

Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour des élèves de seconde

par **Didier COINCE**

UMR ICAR - INRP - Lycée Parc Chabrières - 69600 Oullins

didier.coince@yahoo.fr

Anne-Marie MIGUET

Lycée Saint Exupéry - 69004 Lyon

anne-marie.miguet@ac-lyon.fr

Stéphane PERREY

Lycée Brossolette - 69100 Villeurbanne

Stephane.perrey@ac-lyon.fr

Tristan RONDEPIERRE

Lycée Descartes - 69230 Saint-Genis Laval

tristan.rondepierre@ac-lyon.fr

Andrée TIBERGHIE

UMR ICAR - Directrice de recherche CNRS

andree.tiberghien@univ-lyon2.fr

et **Jacques VINCE**

UMR ICAR - INRP - Lycée Ampère - 69002 Lyon

jvince@ac-lyon.fr

RÉSUMÉ

Cet article propose, décrit et justifie une séquence d'enseignement de seconde ayant pour but de profiter d'une partie du programme actuel de la classe de seconde pour proposer aux élèves une première approche de la nature et du fonctionnement de la physique, de ses objets d'étude et de ses limites. Cette démarche, conforme aux programmes en vigueur, permet aux enseignants d'initier leurs élèves à l'activité de modélisation et de mettre en évidence sa place centrale en physique ; les élèves sont capables de la comprendre si les enseignants prennent le temps d'explicitier les choix faits lors de cette démarche de modélisation. Les auteurs donnent aussi les points de vue, souvent proches, d'élèves de seconde et d'enseignants sur ce qu'est la physique et sur ce qu'est un modèle. Comme aboutissement de ce travail, une carte conceptuelle est proposée à l'enseignant pour permettre une analyse plus fine des démarches classiques demandées aux élèves lors de leur activité en classe de physique. L'utilisation de cette carte est illustrée sur une courte partie de la séquence proposée.

INTRODUCTION

Avec l'avènement de la science moderne, les réflexions sur les démarches des physiciens et sur le fonctionnement de la physique se sont considérablement accrues. Ces problématiques peuvent être celles des physiciens eux-mêmes, mais sont devenues si précises et si complexes au cours de l'histoire qu'elles font maintenant partie d'une discipline en tant que telle, l'épistémologie. Engager de telles réflexions, même modestes, avec les élèves en train d'apprendre de la physique peut permettre de leur faire prendre conscience des démarches qu'on leur demande souvent implicitement de mettre en œuvre. Ce peut être l'occasion de leur faire réaliser que la physique n'est pas si arbitraire qu'ils le croient et de les aider à mieux cerner ce que l'on attend d'eux [1].

C'est ce que nous proposons de faire en classe de seconde à propos de la partie I-1 de physique « Exploration de l'espace – De l'atome aux galaxies », par une séquence d'enseignement⁽¹⁾ élaborée avec ce double objectif : prendre en charge les directives du programme officiel et amorcer cette réflexion. Toutes les compétences exigibles inscrites au BOEN pour cette partie sont prises en charge. Il ne s'agit donc pas de construire une nouvelle partie de programme. La séquence a été entièrement testée en classe et ne semble pas poser de problème majeur aux élèves, mais au contraire les intéresser.

1. ENSEIGNER AU LYCÉE LA NATURE DE LA PHYSIQUE ET SON FONCTIONNEMENT

Envisager un tel enseignement impose d'analyser sa conformité avec le programme officiel, de préciser ce que nous entendons par modélisation et comment nous comptons expliciter notre démarche aux élèves. Cela demande également de se questionner sur la capacité des élèves à apprendre un contenu qui est rarement enseigné puisqu'il porte sur le fonctionnement de la discipline et non sur les contenus disciplinaires.

1.1. Quel contenu officiel au sujet de la nature et du fonctionnement de la physique ?

On trouve relativement peu de compétences explicites sur la nature et le fonctionnement de la physique dans les programmes de lycée, mais on peut y lire quelques compétences, parmi celles nommées transversales, liées à ces aspects.

Notons tout d'abord que la modélisation est explicitement mentionnée dans les préambules des programmes.

Extraits du préambule du programme de seconde [2]

« La logique pédagogique que sous-tendent ces nouvelles approches [de l'enseignement de la physique] est que le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre, et que l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire.

