

MobiNet : pratiquer les maths-physique par la simulation interactive

Fabrice Neyret(*)

MobiNet⁽¹⁾ désigne deux volets indépendants, concernant tous deux le lecteur à leurs titres respectifs :

- un logiciel (libre) pédagogique pour créer ou visualiser simplement de petites simulations graphiques interactives, basiques ou évoluées, par le prof ou par les élèves, en cours, TD, TP, TPE, en club, à la maison ou à distance ;
(NB : le logiciel, nombreux exemple compris, est téléchargeable, et disponible en versions Windows, Linux et MacOS. Une fois installé, il suffit de cliquer sur l'icône « MobiNet-server ». Le bouton « load session » permet de parcourir les exemples.)
- une série d'actions pédagogiques, hors les murs comme *in lyceo*, se basant sur une petite partie de ce logiciel pour faire pratiquer les maths et la physique, de manière participative et concrète, et visant à travailler l'ancrage dans le réel (qu'il s'agisse du sens, de la démarche de *modélisation*, de la fonction et de l'usage des connaissances scientifiques dans le quotidien).

1. MobiNet, le logiciel

Il permet de simuler graphiquement un ensemble d'objets mobiles (ou pas) créés interactivement par l'utilisateur (élève, professeur ou autre), dont ce dernier spécifie les variables d'état (position, icône, taille, angle, couleur, ...) et les « programmes » de comportement. Il se présente sous la forme d'une fenêtre plein-écran contenant une grande partie graphique pour l'affichage, et diverses zones servant à spécifier l'état et les « programmes » des mobiles. Pour simplifier la programmation, plusieurs petites zones dédiées sont prévues (initialisation, évolution au cours du temps, traitement éventuel de collisions, ...). Les programmes, généralement très courts, dans une syntaxe très simple et compatible avec les notations du cours, servent à modifier les variables d'état, de façon à simuler des trajectoires (par exemple « $x : x + dx$ »), des lois de la physique (par exemple « $dx : -dx$ » en cas de choc sur un mur), ou les comportements les plus divers (suivre la souris, un curseur, une fonction du temps, s'aligner entre deux autres objets, ...). Outre les fonctions mathématiques classiques, toute une série de fonctions permet d'alléger les formules (calcul de distances, vecteur de collision, ...). On peut ignorer la souris, la caméra, les lampes, ou s'en servir comme des mobiles, par exemple pour changer le référentiel affiché, ou tracer les trajectoires.

(*) Directeur de recherches au CNRS, LIK/IMAG-INRIA Alpes (Grenoble).

(1) <http://mobinet.imag.fr>

N.B. : Cet article est disponible en ligne sur le site de l'APMEP par le sommaire du numéro 480, sous le titre de l'article, ce qui permet de suivre les liens actifs soulignés dans le texte.

D'autre part, les mobiles d'un poste de travail peuvent interagir avec ceux d'autres postes, ce qui permet diverses modalités d'utilisation : travail indépendant, travail collectif en binôme ou plus, visualiser le travail d'un ou plusieurs postes sur l'écran maître – voire sur un vidéoprojecteur –, partage d'un « fond de carte interactif » commun à compléter sur chaque poste, etc.

On peut consulter sur notre site le bref mode d'emploi de l'[interface graphique](#), et du [langage des programmes](#). De nombreux exemples sont fournis ([en math](#), [physique](#), [bio](#), [jeux](#), ...), et nous comptons sur les utilisateurs en milieu enseignant pour étoffer notre [base en ligne](#) et l'adapter aux diverses situations pédagogiques.

Nous avons expérimenté ou vu utiliser le logiciel selon des modalités très différentes (cf. [recueil en ligne d'expérimentations](#)) :

- simple visualisation en cours (figures interactives, montages ou expériences virtuelles, cf. notamment parmi les exemples fournis) ;
- « expériences virtuelles » en TP, façon « table à coussin d'air », laissant les élèves expérimenter les effets de divers paramètres (cf. par exemple le [TP de physique sur les gaz parfaits](#), ou l'expérience de Galton fournie) ;
- exercices interactifs en TD (cf. par exemple le [TD de maths sur les vecteurs via une régates de bateaux](#)) ;
- exercices avec programmation très légère (la fonction clé à expérimenter, le paramètre à régler) dans un cadre tout prêt (cf. [TD de math sur les marches aléatoires](#)) ;
- exercices requérant davantage de programmation et donc une introduction partielle au logiciel (cf. plus bas nos TP « hors les murs » des semaines ingénieurs, le [projet d'ISI sur la marche artificielle](#), ou les activités en club ou TPE).

