mrs.org/institution/load/Etudier_les_sciences.doc> (consulté le 13 mars 2007).

CONVERT Bernard (2005). « Les bachelier(e)s scientifiques et les sciences ». En ligne : <http://www.apmep-aix-mrs.org/institution/load/Bacheliers_scientifiques.doc> (consulté le 13 mars 2007).

CONVERT Bernard (2006). *Les impasses de la démocratisation scolaire : Sur une prétendue crise des vocations scientifiques*. Éditions Raisons d'Agir.

CUPPENS Roger (2000). « Voir avec Cabri II les points cycliques et les droites isotropes ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 428, p. 321-323.

CUPPENS Roger (2004). « Défense et illustration de la géométrie de Poncelet ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 453, p. 582-596.

CUPPENS Roger (2004). *Découvrir les géométries non euclidiennes en jouant avec Cabri-Géomètre II*. Paris : Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public (APMEP).

DECKER Gilles, GUERNION Catherine, JULO Jean *et al.* (2001). *Approches de la modélisation au lycée : Quelques activités entre mathématiques et sciences physiques*. Rennes : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (Irem) de Rennes.

DELAHAYE Jean-Paul (2005). « Mathématiques expérimentales ». *Pour la science*, n° 331, p. 90-95.

DENIS Daniel & KAHN Pierre (2003). *L'école républicaine et la question des savoirs : Enquête au cœur du Dictionnaire de pédagogie de Ferdinand Buisson*. Paris : Centre national de recherche scientifique (CNRS).

DIAS Thierry & DURAND-GUERRIER Viviane (2005). « Expérimenter pour apprendre en mathématiques ». *Repères*, n° 60, p. 61-78.

DIAS Thierry (2004). « Les mathématiques à l'école élémentaire, une science expérimentale ? ». *Cahiers Pédagogiques*, n° 427.<http://educmath.inrp.fr/Educmath/etudes/experimentation-math/dias.pdf>

DIAS Thierry (2005). « Rallyes et défis maths : Expérimenter pour apprendre ». *Réseaux Delay*, n° 22. <http://pedagogie.lyon.iufm.fr/mathdelay/IMG/pdf/reseauxdelay22.pdf>

DIAS Thierry. « La dimension expérimentale en mathématique : Mythe ou réalité ? ». En ligne : <http://www.inrp.fr/ardist2005/ressources/contributions/21.pdf> (consulté le 18 janvier 2007).

DILLENBOURG Pierre (1999). « What do you mean by collaborative leraning? ». In Dillenbourg Pierre (dir.). *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches*. Oxford : Elsevier, p. 1-19. <http://tecfa.unige.ch/tecfa/publicat/dil-papers-2/Dil.7.1.14.pdf>

DUVERNEY Daniel (2003). « Réfléxions sur la désaffection pour les études scientifiques ». *Gazette des Mathématiciens*, n° 96, p. 83-101. <http://smf.emath.fr/Publications/Gazette/2003/96/smf_gazette_96_83-101.pdf>

EPSTEIN David & LEVY Silvio (2001). « Experimental Mathematics : Self-Contradiction or Lifeblood? ». *Mathematics teacher*, vol. 94, n° 8, p. 630.

FAUCONNIER Patrick (2005). *La fabrique des "meilleurs"*. Paris : Seuil.

FUJITA Taro & JONES Keith (2003). « The place of experimental tasks in geometry teaching : Learning from the textbook designs of the early 20th century ». *Research in Mathematics Education*, n° 5, p. 47-62. <http://eprints.soton.ac.uk/11247/>

GAUDEL François (2004). « Objets mathématiques ». *La place des mathématiques vivantes dans l'éducation secondaire, 3e Université d'été Animath*. En ligne : <http://www.animath.fr/UE/UE04/gaudel.pdf> (consulté le 19 janvier 2007).