(1) http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames/seconde_partA.html

L'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique. Passer du concret à l'abstrait, de l'observation à sa traduction formalisée, demande que l'on soit capable d'extraire du monde réel une représentation simplifiée, le degré de simplification dépendant du niveau où l'on se situe. La modélisation fait appel à des langages symboliques qui, suivant les cas, peuvent être des diagrammes, des schémas ou des expressions mathématiques. Le professeur doit s'efforcer sur des exemples simples de montrer comment se fait la modélisation, ceci dans toutes les sciences. [...] Il faut cependant insister sur le fait que la pratique expérimentale dans l'enseignement ne favorise la formation de l'esprit scientifique que si elle est accompagnée d'une pratique du questionnement et de la modélisation ».

Ce texte, de par son statut, exprime une recommandation forte de l'institution scolaire relative à l'enseignement de la physique. Le point de départ de notre réflexion est l'apparent décalage entre ces recommandations et les contenus spécifiques de programmes ainsi que les pratiques d'enseignement. Ainsi, les contenus, et les connaissances et savoir-faire exigibles, figurant au BOEN vont consister davantage en une série de connaissances disciplinaires regroupées en grands thèmes de la discipline qu'en la formulation de savoirs « épistémologiques » à acquérir en tant que tels à partir des thèmes d'étude habituels. Concernant les pratiques effectives, en nous basant sur les échanges que nous pouvons avoir lors des journées de formation continue que nous encadrons et sur l'analyse des manuels scolaires, il nous apparaît que le fonctionnement de la physique et particulièrement la modélisation telle qu'elle est évoquée dans les préambules des programmes n'est pas vraiment présente. Nous en concluons que la modélisation, et plus globalement le fonctionnement général de la science, n'est que très rarement enseigné explicitement. Doit-on en conclure que les concepteurs des programmes, et les enseignants eux-mêmes, considèrent que l'apprentissage de contenus induit implicitement un apprentissage de la façon dont ils ont été construits ou dont ils sont organisés ? Ceci nous paraît difficilement tenable, surtout lorsque ces connaissances ne donnent lieu à aucune évaluation.

Nous pensons au contraire qu'une approche qui vise à enseigner le fonctionnement de la physique doit induire la présence explicite de « contenus » et de « connaissances et savoir-faire exigible » dans les colonnes correspondantes du programme. Ceci ne veut pas dire que ces contenus ou connaissances seraient enseignés indépendamment de thèmes disciplinaires classiques (électricité, mécanique, optique...): au contraire, ils doivent pouvoir prendre sens dans l'apprentissage de la discipline elle-même.

Nous pouvons d'ailleurs faire l'hypothèse que les recommandations officielles sur ce sujet pourraient être bien plus explicites dans les années à venir qu'elles ne l'ont été jusqu'à présent, simplement cantonnées aux préambules. Nous détaillerons les compétences mises en jeu dans notre progression en distinguant celles relevant du programme officiel de celles que nous avons ajoutées, considérant qu'elles étaient incontournables pour mener à bien notre démarche.

1.2. Pourquoi un tel enseignement ?

1.2.1. L'activité de modélisation au cœur de la physique

Comme nous l'avons vu précédemment, l'activité de modélisation est considérée, particulièrement dans les programmes, comme le fondement de notre discipline. Vouloir la passer sous silence ou le faire sans le dire ne peut que renforcer la sensation d'arbitraire ressentie par nos élèves (pour des développements sur cette question, cf. [3], [4], et [5]).

L'une des caractéristiques essentielles de la physique enseignée est de proposer des théories et des modèles qui permettent d'analyser ou d'interpréter les situations matérielles qui constituent leur champ de validité ; ces modèles permettent parfois de prévoir certains événements. Pour y parvenir, le physicien doit souvent simplifier, idéaliser, en modélisant la situation expérimentale, même lorsqu'elle est élémentaire. Il doit faire des choix et accepter de perdre des données objectives et d'en privilégier d'autres. Nous pensons que ces démarches de modélisation sont dans la même perspective que celles des chercheurs et que l'élève peut ainsi percevoir progressivement comment fonctionne cette discipline. Nous pouvons considérer que les modèles sont des intermédiaires qui mettent en relation les objets et les événements (champ empirique) d'une part et les théories et les lois (champ théorique).