2. MobiNet, l'action pédagogique

Nous avons directement participé à trois expérimentations en TD de math-physique « in lyceo » au lycée Europole de Grenoble, se déroulant donc dans le contexte contraint du TD en classe (temps court, objectifs à atteindre, pas le temps d'apprendre un logiciel). Voir les rapports sur le [site](#). Par ailleurs, divers enseignants en France ont fait leurs propres expérimentations (cf [recueil en ligne](#)).

Mais dans cette section, nous développerons uniquement notre action pédagogique « hors les murs », lors des « *semaines de l'ingénieur* », en ce qu'elle est massive et récurrente, et que la liberté du hors-programme et du suivi nous ont permis de mettre le doigt sur beaucoup d'aspects essentiels. L'esprit de notre action en découle, de façon assez complète dans ce cadre là, et se déclinant en fonction des contraintes et possibilités pour les actions en contextes plus classiques.

En quelques mots, les *semaines de l'ingénieur* organisées par l'INPG depuis 2002 avec le soutien de la région Rhône-Alpes consistent à accueillir sur les campus de Grenoble pendant une semaine deux classes de Seconde par semestre (ou de Première, en 2002), afin de les aider à se projeter à tous points de vue (lieux, style de vie, contenus) dans les études scientifiques et techniques post-bac. Au cours de leur semaine, les élèves effectuent entre autres six ateliers thématiques d'une demi-journée dont le nôtre, en demi-classes. Notre *atelier MobiNet* touche ainsi 8 groupes de 15 à

20 élèves par an, soit environ 1 000 élèves à ce jour, issus essentiellement des différentes classes de Seconde de la grande agglomération grenobloise et du département. L'échantillonnage est donc représentatif de publics très divers (filles et garçons, lycées techniques ou généralistes, de quartiers favorisés ou non, classes entières sans sélection, tranches horaires allant du lundi matin au vendredi soir).

À noter qu'outre différents rapports de monitorat (cf. [site](#)), ces deux types d'expérimentations pédagogiques (avec évaluations) ont débouché sur deux publications dans les actes de conférences internationales orientées TICE, [Eurographics-Education'04](#) et [LNCS-Edutainment'06](#).

2.1 Objectifs pédagogiques de notre action aux semaines de l'ingénieur

Vu le cadre de cette opération, il y a plusieurs strates d'objectifs qui se superposent :

- L'objectif de l'INPG et de la Région est d'agir face la raréfaction des élèves dans la voie des études scientifiques et techniques, en leur montrant avant leurs choix d'orientation la diversité des débouchés en termes de contenus thématiques, de métiers, et un aperçu de la vie d'étudiant du Supérieur. Concernant notre atelier MobiNet, les « prétextes » un peu « publicitaires » annoncés aux lycéens dans le programme de leur semaine au campus sont de type « *comprendre comment fonctionnent les jeux-vidéos* » et « *initier à la programmation* ». Ils n'en savent guère plus en arrivant.
- Même si ces objectifs sont bien présents, nous nous fixons d'abord une mission vulgarisatrice des sciences, participant à déconstruire les objets du quotidien dont la perfection et la complexité encouragent une certaine « pensée magique » et purement consummatrice, alors qu'ils relèvent pourtant de savoirs pas si étrangers aux disciplines enseignées. Ce fossé n'est sans doute pas sans rapport avec le désintérêt croissant des élèves pour les filières scientifiques.
- En outre, nous cherchons à **montrer l'importance des notions vues en cours**, lesquelles servent à expliquer le monde, construire les logiciels quotidiens, conduisent à une foule de métiers et débouchés ayant un impact (notre premier sondage montre que les élèves *ne font pas le lien* de leurs apprentissages ni avec la science médiatisée, ni avec les métiers, objets et logiciels de leur environnement !).

