

**TABLE RONDE DU COLLOQUE
DE « LA MAIN A LA PÂTE »**

**MATHEMATIQUES, SCIENCES EXPERIMENTALES
ET D'OBSERVATION A L'ECOLE PRIMAIRE**

Le texte qui suit a servi de base à l'intervention de Gérard Kuntz lors de la table ronde¹ du colloque de « la main à la pâte » qui s'est tenue le 28 septembre 2005 à Saint Etienne. Elle avait comme but de réfléchir à la place des mathématiques dans les « sciences expérimentales », à l'école élémentaire.

Imaginer, débattre, expérimenter et prouver.

Simuler à l'aide d'objets virtuels

L'enseignement des mathématiques a beaucoup changé dans les vingt dernières années. Un certain nombre d'interlocuteurs s'exprimant sur le site de Lamap n'en ont pas pris conscience. Parmi les points de rencontre possibles entre Lamap et les maths actuelles figurent les notions **d'observation et d'expérimentation** que l'on trouve énoncées dans le premier principe de Lamap : *I. Les enfants observent un objet ou un phénomène du monde réel, proche et sensible et expérimentent sur lui.* Au Collège et au Lycée, l'expérimentation en mathématiques a fait un retour fracassant par l'intermédiaire des outils informatiques et par la *simulation*. De nombreuses publications font état de ce bouleversement. Voici 3 exemples de ce renouvellement profond en mathématiques.

— Dans une publication emblématique de 1998, « **Expérimenter et prouver. Faire des mathématiques au lycée avec des calculatrices symboliques²** », Luc Trouche relate un travail d'une année avec une classe de Terminale S équipée de calculatrices (une TI-92 pour chaque élève, une TI-92 rétroprojectable pour la classe). Il affirme que dans ce contexte, les mathématiques tournent à la science expérimentale. L'enseignement de la discipline repose — dit-il — *sur une dialectique d'observation, de conjecture, de preuve, de réfutation, sur le balancement essentiel entre l'expérimentation et la preuve.*

Les calculatrices actuelles permettent à l'élève (qui en connaît les potentialités) *d'expérimenter*, de simuler un phénomène et d'en dégager des propriétés, de réaliser des figures et d'y déceler d'éventuels invariants. Il génère ainsi des idées et des propriétés qu'il s'emploie à démontrer par la suite. Les problèmes proposés dans ce cadre sont beaucoup plus brefs et moins directifs que les énoncés habituels. L'outil informatique permet à l'élève de trouver certaines pistes qu'il fallait baliser auparavant.

— Les logiciels de géométrie dynamique insufflent à la discipline une dose importante d'expérimentation : un certain nombre de propriétés sont si visibles à l'écran que l'idée de les démontrer semble étrange à bien des élèves... La littérature autour de Cabri-Géomètre ou Geoplan est considérable et les sites foisonnent.

— Enfin, que serait l'enseignement des statistiques en Seconde sans tableur ? Là aussi brochures et sites ne manquent pas !

¹ La table ronde est intégralement en ligne sur le site de l'Ecole Normale Supérieure à l'adresse <http://www.diffusion.ens.fr/index.php?res=conf&idconf=882>. Format quicktime mp4, haut débit, téléchargement - 177.22 Mo. Une version audio, moins lourde, est aussi disponible sur ce site.

² Repères-Irem n° 34 p.75-78. 1999. Gérard Kuntz

Je devine les réticences de certains d'entre vous face au glissement de sens que j'opère sans crier gare à votre premier principe. Il parle d'*objet ou de phénomène du monde réel, proche et sensible* et il propose d'*expérimenter sur lui*. Ce glissement de sens, cet élargissement à l'expérimentation *sur des objets virtuels* sont bien sûr volontaires ! Les enfants sont habitués à expérimenter sur des objets virtuels par les bornes interactives des expositions et par les jeux vidéo. Si Lamap veut entrer au Collège et au Lycée (ce que je souhaite) il faudra bien réfléchir à cet aspect et sans doute prendre ce virage.