GUIBÉ Marie-Claude & MOREAU Ludovic (2000). « Chronique d'un atelier MATh. en. JEANS., une année de recherche mathématique en Zep ». En ligne : <http://www.educationprioritaire.education.fr/dossiers/maths/atelier.asp> (consulté le 29 mars 2007).

GUIN Dominique & TROUCHE Luc (dir.) (2002). *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : Un problème didactique*. Grenoble : La Pensée sauvage.

GUIN Dominique (2003). « SFODEM : Un dispositif de formation à distance pour accompagner les enseignants dans l'intégration des TICE en mathématiques ». In *Intégration des technologies dans l'enseignement des mathématiques (ITEM)*, 20-22 juin 2003. <http://www.reims.iufm.fr/recherche/colloques/item/ITEM_GUIN_TXT.PDF>

HACKING Ian (1989). *Concevoir et expérimenter, thèmes introductifs à la philosophie des sciences expérimentales*. Paris : Christian Bourgois Éditeur.

HARLEN Wynne (1993). *Education for teaching science and mathematics in the primary school*. UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0009/000962/096262eo.pdf>

HARTSHORN Robert & BOREN Sue (1990). « Experiential Learning of Mathematics : Using Manipulatives ». *ERIC Digest*. En ligne : <http://www.ericdigests.org/pre-9217/math.htm> (consulté le 8 mars 2007).

HEIMLICH Joe E. & DAUDI Sabiha S. (1996). « Making the Experience of Environmental Education Experiential ». *EETAP*, n° 9. En ligne : <http://eelink.net/eetap/info9.pdf> (consulté le 8 mars 2007).

HOUDEMENT Catherine & KUZNIAK Alain (1996). « Autour des stratégies utilisées pour former les maîtres du premier degré en mathématiques ». *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 16, n° 3, p. 289-322.

HOUDEMENT Catherine & PELTIER Marie-Lise (2003). « Aires de surfaces planes ». In *Carnets de route de la COPIRELEM*. Vol. 2. Association pour l'élaboration et la diffusion de ressources pédagogiques sur l'enseignement des mathématiques à l'école (ARPEME), p. 199-208.

HOUDEMENT Catherine & ROBERT Claudine (2005). « La spécificité de la démarche d'investigation en mathématiques ». En ligne : <http://www.diffusion.ens.fr/index.php?res=conf&idconf=829> (consulté le 9 novembre 2006).

HOUDEMENT Catherine (2005). « Mathématiques, didactique et découpages : la richesse d'un problème ». In *Mathématiques et résolution de problèmes : un point de vue didactique (Actes des journées de formation)*, 13-14 mai 2004, p. 43-52. <http://educmath.inrp.fr/Educmath/etudes/experimentation-math/houdement.pdf>

INSPECTION GÉNÉRALE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2004). « Les technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement des mathématiques au collège et au lycée ». En ligne : <http://eduscol.education.fr/D0015/cadrage_math_et_TICE.pdf> (consulté le 14 mars 2007).

KNUTH Eric (2000). « Renaissance de la démonstration dans l'enseignement des mathématiques aux États-Unis ? ». *La lettre de la preuve*. <http://www.lettredelapreuve.it/Newsletter/000506Theme/000506ThemeFR.html>

KUNTZ Gérard (1999). « L'enseignement des mathématiques à l'ère des autoroutes de l'information : Finalités et contenus ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 421, p. 213-218.

KUNTZ Gérard (1999). « Une classe bousculée par les nouvelles technologies relate son expérience ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 422, p. 308-312.

KUNTZ Gérard (2004). « La main, l'outil et le cerveau ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 453, p. 548-558.

