Comment faire aller les élèves vers les sciences ?

Les chiffres parlent d'eux-mêmes. De moins en moins de jeunes se dirigent vers des études scientifiques, alors que les économies ont de plus en plus besoin d'ingénieurs, d'informaticiens et de mathématiciens. Quels sont les facteurs responsables de cette désaffection ? Quels moyens pourrait-on se donner pour encourager les jeunes à aller vers les sciences ?

Alain Mercier est professeur émérite à l'Institut français de l'éducation et à l'ENS de Lyon,

Yves Matheron appartient à l'Institut français de l'éducation,

Serge Quilio est chercheur à l'Institut français de l'éducation.

La question posée en titre de cet article est complexe, parce que les raisons de l'intérêt ou du désintérêt statistique et personnel des élèves pour tel type de connaissances sont toujours multiples. Nous devrions donc dire que nous n'avons pas de réponse, et que nous ne pouvons que le constater. Car il n'y a pas de raison que cela tienne à une des variables sur lesquelles les professeurs ou les mathématiciens peuvent jouer. Mais pour être optimiste, imaginons seulement ceci : les élèves iraient bien vers ces disciplines s'ils savaient ce que l'on y fait… C'est si vrai que l'on a pu montrer que le nombre d'inscrits en terminale scientifique suit, deux ans plus tard, le nombre d'heures d'enseignement scientifique en seconde et première : cela signifie que presque personne n'aurait l'idée de s'intéresser aux sciences si elles n'étaient pas enseignées (voir l'article de Pierre Arnoux en page 14).

Premiers éléments de réponse

Les premiers éléments de réponse relèvent de l'évidence : les élèves de lycée ne savent pas vraiment ce que peut bien faire un scientifique ou un mathématicien, ou même un professeur de sciences ou de mathématiques une fois la classe finie. De plus, nous ne sommes pas sûrs que « la société », telle qu'elle se montre dans les émissions télévisées ou radiophoniques par exemple, mais aussi au cinéma ou au théâtre et dans les manifestations culturelles en général, ait vraiment le souhait que les élèves choisissent massivement de suivre un cursus scientifique. Le nombre de docteurs en mathématiques qui, pour trouver du travail, ont dû s'expatrier ou devenir professeur des écoles ou de collège, a été important, des années durant.

Supposons donc que nous limitions notre question à ce que l'on peut faire en classe et alentour. On prend pour axiome que « la société » ait décidé que la science fait partie de la culture indispensable à tout citoyen et en particulier à tout homme politique comme à tout journaliste, ainsi qu'à tout professeur des écoles, et que comme l'anglais, l'histoire ou la littérature, les mathématiques et les sciences soient enseignées à l'ENA, à Sciences Po, et tout au long de la formation universitaire de tous les futurs professeurs. Imaginons alors que l'on se demande quelles questions travailler au collège et au lycée pour montrer à tous ce que sont les mathématiques et les sciences, au quotidien : des outils à produire des modèles pour traiter des questions dont la réponse peut être utile.

Des propositions pour les élèves-professeurs

Que proposerions-nous (que pourraient faire des professeurs audacieux et accompagnés) si on nous demandait un programme d'enseignement universitaire sur cinq ans ?

Nous proposerions aux élèves-professeurs l'étude un peu suivie de quelques grandes questions c'est-à-dire de questions qui ont de l'avenir. Nous leur demanderions ensuite de les faire vivre en classe en les posant aux élèves et en les travaillant tranquillement. Nous en donnerons deux

Question 1
Comment les grands bateaux en fer flottent-ils ?

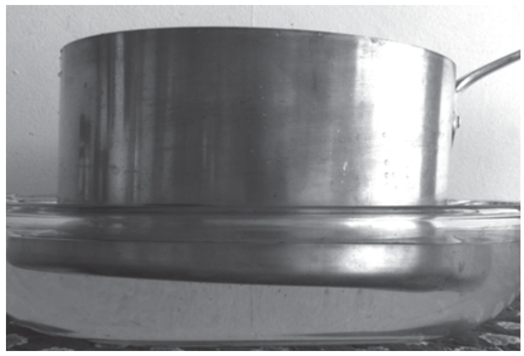
Question 2
Où sont la lune et le soleil quand on ne les voit pas ?

