Modélisation et pratique scientifique en classe : défis, enjeux, exemples

Michèle Marie Renée Gandit, Christine Kazantsev, Hubert Proal, Dominique Spehner

Modélisation et pratique scientifique en classe : défis, enjeux, exemples

Michèle Gandit, Christine Kazantsev, Hubert Proal, Dominique Spehner

IREM de Grenoble

michele.gandit@univ-grenoble-alpes.fr

Résumé : Ce texte présente une ingénierie didactique sur deux sujets d'astronomie, les satellites de Jupiter et la rétrogradation de Mars, qui s'adresse, sous des versions adaptées, aux élèves de Seconde (15-16 ans) ou aux étudiants en master Enseignement des mathématiques. Il s'agit d'engager une réflexion sur la modélisation et la simulation, mais aussi sur les acquisitions des élèves ou des étudiants, amenés à faire des mathématiques dans un contexte inhabituel, situé à la fois en mathématiques et en sciences physiques.

Abstract : We propose a teacher education engineering about astronomy : the four largest satellites of Jupiter and the downgrading of Mars. The targeted audience are students in french « lycée » (15-16 years old) or students in preservice mathematical education of teachers. The main targeted competency is modeling real world situations. An important goal is to engage the students in making sense of mathematics (and physics) in a different framework.

Défis et enjeux

Concernant l'enseignement actuel des mathématiques en France, Andler (2014), s'appuyant sur les résultats des études PISA 2012 (OCDE, 2014), relève comme problèmes majeurs de notre enseignement, d'une part, « le manque de sens [qu'il porte] au delà de l'acquisition de techniques », d'autre part, le fait que sa « philosophie privilégie […] la reproduction plutôt que le développement de l'autonomie des élèves ».

Des changements importants, relativement à l'enseignement des sciences, sont pourtant déjà intervenus dans les programmes actuels du collège et du lycée, faisant suite aux précédents résultats d'études PISA (OCDE, 2006) et au rapport Rocard & al (2007). Celui-ci mettait déjà en avant la nécessité de renouveler l'enseignement des sciences à l'Ecole, en le fondant sur la pratique par les élèves de démarches d'investigation. Plusieurs recherches ont déjà eu lieu, concernant la formation des enseignants des disciplines scientifiques sur ce point (Gandit & *al*, 2011 ; 2013 ; Triquet & *al*, 2012) et d'autres sont en cours.

Ces programmes affichent des ambitions en ce qui concerne l'initiation des collégiens ou des lycéens à des pratiques de modélisation mathématique ou de simulation numérique. Ainsi, le B.O.E.N. n°6, du 28/08/2008, cite (p. 4) : « Les mathématiques fournissent des outils puissants pour modéliser des phénomènes et anticiper des résultats, en particulier dans le domaine des sciences expérimentales et de la technologie. » Plus précisément, ces ambitions se donnent à voir, entre autres, dans les contenus à enseigner, tels que la statistique et les probabilités, mais aussi dans les dispositifs mis en place, tel que l'enseignement d'exploration *Méthodes et Pratiques Scientifiques* (MPS) en Seconde ou la description de la troisième compétence du Socle Commun en fin de collège. L'enseignement MPS (B.O. spécial n° 4 du 29 avril 2010) a pour objectif d'initier les élèves à la pratique scientifique – interdisciplinaire – dans le cadre d'un projet, sans obligation de traiter des contenus imposés ; les compétences et qualités à valoriser dans ce cadre sont « l'autonomie, l'initiative, l'engagement dans une démarche scientifique, le travail d'équipe, le raisonnement et la communication écrite et orale ».

Néanmoins, malgré cette volonté institutionnelle affichée et les recherches menées en éducation, la formation actuelle des enseignants et des étudiants des masters enseignement prend encore peu en charge les questions liées à la modélisation et à la pratique interdisciplinaire.

Ce texte, ainsi que l'atelier qu'il présente, se situent à la fois dans le cadre d'un projet de recherche, soutenu financièrement par la Région Rhône-Alpes et dans celui du travail du groupe MPS de l'IREM de Grenoble, convergeant tous deux vers la mise en œuvre en classe d'une pratique scientifique, incluant la modélisation.