KUNTZ Gérard (2005). « À chacun son Everest : Des voies nouvelles et diverses pour chacun, de sommet en sommet ». *Repères*, n° 60, p. 23-46. <http://smf.emath.fr/Enseignement/TribuneLibre/Kuntz.pdf>

KUNTZ Gérard (2005). « Résolution collaborative de problèmes ouverts. Un problème babylonien ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 456, p. 123-131. <http://www.mission-laique.asso.fr/pedagogie/pdf/math58/AM58_p63.pdf>

KUNTZ Gilles (1998). *Géométrie dynamique sur le Web*. Genève : International Networking (INET). <http://sardes.inrialpes.fr/~kuntz/articles/INET98/index-f.html>

LAMBERT Guillaume (2004). « Volume d'une sphère ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 455, p. 823-828.

LANGEVIN Paul (1964). *La pensée et l'action*. Paris : Éditions sociales.

LOARER Christian (2002). *La La rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire*. <http://www.lamap.fr/bdd_image/108_407_ep-renovscitech.pdf>

LOMBARD Philippe (2004). « De l'intuition à l'argumentation ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 451, p. 242-271.

LUMA SUPPORT GROUP (2002). *Finnish kvowledge in mathematics and science in 2002 : Final report of LUMA programme*. <http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2002/liitteet/103LUMA.pdf?lang=fi>

MERLE Michel (2003). « Algorithmique au lycée ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 445, p. 177-196.

MINISTÈRE DE LA JEUNESSE, DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE (2000). « Mathématiques, série scientifique, classe de première ». *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, vol. HS 7.

MINISTÈRE DE LA JEUNESSE, DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE (2001). « Programme de l'enseignement des mathématiques en classe terminale de la série scientifique ». *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, vol. 4. <ftp://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/bo/2001/hs4/maths2.pdf>

MINISTÈRE DE LA JEUNESSE, DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE (2001). « Programmes scolaires applicables en classe de seconde générale et technologique à la rentrée scolaire 2001 ». *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, vol. 2. <http://www.education.gouv.fr/bo/2001/hs2/seconde1.htm#page31

MINISTÈRE DE LA JEUNESSE, DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE (2001). « Mathématiques, classe de seconde : Programme ». *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, vol. HS 2. <ftp://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/bo/2001/hs2/mathematiques.pdf>

MINISTÈRE DE LA JEUNESSE, DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE (2002). *Sciences et technologie : cycle des approfondissements, cycle 3*. Paris: Centre national de documentation pédagogique. <http://www.cndp.fr/archivage/valid/38287/38287-5690-5493.pdf>

MINISTÈRE DE LA JEUNESSE, DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE (2002). *Mathématiques, cycle des approfondissements, cycle 3*. <http://www.cndp.fr/archivage/valid/37570/37570-6102-5922.pdf>

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE (2004). « Programme de l'enseignement des mathématiques en classe de sixième au collège ». *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, vol. HS 4.

MOHAY Peter (1994). « Propos sur le "problem solving" ». *Repères*, n° 16, p. 71-82.

MONTI Bernard & PLOURDEAU Claudine (2003). *Opérations mentales et résolution de problèmes mathématiques – collège*. Caen : Centre régional de documentation pédagogique (CRDP) de Basse-Normandie.

MORRONE Anastasia, HARKNESS Shelly, D'AMBROSIO Beatriz & CAULFIELD Richard (2004). « Patterns of instructional discourse that promote the perception of mastery goals in a social constructivist mathematics course ». *Educational studies in mathematics*, vol. 56, n° 1, p. 19-38.

NATIONAL COUNCIL OF TEACHERS OF MATHEMATICS (2000). « Principles and standards for school mathematics ». En ligne : <http://www.nctm.org/standards/12752_exec_pssm.pdf> (consulté le 8 mars 2007).

NOVELLI Jean-Christophe (2002). « Un pont entre l'homme et la machine ». *Tangente*, n° 89, p. 32-35.

PELTIER-BARBIER Marie-Lise (2004). *Dur d'enseigner en Rep*. Grenoble : La Pensée sauvage.

PERRIN-GLORIAN Marie-Jeanne (1998). « Les mathématiques en Zep, un moyen de réussir à l'école et par l'école ». *XYZep*, n° 3, p. 3-5.