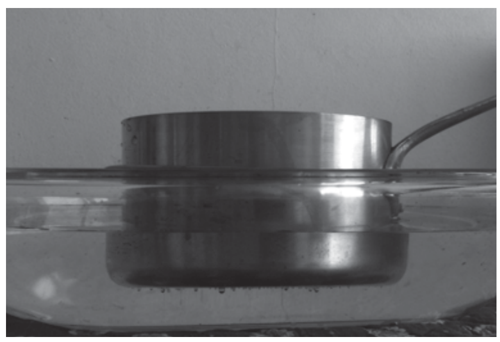
seulement et faute de place nous limiterons notre propos à leur présentation sommaire.
Ces deux questions peuvent recevoir des réponses à plusieurs niveaux :
• en sixième, des premiers éléments liés à l'observation ;
• en cinquième, des éléments un peu plus solides avec la mobilisation de fonctions linéaires sur tableur dans un cas, d'une géométrie de la Terre et de triangles dans l'autre ;
• en quatrième, l'étude de phénomènes d'échelle et de variation différentielle des fonctions linéaires, carré et cube pour l'une, de l'astronomie du système solaire et donc de géométrie de l'espace dans l'autre cas ; toutes questions que personne ne devrait être autorisé d'ignorer, qui n'appartiennent pas aux mathématiques, qui ne se résolvent vraiment qu'avec des mathématiques, et qui trouvent des éléments de réponse avec des mathématiques très élémentaires.

Les grands bateaux en fer

Précisons quelques éléments du travail de la question 1 sur les grands bateaux en fer.

Dans toute classe, il y a un élève qui pense qu'ils flottent parce qu'ils sont doublés d'un matériau léger, d'autres qui pensent que c'est parce qu'ils sont fermés, etc. Nous pouvons proposer et réaliser une expérience en remplaçant les bateaux par des boîtes à base carrée, toutes réalisées par collage à l'époxy de plaques de fer de 1 mm d'épaisseur. Le fer ayant pour densité 7,8 kg/dm^3, les plaques ont donc une masse de 0,7800 g/cm^2 (ce calcul n'est pas un enjeu et peut être évité).
Le professeur montre et fait circuler dans la classe deux boîtes, l'une de base carrée de côté 10 cm et de hauteur 5 cm (elle pèse environ 300 grammes) et l'autre de base carrée de côté 5 cm et de hauteur 1 cm (elle pèse environ 35 grammes). Puis il demande de parier *« Est-ce que ces boîtes peuvent flotter ? Flotteront-elles toutes les deux ? Couleront-elles toutes les deux ? Si une seule flotte, laquelle ? »*
Il enregistre toutes les réponses individuelles, puis apporte un bac d'eau et fait tester. On pose les boîtes lentement et… contrairement aux prévisions majoritaires, la plus grande flotte et la plus petite coule. Sur cette première expérience, deux directions d'enquête sont possibles : demander comment transformer la petite boîte pour qu'elle flotte, et comment transformer la grande boîte pour qu'elle coule… C'est là qu'un modèle mathématique montre son efficacité : il permet de ne pas faire d'expériences matérielles, ce qui serait fort coûteux .





Ces deux casseroles de cuivre sont de même fabrication et donc de même épaisseur. Elles s'enfoncent autant l'une que l'autre, ce qui fait que « la grande flotte mieux ».
Quel est le phénomène ?

Le modèle énonce que (numériquement) « V = M » : le volume que la boîte occupe dans l'eau (en cm^3) est égal à la masse de la boîte (en g) multipliée par la masse volumique de l'eau (qui est 1 g/cm^3). Il permet de vérifier que la petite boîte a une masse de 35 (grammes) bien supérieure à son volume de 25 (cm^3), tandis que la grande boîte a une masse de 300 (g) pour un volume de 500 (cm^3). Du coup la question se pose : quelle hauteur donner à la petite boîte pour qu'elle flotte ? 10 cm ? Elle aurait un volume de 250 cm^3 pour une masse de 180 grammes environ et devrait effectivement flotter. Les questions se multiplient, elles correspondent à des expériences imaginables : une boîte à base carrée de 3 cm de côté peut-elle flotter ? Et une boîte à base carrée de 100 cm de côté et de hauteur 1 cm ? etc. Si maintenant on étudie comment flottent des boîtes toutes cubiques de diverses dimensions, on découvre un phénomène étonnant, que nous laissons au lecteur le soin de rencontrer. Il relève de ce qu'on appelle « l'effet d'échelle » et peut être étudié dans ses effets étonnants en biologie ou en mécanique : pourquoi les mammifères marins sont-ils plus gros que les mammifères terrestres ; pourquoi les carnivores sont-ils plus petits que les herbivores ; pour quoi n'y a-t-il pas de grands insectes ; etc.
Depuis Galilée ces questions sont étudiées et leurs résultats étonnent. Revenir dessus prépare à l'étude systématique des fonctions conduite au lycée et montre un usage essentiel des mathématiques, comme outil de modélisation.