D'un point de vue disciplinaire plus profond, l'objectif est de deux ordres :

- **permettre aux élèves de s'approprier véritablement les notions vues en maths et en physique**, en donnant à celles-ci un sens concret (et une utilité, au travers de scénarios ludiques à réaliser, nécessitant de manipuler des équations et coordonnées). Notamment, développer des intuitions (absentes), liés au sens : effet des paramètres, du signe, différence de l'effet d'une addition ou d'une multiplication, d'une position ou d'une variation, ... Notre expérience montre qu'ils connaissent (fragilement) sans réelle appropriation la plupart des notions, même les plus basiques : la plupart des « bons » élèves ne savent pas s'il faut additionner ou multiplier pour positionner un objet « un peu à droite de la souris » ! Le mille-feuille des connaissances accumulées semble parfois reposer sur du sable...

Dans le cadre de cette manip, nous n'allons pas plus loin que mieux asseoir les notions vues en cours (ce qui n'est déjà pas si mal !), mais le même esprit s'applique facilement à un TP à l'objectif étroit : s'approprier en interagissant concrètement avec son savoir, par la médiation du simulateur (cf manips *in lyceo*).

- **initier les élèves à la démarche scientifique** (comme moyen de comprendre le monde et, pour commencer, de traiter un problème simple exprimé en français !) : les objets visibles se caractérisent par différents attributs mesurables, correspondant aux variables d'état, qui constituent ainsi un modèle mathématique du « réel » (à imiter, pour une simulation physique, ou à créer, pour un jeu). Faire évoluer un objet revient à modifier au cours du temps ses variables d'état, ce qui s'exprime par des affectations (a minima de type $x : x+1$, ou $x : 10*\cos(t)$), permettant entre autres de simuler des modèles physiques ou cinématiques de comportement. Mais ceci suppose d'arriver à formaliser, puis mathématiser, sa pensée (traduire une description statique puis dynamique en « langage mathématique »). Or, notre expérience nous a confronté au fait que les élèves ont une pensée extrêmement floue, et ont le plus grand mal non seulement à traduire du français en maths, mais aussi à préciser les concepts, même en français (que signifie « rebondir » ou « en miroir » ?), ne serait-ce que la différence entre une position (x) et une variation (dx) ou, comme vu plus haut, entre un décalage et un facteur d'échelle.

Les motivations didactiques sous-jacentes sont multiples :

- L'importance de **manipuler** soi-même pour conforter l'apprentissage (appropriation) n'est plus à démontrer.
- Manipuler soi-même et avoir un **but concret** est motivant pour l'élève (alors qu'a contrario on reproche souvent aux programmes scolaires d'être trop abstraits et désincarnés, au goût des élèves d'aujourd'hui).
- « Jouer » sur les coefficients (i.e. à l'intérieur ou en facteur d'un cosinus, additif ou multiplicatif, positif ou négatif) permet de se constituer des **intuitions** liant le sens d'un paramètre numérique (et de ses variations) à un comportement physique ou mathématique (amplitude, fréquence, échelle, décalage, ...).
- Les élèves apprennent par **essai-erreur** : l'erreur est permise, n'entraîne en aucun cas une sanction, et permet même de comprendre mieux (mais nous incitons les élèves à expliquer a posteriori les comportements inattendus. Le déclic vient parfois par là).
- La démarche suggérée correspond précisément à la façon dont nombre d'ingénieurs, programmeurs et chercheurs manipulent ces **notions dans leur métier**, alors que les élèves n'ont généralement aucune idée que c'est à ce type d'usage que leur savoir (appris « scolairement ») leur servira – s'ils ne se détournent pas auparavant de la filière scientifique.

2.2 Contenu, déroulé et retours du TP *semaines de l'ingénieur*

À ce jour nous avons déployé ce TP sur environ 1 000 élèves, essentiellement de Seconde (en décembre ou en juin), de toutes origines culturelles, sans aucune préparation préalable. Outre le TP proprement dit, la demi-journée de 3 heures

commence par une introduction au sujet dans le contexte de l'opération (dont la présentation du lieu, du profil des jeunes encadrants, souvent eux-mêmes étudiants de Master ou de doctorat), comporte une pause, suivie d'une petite démonstration informatique évoluée (extrapolante) dans une salle annexe. Le temps effectif dévolu au TP est donc d'environ 2 heures.