Mais je voudrais vous faire remarquer que vous pratiquez d'ores et déjà des dérogations au premier principe dans une de vos activités emblématiques « *SUR LES PAS D'ERATOSTHÈNE. Mesurer le tour de la Terre est un jeu d'enfant !* ».

L'objet du monde réel sur lequel l'élève est censé expérimenter, la Terre, ne se laisse pas approcher si facilement ! Toute mesure *directe* est ici impossible. Etudier ses propriétés passe par une reconstruction complexe du réel, la création d'un ou de plusieurs modèles physiques (qui sont des constructions abstraites). Il faut de nombreuses connaissances *en amont* pour que l'expérience du gnomon prenne sens. Et des connaissances mathématiques *en aval*, sans lesquelles l'expérience n'aboutit à aucun résultat chiffré. Nous sommes très loin d'une application naïve du premier principe ! La Terre, objet de l'expérience, est largement virtuelle...

La main, l'outil et le cerveau.

Mais l'**expérimentation directe** ne perd pas son intérêt pour autant. Des enseignants de mathématiques ont conscience de son importance. Deux exemples illustrent le travail conjoint de la main et de l'esprit au moyen d'outils matériels.

— Dans un article de la revue Repères-Irem de juillet 2005³, Viviane Durand-Guerrier et Thierry Dias décrivent une situation d'apprentissage en géométrie des solides faisant une large place à la démarche expérimentale. Elle a été réalisée lors d'une session de formation continue de douze enseignants, en vue d'une mise en œuvre au cycle 3. Voici l'intitulé de la séance : *la résolution de problème en géométrie des solides, une EXPERIENCE mathématique manipulative et réflexive*.

Il s'agit pour les stagiaires de déterminer tous les polyèdres réguliers (solides de Platon). Les participants disposent du matériel permettant de faire et défaire facilement des solides : polygones en plastique avec procédés d'articulation type *Polydron* ou *Clix* que l'on trouve assez souvent dans les écoles maternelles, ainsi que règles, compas, ciseaux, équerre, etc.

Cette approche résulte d'une prise de conscience. Les auteurs expliquent : « 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 mathématiques. Elles ont notamment insisté sur un aspect incontournable dans la construction des connaissances en sciences (et en mathématiques) : *le recours à l'expérience*.

— Dans le n° 43 de la même revue, Bernard Bettinelli (Irem de Besançon) propose des « Actions géométriques avec un ensemble de gabarits⁴ ». L'éditorial présente sa démarche : « 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

³ Expérimenter pour apprendre des mathématiques. Repères-Irem n°60 pages 61-78

⁴ Repères-Irem n° 43 pages 5-27

les analyses qui les amèneront à comprendre les liens entre les faits qu'ils observent », il a imaginé un ensemble instrumental « la moisson des formes⁵ » 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 pré-conceptuelle 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 ». Il y a certainement des liens fructueux à établir entre Lamap et la Moisson des formes !

Avec ces deux approches, nous rencontrons la **seconde piste** que Pierre Léna désignait dans son texte préparatoire à notre rencontre : *Comment les dix principes de La main à la pâte pourraient-ils, sans impérialisme aucun, s'appliquer ou se décliner à ce propos ? Les incursions dans l'histoire des sciences et leurs modalités expérimentées avec succès, pourraient-elles se transposer efficacement ?*

Les aspects expérimental et manipulatoire apparaissent à l'évidence dans les deux articles. L'autonomie des élèves n'est pas, dans ce contexte, un vain mot. Le débat, la conjecture, la réfutation donnent vie et sens aux activités décrites. *L'histoire des mathématiques* est clairement interrogée lors de la construction des solides de Platon. *L'histoire de l'enseignement des mathématiques* est invoquée. Et la part de la didactique n'est pas négligeable.