La lune et le soleil

Précisons quelques éléments du travail de la question 2, sur la position de la lune et du soleil, à tout instant et même quand on ne peut les voir.
Ici encore, la construction des conditions de l'ob-

servation est essentielle, mais elle peut, avec de jeunes élèves, devoir durer toute une année avant que le fonctionnement de la classe puisse produire quelque chose d'exploitable. En effet, pour comparer deux observations de la position d'un des astres il faut avoir la date et l'heure de l'observation, mais aussi une orientation de l'observateur : il faut donc construire la direction du sud pour tout point d'observation en dehors du temps scolaire. Puis, il faut commencer à imaginer une trajectoire pour chacun des deux astres, et comprendre que, si le soleil éclaire la lune, alors la face éclairée de la lune nous informe sur la position du soleil, même quand on ne le voit pas.

On peut alors imaginer les positions des trois corps que sont la terre T, la lune L, et le soleil, S ce qui conduit :

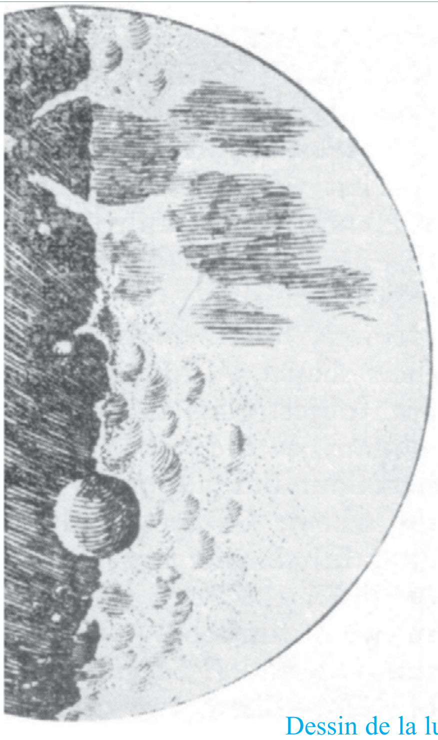
a) à construire un phénomène géométrique délicat lié au fait que l'observateur est sur une sphère et non pas sur un plan, que son plan de référence est tangent à la sphère et qu'il est perpendiculaire à ce plan qui fait, pour lui, référence ;

b) à construire un triangle TLS dont le sommet S est nécessairement très loin de T (au moins dix fois plus loin que L).

Cette géométrie peut s'appliquer alors aux observations instrumentées de Vénus, Jupiter ou Mars, et de comprendre que Vénus est une planète intérieure tandis que Jupiter est une planète extérieure. En effet, Vénus ne se voit jamais en pleine nuit parce qu'elle est toujours près du soleil, et Vénus n'apparaît pleine (complètement éclairée) que quand elle est au plus près du soleil, à l'inverse de la lune… Ici, le travail ne se conduit plus sur la foi d'observations directes mais à partir de tables d'observation qui peuvent être anciennes. L'intérêt et l'ampleur du travail de Tycho Brahé peut s'imaginer, puisque l'on peut l'utiliser. L'émotion produite par la lunette de Galilée peut être racontée et reproduite. Et cela ne demande qu'une géométrie élémentaire, une géométrie des angles, un gnomon.

Cohérence des programmes et envie d'étudier

Tour à tour, les savoirs enseignés à l'école « vieillissent » et disparaissent des programmes pour laisser la place à de nouveaux savoirs. de telle sorte que la logique d'ensemble d'un curriculum s'évanouit. Les mathématiques n'échappent pas à ce phénomène et le sens de leur enseignement s'effondre. Comment en rétablir la cohérence pour donner envie aux élèves d'étudier les sciences ?



Dessin de la lune, par Galilée.

En forme de conclusion

Nous ne pouvons, aujourd'hui, trouver des équipes de professeurs de collège prêtes à s'engager dans ce type de travail ; le dispositif des IDD aurait pu le permettre s'il avait vécu plus de quelques années, mais hélas l'impatience empêche de construire ou de planter. En attendant, les propositions sur lesquelles nous travaillons en tant que didacticiens dans le cadre des LEA (lieux d'éducation associés à l'Institut français de l'éducation) sont moins ambitieuses parce que limitées à un travail intra-mathématique sur le système de numération décimale de position, les opérations élémentaires, les programmes de calcul et les relatifs, ou le compte de suites de configurations d'objets. D'autres œuvrent dans un sens proche, en montrant la puissance modélisatrice des mathématiques dans des initiatives comme les stages Hippocampe, au sein des IREM ou dans les Maisons des mathématiques.

A. M., Y. M. & S. Q.