PLUVINAGE François (1993). « Didactique de la résolution de problèmes ». *Petit x*, n° 32, p. 5-24.

POLYA George (1945). *How to solve it*. Princeton : Princeton University Press.

RAYNAUD Janine (2005). « Faire des maths en Rep ». *Réseaux Delay*, n° 22.
<http://pedagogie.lyon.iufm.fr/mathdelay/IMG/pdf/reseauxdelay22.pdf>

ROBERT Claudine & TREINER Jacques (2004). « Une double émergence ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 453, p. 499-510.

RUTHERFORD James F. & AHLGREN Andrew (1990). *Science for All Americans*. New York : Oxford University Press. <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>

SARAMA Julie & CLEMENTS Douglas H. (2002). « Building blocks for young children's mathematical development ». *Journal of educational computing research*, vol. 27, n° 1 & 2, p. 93-110.
<http://www.gse.buffalo.edu/RP/PDFs/BB_JECR.pdf>

SARAMA Julie & CLEMENTS Douglas H. (2004). « Building blocks for early childhood mathematics ». *Early Childhood Research Quarterly*, n° 19, p. 181-189. <http://www.gse.buffalo.edu/RP/PDFs/BB_ECRQ.pdf>

SARMANT Jean-Pierre (1999). *Rapport sur l'opération La main à la pâte, l'enseignement des sciences à l'école primaire*. <http://www.lamap.fr/?Page_Id=108&Element_Id=409>

SAUTER Mireille (2000). « Formation de l'esprit scientifique avec les narrations de recherche au cycle central du collège ». *Repères*, n° 39, p. 7-20.

SEGOUAT Gaëlle (2004). « Une expérience anglo-saxonne ». *PLOT*, n° 109, p. 23-25.

STOLL André & KUNTZ Gérard (2001). « De l'influence de l'utilisation d'Internet sur la manière d'appréhender les mathématiques ». *Bulletin de l'APMEP*, n° 435, p. 519-525.

STROUD K. A. & BOOTH Dexter J. (2001). *Engineering mathematics*. New York : Palgrave MacMillan.
<http://www.amazon.fr/Engineering-Mathematics-K-Stroud/dp/0333919394>

TIBERGHIEN Andrée (2002). *Des connaissances naïves au savoir scientifique*.
<http://edutice.archives-ouvertes.fr/docs/00/00/17/89/PDF/Tiberghien.pdf>

TROUCHE Luc (1998). *Expérimenter et prouver : Faire des mathématiques au lycée avec des calculatrices symboliques. 38 variations sur un thème imposé*. Montpellier : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (IREM) de Montpellier.