Présentation de l'ingénierie didactique

Nous présentons une ingénierie didactique à destination d'élèves de Seconde (15 ans), dans le cadre de l'enseignement d'exploration MPS et, dans une seconde version, à destination d'étudiants en première année de master Métiers de l'Enseignement, de l'Education et de la Formation (parcours mathématiques) dans le cadre d'une Unité d'Enseignement (UE) intitulée *modélisation*. Cette UE est constituée de deux modules de 30 heures, l'un traite essentiellement des contenus des programmes des classes de terminale, surtout sur le thème des probabilités et statistiques, le second aborde une réflexion didactique sur la modélisation par l'étude de problèmes, ancrés dans le réel : des manipulations (non informatiques) sont demandées au départ, il est possible de mettre en œuvre ces problèmes en classe, leur traitement passe par une utilisation de logiciels.

Partant d'une étude des différents modèles du monde proposés au cours des siècles, nous avons élaboré une suite de situations de recherche pour les élèves (nous désignerons par ce terme aussi bien les élèves de lycée que les étudiants de master), portant en particulier sur les satellites de Jupiter – étude à l'appui de textes historiques de Peiresc et Galilée – ainsi que sur la rétrogradation de Mars – expliquée pareillement par les deux modèles héliocentrique et géocentrique. Ceci conduit à questionner les élèves sur la nécessité de modéliser, le choix des hypothèses de construction d'un modèle, les qualités demandées à un modèle (simplicité, exactitude) et l'intérêt de conserver parfois un modèle très éloigné de la réalité, mais simple, si les résultats qu'il donne sont acceptables.

Depuis l'Antiquité jusqu'au XX^{ème} siècle, les astronomes ont dû imaginer des stratagèmes ingénieux pour déterminer certaines distances astronomiques, de manière indirecte, à partir de l'observation du ciel à l'œil nu ou avec des lunettes, des télescopes. Cette ingénierie, en deux parties, propose aux élèves de retrouver certains de ces stratagèmes ou méthodes utilisés par les astronomes anciens. La seconde partie, sur la rétrogradation de Mars, ne s'adresse qu'aux étudiants en master.

Nous ne donnons ci-dessous que quelques éléments de l'analyse préalable de cette ingénierie, faute de place.

Les satellites de Jupiter

Cette partie de l'ingénierie se décompose en quatre phases.

L'objectif de la première phase est de décrire le mouvement apparent, vu depuis la Terre, des quatre satellites de Jupiter – Io, Europe, Ganimède et Callisto – pour ensuite déboucher sur un modèle permettant de représenter ce mouvement. Une introduction historique reprenant les observations réalisées par Peiresc[1] en 1611 permet une première réflexion sur la nature des relevés et leur utilisation possible. Les premières *conceptions* (Robardet & Guillaud, 1997) peuvent ainsi émerger sur le mouvement de ces satellites. On demande ensuite de reproduire ces observations aux mêmes dates et heures que Peiresc en utilisant un logiciel de simulation astronomique (planétarium virtuel), *Stellarium*[2]. Une question se pose, à laquelle *Stellarium* semble avoir répondu : comment prédire la position de ces satellites à un instant donné ? Les tracés effectués par Peiresc, sur ses relevés sur papier quadrillé, laissent deviner une courbe qui relie les différentes positions de chaque satellite par rapport à Jupiter. Ces courbes peuvent-elles être tracées par nos moyens informatiques modernes ?

La conjecture que chacune de ces courbes est une sinusoïde résulte assez facilement des documents

[1] On peut aussi utiliser les observations de Galilée, réalisées en mars 1613.

[2] Une prise en main préalable de celui-ci est donc nécessaire.