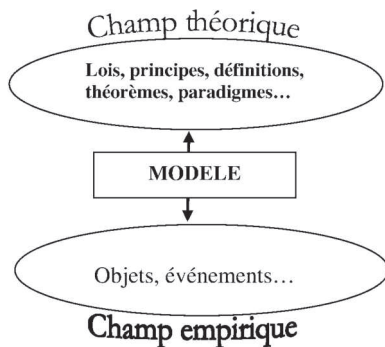


Figure 1 : Le modèle en physique joue un rôle d'intermédiaire entre le champ théorique et le champ empirique (inspiré de Suzanne BACHELARD [6]).

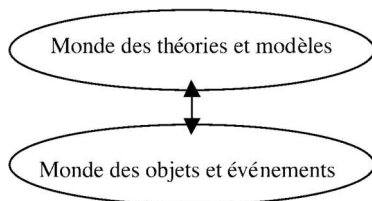
Si le professeur peut ne pas vouloir distinguer pour ses élèves théorie et modèle, il peut cependant garder à l'esprit la distinction suivante relativement classique dans la littérature épistémologique et qui aura son importance pour la pratique enseignante :

- ◆ La théorie a une valeur explicative d'observations très diverses les unes des autres, explication validée par les faits ; c'est le cas de la théorie de la mécanique newtonienne par exemple.
- ◆ Le modèle a une valeur descriptive et interprétative pour un ensemble donné de situations, en nombre plus restreint que celles expliquées par une théorie. C'est un outil

pour représenter et faire fonctionner la ou les théories auxquelles il est lié. En ce sens, il constitue la composante « opératoire » de la théorie. C'est le cas par exemple du modèle de la chute libre. Un modèle est exprimé par des représentations symboliques variées.

En physique, dans l'enseignement secondaire, la théorie et les modèles correspondants sont bien établis scientifiquement, nous avons fait le choix de les regrouper. Le texte ci-dessous est une reformulation simplifiée, fonctionnelle au niveau de l'enseignement secondaire, de la description détaillée ci-dessus. Il peut être distribué aux élèves, si l'enseignant en ressent le besoin.

Un modèle est un ensemble de connaissances, abstraites, qui utilise des concepts et souvent des relations mathématiques. Il est extrait, en fonction de la situation à étudier, d'une ou plusieurs théories plus générales. En physique et en chimie, pour décrire, expliquer et prévoir des événements, on utilise des modèles qu'on doit mettre en relation avec les objets et les événements du monde matériel.



Le modèle a un champ de validité qui englobe toutes les situations et tous les « problèmes » qu'il peut traiter. Hors de ce champ de validité, on doit avoir recours à un modèle plus général ou à un modèle différent. Les modèles actuels ont été construits progressivement par les physiciens au cours de l'histoire. Un modèle est donc quelque chose d'évolutif (qui s'affine ou est abandonné) au fur et à mesure de l'avancée de la science. Un modèle est considéré comme valide tant qu'il n'est pas mis en défaut par des observations ou des mesures. Deux modèles différents peuvent être utilisés pour une même situation, mais selon la question qu'on se pose, un modèle peut être plus adapté qu'un autre pour répondre : on parle alors de pertinence du modèle.

1.2.2. *Expliciter à l'élève les choix et les démarches des physiciens et des enseignants*

Il nous apparaît essentiel d'expliciter à l'élève les choix et les démarches des physiciens ainsi que les choix du professeur pour concevoir et modéliser une expérience. Nous avons déjà été amenés à détailler ces choix précédemment [4].