Sitographie

Sites institutionnels français et étrangers

- Site Éducation prioritaire.
- Le site La main à la pâte : enseigner les sciences à l'école maternelle et élémentaire est destiné à aider enseignants, formateurs, scientifiques et institutionnels à mettre en place un enseignement des sciences de qualité à l'école primaire.
- Commission de Réflexion pour l'Enseignement des Mathématiques (CREM), présentée sur le site de la Société Mathématique de France.
- Cité des géométries : Des Connaissances au service du Territoire.
- Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques, IREM de Montpellier. Un IREM est un service de l'université, en relation avec le département des sciences mathématiques, les services rectoraux, l'IUFM, le CRDP et l'Inspection de mathématique. Avec pour missions de mener des recherches sur l'enseignement des mathématiques ; contribuer à la formation initiale et continue des enseignants ; élaborer et diffuser des documents pour enseignants et formateurs ; contribuer à l'expérimentation pédagogique.
- Site académique d'Aix-Marseille.
- Site académique de Montpellier.
- Le Café Pédagogique, toute l'actualité pédagogique sur Internet.
- Maths e-formation, IUFM de Lyon.
- SCEREN, un réseau (CNDP, CRDP, CDDP) dédié à l'édition pédagogique tous supports pour les acteurs et les usagers du système éducatif.
- National Council of Teachers of Mathematics (NCTM).
- North central regional educational laboratory.
- Education Resources Information Center (ERIC), est une bibliothèque digitale en ligne proposant des ouvrages sur la recherche en éducation. Elle est sponsorisée par l'Institut des sciences de l'éducation (Institute of Education Sciences) du Département américain de l'éducation (U.S. Department of Education).
- Le Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- Illinois Mathematics and Science Academy est une institution éducative pionnière, mondialement reconnue, créée par l'État d'Illinois pour préparer les élites en mathématiques, sciences et technologie (niveau lycée).
- Midwest Consortium for Mathematics and Science Education du laboratoire North Central Regional Educational Laboratory est une ressource pour l'enseignement des mathématiques et des sciences qui assure une assistance technique directe auprès des agences éducatives de l'état et des départements scolaires locaux. Ses activités témoignent de l'engagement à promouvoir un apprentissage basé sur le paradigme constructiviste. À toutes les occasions propices, le Consortium plaide pour et encourage l'usage de la technologie appropriée dans l'enseignement.
- Le site Éducation prioritaire du Centre National de la Documentation Pédagogique (CNDP) propose de nombreuses ressources au sujet de réseaux d'éducation prioritaire.
- Le Centre Alain Savary se situe au carrefour des champs scientifique, éducatif et institutionnel. Les interactions entre les questions éducatives et les problématiques de recherche, la rencontre entre chercheurs, praticiens éducatifs et décideurs sont au coeur de son action. Mobilisé sur les enjeux d'égalité des chances, de réduction des inégalités scolaires et de démocratisation de l'accès aux savoirs, il travaille sur les politiques, dispositifs et pratiques contribuant à la réussite éducative des enfants vivant dans des environnements familiaux, territoriaux et scolaires fragilisés par des difficultés sociales et économiques.
- Le Centre Michel Delay, centre académique de ressources pour l'éducation prioritaire.

Revues et manifestations

- Mathématiques, Sciences expérimentales et d'observation à l'école primaire, colloque organisé par la Diffusion des savoirs de l'École Normale Supérieure à Saint-Étienne le 28 septembre 2005.
- Mathématiques : des laboratoires pour le primaire et le secondaire ?, 3e colloque de la Cité des Géométries, Maubeuge, 1-3 mars 2006.
- La place des mathématiques vivantes dans l'éducation secondaire, 3e Université d'été Animath, St Flour (Cantal), 22-27 août 2004.
- Intégration des Technologies dans l'Enseignement des Mathématiques (ITEM), congrès européen qui a eu lieu à Reims les 20, 21 et 22 juin 2003.

- La *Lettre de la Preuve* est une mine de textes venus du monde entier, ainsi qu'une ressource bibliographique proposant des références sur les recherches sur l'apprentissage et l'enseignement de la preuve en mathématiques.
- Le bulletin *XYZep* du Centre Alain Savary est diffusé à tous les responsables et coordonnateurs de l'éducation prioritaire ainsi qu'aux responsables du système éducatif (inspections académiques, rectorats, IUFM) et partenaires du système éducatif.

Sites dédiés aux logiciels éducatifs

- Cabri-géomètre, site dédié à la présentation du logiciel de géométrie dynamique destiné principalement à l'apprentissage des mathématiques en milieu scolaire.
- Geonext, outil de travail pour l'enseignement qui permet aux élèves de travailler de façon responsable, autonome et coopérative, pour une découverte active des notions mathématiques.
- TracenPoche, un logiciel de géométrie dynamique utilisable sur Internet ou en local.
- Dr Geo, un logiciel libre pour l'étude dynamique de la géométrie d'Euclide. Il est particulièrement efficace pour la didactique des mathématiques élémentaires.
- GeoGebra, logiciel dynamique de mathématiques réunissant géométrie, algèbre et calcul développé dans un but éducatif pour le secondaire.