On pourrait multiplier les exemples. Je pense au sympathique travail sur le volume d'une sphère paru dans le bulletin de l'APMEP⁶. Je gage que dans les brochures de la Copirelem, de nombreuses situations seraient *adaptables à l'esprit de Lamap*. Il faudrait aussi parcourir les sites personnels où des collègues créatifs affichent, souvent dans une grande confidentialité, des expériences intéressantes. Enfin, l'énorme domaine des statistiques et le site annoncé à ce sujet par Claudine Robert multiplieront les possibilités d'expérimentation et de simulation⁷.

Inventaire et groupes de travail.

Il me semble urgent, avant de réinventer le monde, de faire *un sérieux travail d'inventaire*. Ensuite, il faudrait créer des groupes de travail qui adapteraient les activités reconnues pour leur richesse et leur caractère formateur à l'esprit de Lamap. La documentation de ces activités, la mise en perspective historique, épistémologique et didactique rendraient un grand service aux formateurs et aux professeurs d'école utilisateurs de ces activités.

Il me semble aussi envisageable de créer des groupes de travail réunissant des professeurs d'écoles familiers des méthodes de Lamap et des enseignants de mathématiques *de tous niveaux* pour imaginer *de nouvelles situations propres à faciliter l'apprentissage des mathématiques à l'école élémentaire*. Les IREM pourraient jouer un rôle moteur dans la création de ces groupes⁸. Un groupe de ce type a imaginé à l'IREM de Strasbourg des activités passionnantes et les a expérimentées dans les écoles de la région. Un aspect de ce travail a paru dans le bulletin de l'APMEP⁹ sous le titre « Spirales végétales et suites de Fibonacci. Un atelier mathématique pour les enfants. ». D'autres activités dues à la même équipe paraîtront prochainement sous forme de brochure.

Une double émergence.

Venons en la troisième piste lancée par Pierre Léna : « *Un troisième aspect se préoccupe d'une juste articulation entre expérimentation, mesure et outils mathématiques. Des modules tels « Eratosthède*

5 <http://assoc.wanadoo.fr/une.education.pour.demain/mathematiques/moissonb.htm>

6 Bulletin de l'APMEP n° 455, p. 823-828.

7 Cette première piste lancée par Pierre Léna a été excellemment traitée par Claudine Robert.

8 Pourvu que les professeurs d'écoles puissent obtenir des autorisations administratives pour participer à ces rencontres.

9 Bulletin de l'APMEP n° 455, p. 759-778.

ne » ou « *Quelle heure est-il sur terre ?* » rencontrent cette question. Il n'est pas certain que nous l'ayons traitée jusqu'ici de façon tout à fait satisfaisante. »

Il me semble que ce qui manque essentiellement à ces activités telles que je les trouve sur le site concerne la mise en évidence *des principaux moments* de la démarche et *l'articulation de ces moments entre eux*. Précisons ces points sur l'exemple d'Eratosthène. Voici les recommandations données (sur le site) aux enseignants :

Quelques expérimentations bien choisies — si elles sont pratiquées dans l'esprit La main à la pâte —, suffiront pour initier vos élèves à une authentique démarche de « chercheur », alors que de multiples activités superficielles ne pourront remplir ce rôle.

Des raccourcis sont donc possibles mais votre parcours « minimal » devra être jalonné des cinq étapes suivantes :

1. *Mettre en évidence conjointement la courbure de la surface terrestre et le parallélisme des rayons solaires.*
2. *Observer l'évolution de l'ombre d'un bâton et en déduire la trajectoire du Soleil.*
3. *Découvrir le moment du midi solaire (c'est le moment où l'ombre est la plus courte).*
4. *Utiliser un gnomon pour en déduire l'angle des rayons solaires avec la verticale.*
5. *Utiliser les relevés d'un correspondant et localiser les deux partenaires sur la Terre pour évaluer la longueur du méridien terrestre.*

M'inspirant d'un article lumineux¹⁰ de Claudine Robert et Jacques Treiner, je proposerais un autre « parcours minimal », généralisable à toute démarche scientifique et qui en précise les grandes étapes, ainsi que leur articulation :