Ce temps du TP comprend des intermèdes « magistraux » (surtout au début) et des parties « exercices » (à 1 ou 2 élèves par machine, avec 3 à 4 encadrants dans la salle dont un « prof », un assistant sur le poste maître vidéo-projeté, et des répétiteurs). À mi-parcours (après la pause + démo), on bascule d'exercices réalisés séparément sur chaque poste à un exercice coopératif par groupes de 2 postes (soit 2 à 4 élèves), pour réaliser les 2 camps d'un jeu de type « pong » (le jeu de tennis des années 80). C'est un temps très « dynamique » où les élèves s'impliquent, communiquent et se ré-explicitent intensément !

La première partie nous permet, très progressivement, à la fois d'entrer dans le logiciel par petites touches, d'amener les élèves à l'activité (oser répondre, oser essayer sur machine), tout en faisant travailler les appropriations des notions basiques de maths-physique mentionnées plus haut, c'est-à-dire de se donner les moyens d'une démarche de modélisation : comprendre un problème concret en terme de concepts manipulables, et rendre intuitive « tactilement » la manipulation des outils mathématiques pour traduire ces concepts en équations ou programmes. Certaines questions introductives sont traitées en groupe : rendre intuitive l'effet de la valeur et du signe sur le mouvement, l'élaboration du mouvement circulaire, ... Les petits exercices à réaliser individuellement consistent d'abord à déplacer un mobile en ligne droite d'un point à un autre (donnés), puis le faire rebondir ou cycler sur les bords, puis afficher le mobile « un peu à droite » de la souris, ou se déplaçant « en miroir (vertical) » par rapport à la souris, ou tournant autour, etc.

La seconde partie comporte encore l'introduction de quelques concepts du logiciel (collisions, conditions), mais vise surtout à une mise en application sur un exemple moins « scolaire » et plus voisin d'objets « magiques » de leur quotidien (jeux vidéos).

Le polycopié du TP en version allongée est disponible [en ligne](#).

Dès que possible, les petits exercices sont fournis par lots, et le jeu final comporte des détails optionnels : ceci permet aux élèves de progresser à des rythmes différents, et d'avoir néanmoins abouti à quelque chose au moment où l'on resynchronise le groupe pour passer à la suite.

Un questionnaire détaillé a été effectué après les trois premiers TP. Il est analysé dans le premier [rapport de monitorat](#), et dans la publication à [EG-Education'04](#). Quelques (rares) élèves tentent de raisonner « sur papier », puis vérifient sur programme, progressant par étapes. Plus généralement, au début il faut un peu pousser les élèves à tester pour vérifier. D'autres essaient tout et n'importe quoi, pour se rendre compte rapidement (en général) qu'un peu de méthode s'avère plus efficace. Pour ceux qui persistent, l'appui discret sur une touche permet de désactiver les exemples.

Parmi les divers types de comportements rencontrés au sein des élèves, on en trouve

certains qui demandent une petite adaptation :

- de « bon élèves » essaient de plaquer d'un bloc le plan d'exercices de maths retenus par cœur, façon *Topaze* (par exemple, caser à tout prix l'équation de droite quelque part), et mettent un temps à adapter leurs savoirs à des objectifs « concrets » (faire avancer l'objet en ligne droite). Beaucoup de ceux-ci finissent par *découvrir* que ces concepts – pour lesquels ils avaient des facilités – servent aussi à faire des choses concrètes, et ne sont pas qu'un jeu d'esprit permettant d'obtenir de bonnes notes !
- de « mauvais élèves », certains de leur « nullité » (avec un discours parfois explicitement auto-dénigrant), essaient de se trouver une place de second passif dans un binôme, et il faut les « orienter » vers une machine sans binôme et les « encourager » un peu pour qu'ils se rendent finalement compte qu'ils sont capables comme les autres, et peuvent mobiliser un certain savoir, auto-valorisant et motivant. (Cet effet de « repêchage » de motivation d'élèves plutôt passifs s'est également retrouvé même lors de TD en classe plus traditionnels et restreints, sans programmation, mais qui partageaient l'aspect participatif et le caractère concret, par exemple la régata avec courants dérivants du TD de maths sur les vecteurs).