Distinguer « le monde des objets et événements » et « le monde des modèles » permet d'expliciter les démarches du physicien et donc d'éviter d'enseigner de façon trop dogmatique une physique que l'élève risque alors de ressentir comme arbitraire. Cette distinction est explicite dans la progression proposée aux élèves. Nous ne devons en effet pas nous contenter de saupoudrer nos activités de commentaires concernant le fonctionnement de notre matière, mais bien considérer que la compréhension de ce fonctionne-

ment fait partie intégrante des activités et de la progression proposée. Les relations entre objets-événements et modèles, difficiles pour les élèves, mais pourtant enjeux d'un apprentissage effectif, peuvent alors être débattues en classe. Cette explicitation peut concerner les choix des physiciens dans l'histoire des sciences quand ils construisent des modèles. Elle peut également porter sur les raisons pour lesquelles une situation donnée est modélisée de telle ou telle façon et ce que l'on gagne ou perd à procéder ainsi. On peut par exemple décrire une même situation avec deux modèles différents selon l'objectif visé. On peut aussi illustrer le passage d'un modèle à un autre.

Citons ici, pour appuyer nos propos, la deuxième activité proposée aux élèves dès le début de l'année (cf. progression en annexe). Elle prend la forme d'un texte relatant l'évolution des modèles pour la description de l'univers avec la nécessité de passer du modèle de Newton au modèle d'Einstein. On illustre ceci en indiquant aux élèves que le mouvement de Mercure ne pouvait être interprété avec le modèle de Newton, mais a pu l'être grâce au modèle d'Einstein.

Le choix de l'expérience (matériel, déroulement) et des tâches qui l'accompagnent est la plupart du temps ignoré de l'élève, car dicté par des impératifs qui lui sont étrangers, comme le modèle sous-jacent, des questions de coût ou d'organisation institutionnelle. L'élève risque d'être dérouté si l'on ne prend pas le temps de lui expliciter les choix prévalant à l'élaboration du dispositif ou si on ne lui montre pas l'intérêt de procéder de cette manière. Ce sera particulièrement le cas avec les montages « clés en main » proposés par les fournisseurs de matériel pédagogique ? Ces dispositifs mettent l'accent sur les éléments pertinents pour le modèle, mais à ce stade ignorés de l'élève, et gomment ce qui est accessoire pour gagner du temps et éviter le tâtonnement. Nous avons fait le choix dans le dernier chapitre de notre progression (cf. annexe) d'aborder ce lien entre expérience et modélisation.

Par exemple, la première activité de ce chapitre concerne le modèle du pendule simple⁽²⁾. Le choix du matériel (masse presque intégralement à l'extrémité, fil inextensible, éventuellement rapporteur fixé « comme il faut » pour repérer l'angle...) est dicté par le champ de validité du modèle à construire, mais reste très arbitraire pour l'élève s'il n'a pas l'occasion de comprendre pourquoi on a étudié une telle situation déjà très « épurée ». Ce mystère qui entoure le dispositif est renforcé par les impératifs de mesure imposés par l'enseignant : petit angle, fil pas trop court, petit objet... Si lorsque l'on aboutit à la relation de la période de ce pendule, on prend le temps avec l'élève de se poser la question de la validité de ce modèle, il prendra alors conscience de l'intérêt des conditions de l'expérience et fera une étape de plus dans sa compréhension du fonctionnement de la physique qu'il verra peut-être alors comme un peu moins arbitraire.

En d'autres termes, nous considérons qu'il est profitable pour l'élève d'avoir conscience du fait que l'expérience a souvent été construite dans une démarche de modélisation. Plus généralement, l'explicitation et la justification des choix sous-jacents à une expérience et à sa modélisation évitent de déconcerter l'élève qui aurait probablement fait d'autres choix.

Enfin, les activités de modélisation s'accompagnent souvent d'un langage utilisant

(2) Il nous est apparu plus cohérent, au regard de nos objectifs, d'intégrer au cours de cette première partie de l'année cette situation évoquée par le programme dans la partie sur le temps.

des termes qui ont un sens différent du sens quotidien [4]. Plus systématiquement, elles mettent en jeu une représentation symbolique qui, elle aussi, implique des choix. C'est le cas d'une schématisation légendée proche de ce que l'élève a sous les yeux. C'est aussi le cas d'une représentation symbolique beaucoup plus riche du point de vue du modèle, mais beaucoup plus éloignée, d'un point de vue figuratif, de la situation matérielle. Chaque représentation permet de mettre en avant un ou plusieurs aspects du modèle ou de la situation décrite, et ce choix n'est jamais anodin. Ainsi, les changements de représentations, s'ils sont explicités, aident également l'élève à prendre conscience des démarches de modélisation. Ce changement de représentation est aussi pris en charge dans l'activité citée ci-dessus sur le pendule au cours de laquelle nous proposons explicitement aux élèves de faire des liens entre l'écriture mathématique d'une relation et la représentation graphique associée à cette écriture sans jamais perdre de vue le lien avec la physique.

