

S'approprier les maths-physique par la simulation

Autour des expérimentations (et logiciel libre) MobiNet

<http://mobinet.imag.fr>

[Fabrice Neyret](#)

Directeur de Recherches CNRS au LJK / IMAG-INRIAAlpes (Grenoble)

A quoi sert l'enseignement des maths et des sciences ?

Usuellement, les interrogations sont un peu plus prosaïques: Comment enseigner les maths et les sciences ? Les faire aimer ? Comment lutter contre l'échec au collège, au lycée et en fac ? Contre le manque de débouchés de certaines filières universitaires ? Faut-il ne plus enseigner, ou ré-enseigner, tel concept, voire telle matière, l'aborder en tronc commun ou en option ? Comment faire que les étudiants reviennent vers les études scientifiques et techniques ? Faut-il 80% d'élèves au bac, et à quel prix ? (et le niveau baisse-t-il vraiment ? à quel sens ?) Comment réduire le fossé entre le citoyen et les sciences ? Développer l'esprit critique face aux arguments incorrects mais séduisants que diffusent à tous propos médias et marchands de rêves (en extension avec le développement d'internet) ? Ces questions ne sont pas sans liens. Cependant, il me semble difficile de régler la question du *comment*, de se fixer des objectifs, des méthodes, et des critères d'évaluation, sans cette question préalable du *pour quoi*. Celle ci va de pair avec celle du *pour qui*: vise-t-on tout les élèves, ou un sous-groupe selon la capacité ou la destinée, voire juste les "futurs nous-mêmes" (profs ou équivalents), ou un spectre d'apprenants aux caractéristiques différentes et dont l'avenir social, culturel et professionnel se déclinera en palettes très diversifiées ?

Il me semble important que les différents acteurs, des profs aux ministres en passant par les chargés de rapports, rédacteurs de programmes, responsables de filières, sachent se positionner sur ces questions, et affichent ce positionnement. Faute de quoi, je pense que bien des échecs et frustrations (pour les étudiants comme pour les enseignants) résultent des incohérences et mécompréhensions dans les attentes, buts, choix et promesses implicites. En plus d'une meilleure cohérence dans le réseau éducatif, il s'agit aussi d'arriver à être cohérent soi-même en tant qu'intervenant, ce qui ne va pas de soi ! Pourquoi dois-je apprendre telle chose à cet élève, quelle idée me fais-je de cette question, et quelle idée se fait-il lui même de ce "pour quoi" ? S'agit il de préparer de futurs profs de maths, ou des ingénieurs et techniciens, ou des citoyens adultes, ou de donner une culture math en soi (comme d'autres souhaiteraient entretenir une culture latin-grec) ? On a reproché à certains gouvernants une vision purement utilitariste de l'école, cependant la vision purement disciplinaire des savoirs n'est pas forcément plus légitime. Réciproquement, des contenus et méthodes donnés peuvent s'accommoder de buts et critères différents - heureusement ! - et l'on vise souvent plus d'un but.

En mon sens, l'enseignement au collège et lycée devrait viser à former un citoyen adulte notamment en lui donnant les outils culturels et techniques capables de fonder des jugements autonomes, lui donner les briques culturelles permettant d'accéder à l'état

actuel des interrogations et compréhensions sur les choix sociétaux et sur les *grandes questions* (qui font la spécificité humaine), de développer les aptitudes cognitives, créatives et corporelles, et de préparer les bases de l'avenir professionnel ce qui au niveau du secondaire ne signifie guère plus que mettre en place les briques nécessaires aux cursus postérieurs au travers de la première spécialisation que constituent filières et options du lycée, mais aussi donner des aperçus en terme de contenus et débouchés avant les choix irréversibles. A minima, j'attends de cet enseignement qu'il ne soit pas passivement ou activement contre-productif à ces missions, et qu'il permette de dépasser les prédéterminants sociaux.

Comment enseigner les maths et sciences ? (dans "transmettre un savoir" qu'entend-t-on par "transmettre" et "savoir" ?)