établis par Peiresc, en 1611 ou par Galilée en 1613 (Brémond, 2010). Il reste cependant à déterminer comment tracer de telles sinusoïdes, autrement dit, comment déterminer les paramètres qui déterminent leur forme. C'est le début de la deuxième phase. Ce modèle *hypothétique*, selon la dénomination utilisée par Robardet et Guillaud (*ibid*., p. 127), qui a de fortes chances d'apparaître avec des étudiants en master, pourra ensuite être *validé implicitement* (Johsua & Johsua, 1987) par utilisation de *Stellarium*. Cependant, avec des élèves de Seconde, il est nécessaire de travailler auparavant l'*objet* sinusoïde. Cette étude peut se faire expérimentalement, par utilisation d'un logiciel qui permet de représenter graphiquement la fonction qui à tout nombre réel x associe $a.\sin(\omega\, x + \varphi)$, en faisant varier les paramètres a (amplitude, qui est une longueur), ω (pulsation, qui se mesure en radians par seconde et a donc une dimension qui est l'inverse d'un temps) et φ (la phase, qui s'exprime en radians). Nous utiliserons le logiciel *Xcas*[3], qui permet la création de curseurs destinés à faire varier ces paramètres. Une fois travaillée graphiquement cette famille de fonctions – notamment le rôle des paramètres dans la forme de la sinusoïde – il faut établir un lien entre a, ω, φ, x et les grandeurs variables dans le phénomène étudié. Les investigations s'appuient sur des outils de natures différentes, tels que les documents établis par Peiresc (ou Galilée), le logiciel *Stellarium*, un logiciel de calcul formel multifonction tel que *Xcas* (ou *GeoGebra*) (disposant d'un tableur et d'un grapheur). Cette deuxième phase se termine par la représentation graphique, pour chaque satellite de Jupiter, de la fonction du temps qui représente l'éloignement du satellite par rapport à Jupiter (à un coefficient de proportionnalité près) et la *validation* de ce modèle par le placement de points obtenus grâce à *Stellarium*.

A partir du relevé des rayons des trajectoires et périodes trouvées pour chaque satellite, la troisième phase débute par la question de savoir s'il existe une relation entre le rayon R et la période T. Ces valeurs, déterminées expérimentalement, fluctuent suivant les élèves ; on peut proposer de faire une moyenne, après avoir écarté les valeurs aberrantes. Il s'agit alors d'analyser les résultats expérimentaux pour vérifier l'existence d'une relation entre R et T (la troisième loi de Képler : R^3 / T^2 = constante). Le modèle est ici postulé ; il n'est pas établi expérimentalement (*ibid*., 1987). C'est l'observation et la manipulation des nombres qui sont ici visées, en mathématiques. Un débat sur le choix d'une méthode permet de montrer l'intérêt d'utiliser un tableur pour retrouver, de façon méthodique, une relation de proportionnalité entre une puissance de R (d'exposant à déterminer) et une puissance de T (d'exposant à déterminer aussi). Cette phase s'achève sur le prolongement à donner à ce travail, les questions soulevées : la vérification de cette loi avec d'autres planètes, l'établissement de cette loi par analyse dimensionnelle, la question de la valeur de la constante (est-elle la même pour toutes les planètes et leurs satellites ?), l'adéquation de ce modèle au réel…

La quatrième phase est constituée de la communication scientifique relative à cette étude, qui permet une évaluation de cette première partie de l'ingénierie. Il est demandé à chaque élève de construire – et de présenter – à destination d'un public extérieur à la classe, une partie d'un exposé cohérent sur l'étude réalisée, les méthodes employées, les résultats obtenus, les questions qui restent posées. Avec les étudiants de master, cette phase se complète d'une réflexion sur l'aspect didactique portant sur la *dévolution* du problème (Brousseau, 1985), la désignation du *phénomène*, la *transmission du modèle* et sa *validation* qui demeure *implicite* (*ibid.*, 1987), dans notre cas, puisque l'on s'est contenté de vérifier la correspondance du modèle avec quelques expériences. Pour qu'elle devienne *explicite*, la validation opératoire doit se faire à partir d'un débat sur plusieurs modélisations plausibles (*ibid.*, 1987). Ce dernier point constitue l'objectif visé dans la deuxième partie de l'ingénierie.

La rétrogradation de Mars

Le phénomène de la rétrogradation de Mars est présenté aux élèves, de même que les deux modèles, héliocentrique et géocentrique, dans un contexte historique. La question posée est de savoir si ces

[3] On peut aussi utiliser *GeoGebra*.

deux modèles peuvent expliquer le mouvement de rétrogradation de Mars. Les étudiants doivent concevoir une activité de classe, de niveau collège (Grauss & Billard, 2005) pour faire comprendre le mouvement apparent rétrograde de Mars. De la réponse « oui » à la question précédente, il s'ensuit une réflexion sur la validation d'un modèle (Danielson & Graney, 2014).