Sites des associations françaises et étrangères

- Association du rallye mathématique transalpin de Suisse romande.
- Association pour l'Innovation Didactique (AID) qui regroupe les membres du Centre de Recherche et d'Expérimentation pour l'Enseignement des Mathématiques (CREEM).
- Animath, association qui cherche à promouvoir l'activité mathématique chez des jeunes, sous toutes ses formes : ateliers, compétitions, clubs...
- MATh.en.JEANS, **M**éthode d'**A**pprentissage des **Th**éories mathématiques **en J**umelant des **É**tablissements pour une **A**pproche **N**ouvelle du **S**avoir. Association qui propose des moyens pour découvrir des mathématiques autrement.
- Association québécoise des jeux mathématiques qui vise à promouvoir les mathématiques par l'organisation du Championnat internationale des jeux mathématiques.
- Le Comité international des jeux mathématiques, une association créée en 1993 par des professeurs de mathématiques désireux de proposer une autre réflexion sur leur discipline en fédérant des compétitions intéressant plusieurs millions de personnes tant en France qu'à l'étranger.
- Fédération suisse des jeux mathématiques qui fédère le championnat international de jeux mathématiques et logiques.
- Association du Rallye Mathématique Transalpin de Suisse Romande, qui est une section de l'Association internationale du Rallye Mathématique Transalpin (ARMT) dont le but est de promouvoir la résolution de problèmes pour améliorer l'apprentissage et l'enseignement des mathématiques par une confrontation entre classes.
- American Association for the Advancement of Science (Association américaine pour l'avancement de la science) est une organisation internationale dédiée à l'avancement de la science dans le monde entier qui joue le rôle de l'éducateur, du leader, du porte-parole et de l'association professionnelle. L'association publie la revue Science, ainsi que de nombreux journaux scientifiques, livres et rapports.
- L'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public (APMEP).
- Association Observatoire des Zones Prioritaires (OZP) a pour objectif de favoriser les échanges et la réflexion sur l'éducation prioritaire (Rar, Zep, Rep) et plus largement sur la lutte contre l'échec scolaire et l'exclusion dans les territoires de la politique de la Ville.

Sites personnels

- Maths e-formation IUFM Lyon, plate-forme alimentée et maintenue par Thierry Dias, formateur à l'IUFM de Lyon, où on trouve des nombreuses ressources pour les enseignants et les formateurs.
- Maths Magiques, site personnel de Thérèse Éveilleau.
- MilleMath, site personnel de J.-L. Bregeon.
- Mathématiques et formation des professeurs d'école, site personnel de Pierre Eysseric.
- Le site de Jean-Louis Sigrist, site personnel.
- Site personnel de Thierry Dias.

- Site personnel de Jean-Paul Delahaye, professeur d'informatique à l'université des sciences et technologie de Lille, et chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale du CNRS de Lille.
- MathsEnZep, site personnel proposant des ressources destinées aux profs de maths en collège, notamment en Zep. On y trouve des cahiers de référence, des livrets complets de séquences utilisées en class, des fiches de devoirs, exercices, activités, compétences, des ressources et articles pour le professeur principal, l'heure de vie de classe, la pédagogie, la Zep...

Sites présentant des projets

- Math à modeler, site de l'ERTé de même nom qui s'intéresse aux situations recherche en Mathématiques Discrètes comme outil de formation et de vulgarisation.
- Suivi de formation à distance pour les enseignants de Mathématiques (SFoDEM), un dispositif de formation destiné aux enseignants de mathématiques du second degré pour leur permettre d'intégrer les TICE dans leurs pratiques professionnelles, mis en place par l'IREM de Montpellier.
- Projet Résolution collaborative de problèmes de l'IREM de Montpellier. Les questions de recherche portent sur la manière dont la résolution de problèmes ouverts favorise la mise en œuvre d'une démarche d'investigation. Une attention particulière est portée à la part de l'expérimental dans cet enseignement des mathématiques et les apprentissages qui s'y réalisent.