Les diverses fonctions que je cite dans le précédent paragraphe nécessitent non d'apprendre, mais de *s'approprier*, d'associer du *sens* à ces savoirs, de les relier au *réel* afin de pouvoir les *instrumentaliser* au service d'un questionnement (fut-il prosaïque et technique). Ce dernier point touche aux notions de *démarche scientifique* et de *modélisation*, qui supposent analyse du problème brut (concret) et repérage des paramètres et données, voire des concepts scientifiques en action, mathématisation du problème, puis résolution logique, analytique ou numérique, laquelle s'appuie de plus en plus sur des outils informatiques voire sur la réalisation d'algorithmes (dans les problèmes réels, maths, physique voire informatique sont souvent mêlées). L'esprit de la démarche scientifique ne consiste pas à chercher à deviner une réponse préétablie par un Sphinx qui condamne en cas d'échec, mais repose sur la capacité à construire, éprouver, valider et tester son propre modèle, et à apprendre de ses tentatives erronées. C'est d'ailleurs sur cette base que reposent la pratique des métiers de l'ingénierie et des sciences. Y prépare-t-on ? En donne-t-on cette image ? Le savoir n'est pas une vérité révélée dans le Livre, arbitraire et abstraite, distillée par des prêtres, mais une construction éprouvable et extensible, parlant du réel. De plus, quitte à ressusciter Piaget, je vois l'appropriation d'un concept comme la constitution indispensable du *schème* correspondant dans la cognition de l'apprenant: sentir comment l'outil "cosinus" - associé aux paramètres internes et externes (additifs ou multiplicatifs) qu'on peut y adjoindre - réagit quand on le manipule: l'acquisition du sens passe par la constitution d'intuitions quasi "tactiles" quant à la réaction de l'objet à la trituration. Il faut une exceptionnelle capacité d'abstraction pour arriver à se constituer un tel schème à la simple lecture ou écriture d'équations: la voie "naturelle" pour le non-expert est l'acquisition par la manipulation. A l'inverse, l'abstraction des énoncés, jusque dans les exercices, entraîne très facilement des biais pédagogiques graves de type [Topaze](#) ou similaires (on apprend quoi répondre à l'exercice au lieu de la notion). Saurait-on en estimer la proportion dans la très théorique "assimilation du programme" par les élèves ? Dès lors, que *savent* vraiment nos jeunes citoyens sur les maths et les sciences au sortir du lycée ?

Ce sont les valeurs ci dessus qui imprègnent le sens de notre démarche dans les opérations MobiNet, un outil TICE (libre) facilitant l'interaction avec son savoir et la validation expérimentale. Non dans l'idée que tout le savoir doit nécessairement se transmettre (s'acquérir) ainsi, mais que l'absence de cette démarche dans le cursus constitue une grave lacune, et rend fragile tout l'édifice de connaissances. (A ce titre, j'espère beaucoup de l'attention donnée à l'interdisciplinarité et à l'expérimentation -y compris en maths- annoncée pour les nouveaux programmes, indépendamment des autres aspects de cette réforme "musclée").

Constats de départ (biais à combattre, lacunes à combler)

Les éléments d'inquiétudes justifiant l'esprit de notre démarche pédagogique sont les suivants, découlant d'une part de notre contact répété avec les élèves de Seconde au cours de nos ateliers, et notamment de l'enquête que nous avons effectué après notre première année d'expérimentation, et d'autre part du paradoxe des lacunes basiques communes dans la population malgré un niveau d'enseignement général théoriquement plus que suffisant :

° Concernant le second point, on note que :

- En dépit de la formation élémentaire que chacun a suivi, l'*anumérisme* est largement répandu dans la population (y compris journalistes et classe politique): incompréhension des statistiques, voire des pourcentages et de la règle de trois, de la logique (négation d'implication, corrélation/causalité), du sens des comparaisons... (lire "[plus vite que son nombre](#)" de S.Gasquet)