Conclusion

Au moment de l'écriture de ce texte, cette ingénierie n'a pas encore été expérimentée dans ces versions. Des versions antérieures (Gandit & *al*, 2014), mises en œuvre avec des élèves de Seconde, ont amené à diverses modifications. L'expérimentation est en cours actuellement en Seconde (3 groupes de 22 élèves, enseignant expérimenté, 6 séances) et aura lieu mi-avril en master (24 étudiants, enseignante expérimentée, 8 heures). Des enregistrements vidéo des séances seront réalisés, notamment avec les étudiants. Des éléments d'analyse seront proposés au cours de ce colloque. Ils devraient montrer la difficulté des étudiants à mobiliser des concepts mathématiques, dès lors que ceux-ci ne sont pas pointés dans la tâche, mais aussi la maîtrise accrue de ces concepts par le fait que ceux-ci sont rencontrés dans un contexte inhabituel et servent à traiter un problème ancré dans le réel. C'est en effet l'hypothèse que nous cherchons à tester, nous appuyant sur d'autres enseignements déjà effectués, dans un contexte interdisciplinaire.

Comme nous l'avons vu, les préconisations officielles, tant européennes que nationales, lancent un défi extrêmement ambitieux qui consiste à s'appuyer sur la modélisation pour comprendre et agir sur le monde qui nous entoure, tout en alimentant une démarche mathématique. Pour que celle-ci ne soit pas creuse, il faut une collaboration des différents acteurs, des différentes disciplines afin de former les enseignants à la compréhension scientifique des problèmes, des modèles et de la modélisation. C'est un des objectifs du projet soutenu par la Région (que nous avons évoqué). Il est nécessaire que cet objectif s'inscrive fermement dans le projet des Ecoles Supérieures du Professorat et de l'Education.

REFERENCES

Andler, M. (2014) Qu'est-ce que les activités périscolaires peuvent apporter à la formation en mathématiques ?, *Bulletin n°15 de la Commission Française pour l'Enseignement des Mathématique*s, http://www.cfem.asso.fr/liaison-cfem/lettre-cfem-mars2014, consulté le 15 mars 2014.

Brémond, A. (2010) Les planètes médicéennes de Jupiter : de la « découverte » aux calculs astronomiques de Galilée, *Cahiers Clairaut*, n°130, 11-18.

Brousseau, G. (1985) *La théorie des situations didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage.

Danielson, D. & Graney, C. (2014) Pourquoi ils n'ont pas cru Copernic, *Pour la Science*, n° 436, 74-76.

Gandit, M. & Groupe MPS de l'IREM de Grenoble (2014) Les satellites de Jupiter : un scenario pour l'option MPS en seconde. *Actes des journées nationales de l'APMEP, Marseille 2013*. http://www.apmep.asso.fr/-Les-ateliers,606-, consulté le 8 janvier 2014.

Gandit M., Triquet E. & Guillaud J.-C. (2013) Séances d'investigation en classe en mathématiques et en sciences expérimentales, *Symposium Pratiques enseignantes et démarches d'investigation en sciences*, In G. Gueudet (dir.), *Actes du colloque Formes d'éducation et processus d'émancipation*, mai 2012. Rennes, http://python.bretagne.iufm.fr/recace/fepe_2012/plage_4.html, consulté le 20 juillet 2013.

Gandit M., Giroud N. & Godot K. (2011) Les situations de recherche en classe : un modèle pour travailler la démarche scientifique en mathématiques », *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant,* *acquisition des élèves*, M. Grangeat (dir.), Lyon, Ecole normale supérieure, p.38-51.

Grauss, B. & Billard, F. (2005) Rétrogradation de Mars et visibilité des planètes, *Cahiers Clairaut*, n°110, 16-20.

Joshua, M.-A., Josha, S. (1987) Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 8/3. 231-266 .

OECD (2014) *PISA 2012 Results: What Students Know and Can Do – Student Performance in Mathematics,* Reading and Science (Volume I, Revised edition, February 2014), PISA, OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/9789264201118-en, consulté le 30 mars 2014.

Robardet, G. & Guillaud, J.-C. (1997) *Eléments de didactique des sciences physiques*, Presses Universitaires de France.

Rocard, M., Cesrmley, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Herniksson,H., Hemmo,V. (2007) *Science education NOW: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Retrieved March 2010, from http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_fr.pdf, consulté le 27 janvier 2014.

Triquet, E., Gandit, M., Guillaud, J.-C. (2012) Démarches scientifiques, démarches d'investigation en sciences expérimentales et en mathématiques : évolution des représentations d'enseignants débutants de l'IUFM à l'issue de la formation. In B. Calmettes (Ed.), *Démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation* (pp. 84-111). L'Harmattan.