1. *L'observation simultanée des ombres d'un gnomon en des lieux différents suffisamment éloignés.*
2. *La mise au point d'un ou de plusieurs modèles physiques permettant d'interpréter les différences mises en évidence.*
3. *L'émergence de concepts mathématiques issus de chacun des modèles physiques proposés. On passe d'une sphère représentant la terre à un de ses grands cercles dont le plan contient les deux gnomons. Dans ce plan, on utilise les propriétés des « triangles semblables ». C'est le modèle mathématique de la situation.*
4. *L'émergence d'aspects nouveaux et inconnus de la « réalité » comme produit de la modélisation mathématique d'une situation physique donnée. Ici tout simplement une évaluation du rayon de la terre (ou de la distance terre-soleil) !*
5. *La discussion de la validité de chaque modèle physique à la lumière des résultats obtenus et d'éventuelles autres connaissances.*

Les auteurs de l'article concluent : « La morale de cette petite histoire est claire : une observation ne parle pas d'elle-même. Lui donner du sens passe par une reconstruction du réel par la pensée, ici, un schéma, et cette reconstruction requiert à la fois un modèle physique et un modèle mathématique. »

Il faudrait bien entendu commenter ces étapes, leur donner « chair et vie » pour que les utilisateurs les comprennent et les fassent leurs, dans le quotidien des classes. La démarche que je propose interroge le premier principe de Lamap : ne faudrait-il en montrer la complexité et relativiser l'affirmation du rôle tout-puissant de l'observation et de l'expérimentation ? Toutes les situations ne sont pas scientifiquement intéressantes. Très souvent, l'expérimentation suppose un modèle préexistant. Parfois même, l'expérimentation consiste essentiellement à valider ou à invalider un modèle physique préexistant.

Il faudrait aussi revenir de quelques naïvetés relevées sur le site à propos de *l'initiative des élèves*¹¹. Un rééquilibrage entre le premier et le troisième principe (où l'adulte apparaît...) me semble néces-

10 Une double émergence. Bulletin de l'APMEP n° 453. p. 499-510.

11 Voir « La main, l'outil et le cerveau ». Bulletin de l'APMEP n° 453. p. 548-558. Voir surtout les pages 552 et 553.

saire si on ne veut pas tomber dans la démagogie. Leur place relative répond à une volonté de valorisation de l'initiative des élèves que je partage. Mais si on s'en tenait à la lettre du premier principe des activités comme le calcul du rayon terrestre ou l'étude d'un arc-en-ciel seraient hors d'atteinte dans l'immense majorité des classes. Repérer les situations scientifiquement intéressantes et les outils physiques, biologiques et mathématiques indispensables pour les traiter relève de la responsabilité du maître. C'est l'heureux mariage entre l'initiative des élèves et la culture (si possible solide mais non écrasante) du maître qui assure le succès de la démarche de Lamap !

Conclusion

Assurer une meilleure compréhension de la place des mathématiques dans le champ scientifique est un moyen de renforcer la solidité de la démarche de Lamap et d'en élargir le champ. C'est aussi la possibilité pour l'esprit de Lamap d'entrer au Collège et au Lycée : l'application des dix principes serait sans doute un utile remède à l'ennui et à la démobilité qui gangrènent l'enseignement à ces niveaux. Au moins faudrait-il essayer. La démarche « en tache d'huile » de Lamap est-elle conciliable avec celle des programmes ? Avant de répondre par la négative, il serait bon de tenter l'aventure ! Une participation de certains enseignants de mathématiques à cette réflexion et à l'élaboration d'activités dans l'esprit de Lamap me paraît indispensable. La Copirelem, les IREM et l'APMEP pourraient prendre leur part à ce chantier. Le bénéfice en retour pour les mathématiques en tant que discipline d'enseignement en serait sans doute considérable : une plus grande participation des élèves à leur formation conduirait à une meilleure compréhension de leur part, à moins d'ennui et à une certaine « réussite » mobilisatrice. L'étude de problèmes interdisciplinaires permettrait de retrouver le sens de l'activité scientifique et de comprendre l'importance de l'expression et de la communication.. Eratosthène ne déparerait pas le Collège où l'on pourrait lui donner d'utiles prolongements allant jusqu'au lycée : la détermination des distances dans le système solaire et dans l'univers, de la parallaxe à l'effet Doppler-Fizeau, voilà de quoi faire dresser l'oreille aux plus blasés !