- Au delà de l'utilité de ces notions au quotidien, qu'il s'agisse de gérer sa consommation ou de juger d'une information ou argumentation, et de l'incompréhension de phénomènes financiers élémentaires comme les taux d'intérêts ou les tranches d'impositions (où même un ministre des finances peut faire des erreurs indignes du Collège), on peut penser que ces lacunes ne sont pas étrangères à la défiance grandissante envers les sciences et la médecine dites "officielles", et l'adhésion (parfois massive) à des pseudothéories. Mais sont-ce vraiment des désapprentissages, ou des mésapprentissages au départ ?
- Paradoxalement, le niveau de croyance dans le paranormal et l'astrologie sont *positivement corrélés* au niveau d'études (consulter le [site du Laboratoire de Zététique](#)): le savoir tel que nous l'avons transmis ne protège pas, au contraire. Est-ce que les relations construites avec les attributs du savoir lors de l'enseignement ne prépareraient pas à croire le reconnaître dans la vérité révélée de tel livre ou docte personnage ? Est-ce que nos apprentissages seraient trop abstraits pour être mobilisables à l'évaluation d'argumentations et raisonnements erronés ? Voire, que l'élitisme de leur forme se prête à un détournement abusif voire ésotérique de celle-ci ?

° Concernant le premier point, l'expérience d'avec nos élèves de Seconde (via nos 8 ateliers annuels aux *Semaines Découverte Ingénieur* -voir plus bas-, nous avons eu affaire à environ 1000 élèves depuis 2002, issus de tous lycées de l'agglomération grenobloise et de l'Isère) :

- Les élèves ne semblent pas faire le lien entre les maths-physique enseignées, et la Science en général (par exemple celle dont parlent les médias).
- Ils ne semblent pas non plus faire le lien entre ces matières et les objets et métiers régissant pourtant souvent leur quotidien (ingénierie, logiciels, effets spéciaux du cinéma...).
- Ils ont du mal (même les "bons") à mobiliser leurs savoirs pour répondre à des instructions concrètes exprimées en français comme "décaler à droite", "faire rebondir" (i.e. changer la direction), "agrandir le cercle à un rayon de 30", à prédire l'effet d'un signe ou d'une grandeur.
- Ils hésitent à essayer sur l'ordinateur, tendant à demander si leur "réponse" est juste.
- Les "mauvais" ont régulièrement un discours auto-dénigrant (et semblent étonnés de réussir).
- Certains "bons" tentent de plaquer une leçon (" $\text{droite} = ax+b$ ") plutôt que

d'instrumentaliser leur savoir au service du problème ("déplacer l'objet d'ici à là en ligne droite").

Les ateliers MobiNet

Notre principale opération, lors des Semaines de l'Ingénieur (organisées 2 fois par an par l'INPG et la région Rhône-Alpes), consiste essentiellement en un [TP de 2 heures](#) effectives, hors la classe et hors programme, avec le prétexte de "montrer comment sont faits les jeux vidéos". Si la deuxième heure consiste effectivement à remobiliser les savoirs pour fabriquer un jeu de [pong](#) en réseau, la première heure sert, tout en entrant progressivement dans MobiNet (notre logiciel libre de simulation interactive, cf [site](#)), à réaliser l'objectif décrit plus haut: nous effectuons des séries de petits exercices exprimés en français (en se gardant des effets Topaze), correspondant concrètement à des déplacements et comportements d'objets à l'écran, qui visent à donner des intuitions c'est à dire s'approprier l'effet des paramètres (signe et amplitude, devant ou dans une fonction), d'un '+' vs d'un 'x', d'une direction vs d'une position, etc. Les exercices sont donnés par lots et comportent des détails facultatifs, de façon à permettre aux élèves d'aller à leur rythme entre deux resynchronisations de la classe. Quelques éléments sont traités en plénière, pour initier la démarche de "mise en sens", en commençant par le mouvement en translation, puis pour réintroduire la trigo en terme de mouvement circulaire.