Quel que soit leur niveau, il semble que la plupart des élèves ne soupçonnaient pas que l'ingénierie, les jeux vidéos, voire la description du monde réel, pouvaient avoir un rapport avec les notions vues en maths et physique ! Pour les « bons », cela renforce un intérêt qu'ils avaient déjà (et cela les rassure, voire les motive par le lien établi entre leur goût pour des disciplines abstraites et des possibilités professionnelles futures, qu'ils ne connaissaient souvent pas, et n'envisageaient parfois pas). Pour quelques rares « faibles », le niveau mathématique minimal requis était encore trop haut, et la motivation proposée trop éloignée de leur propre univers... Pour ceux-là, il faudra encore réfléchir à des approches plus adaptées, en groupes plus petits. Par ailleurs nous avons des craintes quant à la réceptivité d'une motivation « jeux vidéos » par les filles, qui s'est avérée infondée. À noter que pour beaucoup d'élèves sondés, l'exercice était passionnant et ludique (ils en parlent parfois encore aux profs des mois après) mais ... sans rapport avec l'activité, et « (hélas) pas imaginable au lycée ». Quelle conception se font-ils donc du corpus enseigné et de ses objectifs ?

3. Conclusion

Le TP des semaines de l'ingénieur est bien sûr loin des contraignantes conditions de la classe : il est long, libre par rapport au programme, sur-encadré, ... Il permet cependant de voir et de redresser un certain nombre de lacunes cognitives inquiétantes dans la maîtrise du sens, l'appropriation, et donc la solidité et la « fluidité » de la construction des savoirs (on peut espérer que ce petit travail d'« assise » aura un peu facilité l'empilement des apprentissages suivants, au moins un moment). Par ailleurs, il nous aide à mieux concevoir les stratégies pédagogiques à utiliser pour les TP plus contraints. Pour le contenu, déroulé et retour de ces expériences, se reporter aux rapports de monitorat sur le [site](#).

Cet effort de « transposition à la classe » est encore en grande partie à faire concernant les différentes notions en maths, physique (voire aussi ISI, techno, bio), mais nous comptons beaucoup sur l'expérience d'enseignants utilisateurs, et de leurs retours, notamment sous forme de TP à partager avec la communauté via le site web ([nous écrire](#)). Cependant, expérimenter une manip en salle informatique seul avec une trentaine d'élèves ne s'improvise pas : l'idéal pour un enseignant voulant se « lancer » est sans doute de commencer avec une base toute faite (puisée dans les exemples fournis, nos TP, ou ceux partagés par les utilisateurs), puis de les modifier, les interpoler, avant de se lancer dans un scénario pédagogique complètement nouveau (ce qui s'avère, en fait, la tâche la plus difficile), c'est à dire cohérent et utile au cours faute de quoi les élèves se seront amusés (et le prof fatigué), mais une heure précieuse aura été « dépensée » sans avancer sur le sacro-saint programme. Notre TP « généraliste » montre que des scénarios extrêmement simples et dépouillés sont néanmoins très efficaces.

Les programmeurs et animateurs de MobiNet sont des enseignants-chercheurs ; il n'y a pas de démarche commerciale, le logiciel est libre. Par contre, autant ils peuvent (en temps partagé) améliorer le logiciel et répondre aux questions en fonction de leur expérience (mobinet@imag.fr), tout en animant la communauté via le site et les mailing-listes, autant ils ne peuvent construire toutes les situations pédagogiques : l'outil est fait pour être approprié par les professeurs, vous êtes bienvenus dans l'aventure ! N'hésitez pas à nous faire partager vos expériences, même modestes.

P.S. Fabrice Neyret présente une autre approche de Mobinet sur EducMath@ :
<http://educmath.inrp.fr/Educmath/la-parole-a/f-neyret/fneyret.pdf>