La rencontre d'aujourd'hui confirme que Lamap est accueillante aux mathématiques. Ses responsables savent que sciences et mathématiques ont partie liée. Je souhaite que les enseignants de mathématiques et leurs organisations prennent part à l'élaboration de ressources de qualité pour son site. Ils ont beaucoup à gagner en s'inspirant de Lamap et de son expérience pour renouveler l'enseignement de leur propre discipline.

Bibliographie.

Expérimenter et prouver. Faire des mathématiques au lycée avec des calculatrices symboliques. Gérard Kuntz. Repères-Irem n° 34 p.75-78. 1999.

Expérimenter pour apprendre des mathématiques. Viviane Durand-Guerrier et Thierry Dias. Repères-Irem n° 60 pages 61-78. 2005.

Actions géométriques avec un ensemble de gabarits. Bernard Bettinelli. Repères-Irem n° 43 pages 5-27. 2001.

Volume d'une sphère. Guillaume Lambert. Bulletin de l'APMEP n° 455. p. 823-828. 2004.

Spirales végétales et suites de Fibonacci. Un atelier mathématique pour les enfants. Groupe « Atelier » de l'Irem de Strasbourg. Bulletin de l'APMEP n° 455. p. 759-778. 2004

Une double émergence. Claudine Robert et Jacques Treiner. Bulletin de l'APMEP n° 453. p. 499-510. 2004

La main, l'outil et le cerveau. Gérard Kuntz. Bulletin de l'APMEP n° 453. p. 548-558. 2004.

La modélisation. Fascicule du Comité scientifique des Irem. Disponible prochainement sur le portail des Irem <http://www.univ-irem.fr/> (rubrique « comité scientifique »).

Mathématiques en ligne. Fascicule du Comité scientifique des Irem. Disponible prochainement sur le portail des Irem <http://www.univ-irem.fr/> (rubrique « comité scientifique »).

ANNEXE : LES DIX PRINCIPES DE LA MAIN A LA PÂTE.

La démarche pédagogique

1. Les enfants observent un objet ou un phénomène du monde réel, proche et sensible et expérimentent sur lui.
2. Au cours de leurs investigations, les enfants argumentent et raisonnent, mettent en commun et discutent leurs idées et leurs résultats, construisent leurs connaissances, une activité purement manuelle ne suffisant pas.
3. Les activités proposées aux élèves par le maître sont organisées en séquence en vue d'une progression des apprentissages. Elles relèvent des programmes et laissent une large part à l'autonomie des élèves.
4. Un volume minimum de deux heures par semaine est consacré à un même thème pendant plusieurs semaines. Une continuité des activités et des méthodes pédagogiques est assurée sur l'ensemble de la scolarité.
5. Les enfants tiennent chacun un cahier d'expériences avec leurs mots à eux.
6. L'objectif majeur est une appropriation progressive, par les élèves, de concepts scientifiques et de techniques opératoires, accompagnée d'une consolidation de l'expression écrite et orale.

Le partenariat

7. Les familles et/ou le quartier sont sollicités pour le travail réalisé en classe.
8. Localement, des partenaires scientifiques (universités, grandes écoles) accompagnent le travail de la classe en mettant leurs compétences à disposition.
9. Localement, les IUFM mettent leur expérience pédagogique et didactique au service de l'enseignant.
10. L'enseignant peut obtenir, auprès du site Internet, des modules à mettre en œuvre, des idées d'activités, des réponses à ses questions. Il peut aussi participer à un travail coopératif en dialoguant avec des collègues, des formateurs et des scientifiques.