Par ailleurs, nous avons également effectué des TD *in lyceo* dans les conditions de la classes (1h, contrat pédagogique précis et restreint), tout en conservant l'esprit: Pour le [TD sur les vecteurs](#), le scénario pédagogique proposé est une [régate entre 7 bouées](#), dont il faut déterminer les caps successifs, sans puis avec dérive, en 3 exercices de complexité croissante. Entrer les valeurs d'un vecteur se traduit de suite graphiquement par le segment de trajectoire correspondant, et un bouton permet de valider la continuité de la trajectoire en la faisant parcourir par un bateau: on peut ainsi voir immédiatement l'effet d'une valeur, permettant de rectifier sans pathos un raisonnement erroné, puis tester le résultat final, mais on ne peut pas réussir par tâtonnement sans comprendre car la validation est précise. Ce dernier point est crucial, car il correspond à un biais facile en TICE, pendant de l'effet Topaze: dans la construction d'un scénario, il faut veiller à ce que réaliser l'exercice entraîne nécessairement l'acquisition de la notion.

Bien sûr, un TP ne suffit pas à résoudre tous les problèmes, et tous les concepts du cours ne sont pas forcément adaptés aux TICE ou à MobiNet en particulier. En outre, certains élèves décrocheurs extrêmes nécessitent toujours un suivi individuel. Cependant, dans les deux contextes nous avons constaté l'impact motivant tant sur les "têtes de classes", qui découvrent que leur sujet de prédilection a une réelle utilité et qu'on peut même y investir son avenir, que sur les "queues de classes", qui adhèrent à l'objectif concret et à la démarche constructrice, et découvrent qu'elles savent et peuvent quelque chose, que les notions peuvent avoir un sens qui vaille de se les approprier, les incitant à l'activité. L'irruption du réel, du sens et de l'interaction est vécue comme une surprise presque incongrue mais appréciée (lors de notre sondage à l'issue de la première année, les élèves n'imaginaient pas vraisemblable la transposition de l'activité au contexte scolaire: quelle idée se font-ils donc des "normes" de l'enseignement ?). D'après plusieurs profs, la consolidation du sens et intuitions et même la remotivation d'élèves "passifs" se sent encore quelques semaines après: ce genre de TP "modélisation et simulation" a un impact hors de son propre temps (même dans le cas hors programme), et n'en consomme en fait guère plus que pour un TD "classique". Cependant, concevoir un "bon" scénario pour un

contrat pédagogique donné n'est pas si facile: il faut arriver à traiter l'intégralité du contrat pour la notion cible, ne pas encombrer d'éléments parasites, s'assurer que l'exercice fait réellement acquérir la notion...

De plus, notre démarche reste partielle: nous ne sommes pas enseignants du secondaire, n'avons traités que peu de scénarios pédagogiques en lien direct avec le programme (l'aide de profs serait bienvenue sur ce point !), et avons réalisé peu de validations quantitatives des acquis (cf publications internationales [EG-Education'04](#) et [LNCS-Edutainment'06](#) sur le [site](#)): c'est aux profs de s'approprier l'outil MobiNet, d'affiner la démarche et les scénarios. Qu'ils pensent à nous en faire retour, pour que nous mettions leurs sessions -avec la fiche de TP et/ou commentaires- et récits d'expériences à disposition sur le site ! La modestie face aux logiciels éducatifs commerciaux est mal placée: en classe, les scénarios les plus épurés sont souvent les plus efficaces, et la fiche de TP décrivant l'activité est autrement plus riche que le seul fichier de session. De même, certaines applettes en ligne sont plus abouties, mais pas adaptables et demandent au prof d'apprendre chacune d'elle (de même pour divers ensembles exerciciels).

Quelques mots sur le logiciel MobiNet

MobiNet permet de définir l'aspect et le comportement d'une série d'objets graphiques (que l'on nomme *mobiles*, même s'ils ne bougent pas forcément). Sur les côtés de la [fenêtre graphique](#), des zones permettent, pour un mobile donné, de visualiser ou éditer ses variables descriptives (position, icône, taille, couleur...), et de "programmer" au moyen d'expressions proches des notations du cours ($x:x+1$, $x:\cos(t)$, $x:(x1+x2)/2$) ce qui change au cours du temps, ou quand on atteint un bord de l'écran, touche un autre objet, ou au démarrage.

Logiciel, [exemples](#) et articles, ainsi qu'un [recueil d'expérimentations](#), sont disponibles sur le site <http://mobinet.imag.fr>. En outre, on trouvera une présentation plus détaillée du logiciel et de nos expérimentations dans l'[article de MathémaTICE de novembre 2008](#).