1.3. Quels sont les points de vue des enseignants sur la nature et le fonctionnement de la physique ?

La progression de début de seconde proposée s'appuie en partie sur les résultats d'un questionnaire mis en ligne en mars 2006 et destiné aux professeurs (198 réponses au moment de la rédaction de l'article dont 157 d'enseignants de sciences physiques en collège, lycée ou supérieur). Pour améliorer la représentativité de l'échantillon, ce questionnaire peut encore être rempli en ligne⁽³⁾.

L'idée selon laquelle l'activité de modélisation est un élément clé de la physique est largement partagée par les enseignants de physique-chimie (cf. tableau 1).

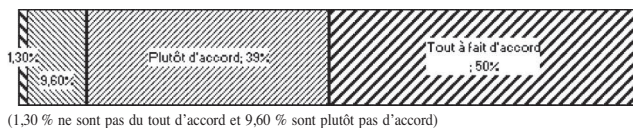


Tableau 1 : Degré d'accord de 157 enseignants de physique-chimie sur l'affirmation « Faire de la physique nécessite d'utiliser des théories, des modèles, et des lois pour décrire et interpréter le monde autour de nous ».

De même, le rôle de l'expérience et de la mesure est clairement affirmé (cf. tableau 2).

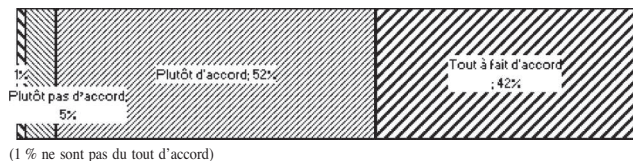


Tableau 2 : Degré d'accord de 157 enseignants de physique-chimie sur l'affirmation « Faire de la physique conduit à mettre au point et réaliser des expériences qui nécessitent souvent de faire des mesures ».

(3) http://enquetes.inrp.fr/sesames_enquete/sesames.htm

Le fait que plusieurs modèles puissent être valides pour décrire un phénomène donné est presque unanimement accepté : 97,5 % sont plutôt d'accord ou tout à fait d'accord avec cette affirmation.

Nous avons également cherché à mieux connaître la perception des enseignants au sujet de la notion de modèle. Nous avons ainsi demandé de choisir, en les classant, trois propositions de définitions de « modèle en physique » parmi cinq proposées. Les résultats sont regroupés dans le tableau 3.

Un modèle en physique c'est :

	Classement en 1 ^{ère} position (effectif)	Classement en 2 ^e position (effectif)	Classement en 3 ^e position (effectif)	Nombre de citations
Un élément d'une théorie utilisé en science	6 (4 %)	14 (9 %)	27 (17 %)	47
Une situation idéale de référence	15 (9 %)	24 (15 %)	28 (18 %)	67
Une façon de décrire quelque chose de réel à l'aide d'éléments théoriques	74 (47 %)	37 (24 %)	26 (17 %)	137
Une simplification du réel	28 (18 %)	38 (24 %)	42 (27 %)	108
Une représentation du réel à l'aide de schémas et de formules	34 (22 %)	44 (28 %)	33 (21 %)	111
Non réponse	0	0	1	
Total / réponses	157	157	156	

Tableau 3 : Le tableau donne les effectifs pour chaque position (N=157) ;

Presque un enseignant sur deux a choisi en première position « le modèle est une façon de décrire quelque chose de réel à l'aide d'éléments théoriques », ce qui correspond plutôt bien à la façon dont nous avons caractérisé le modèle précédemment. On retrouve dans cette proposition prédominante les deux facettes du modèle telles que les explicite par exemple BACHELARD [6] : « *Le modèle dans son acception la plus abstraite, fonctionne d'une manière ostensive, et le modèle, dans son acception la plus concrète de modèle visualisable, laisse transparaître la dominante théorique* ». Remarquons ici que le choix fait dans notre enseignement de ne pas distinguer théorie et modèle réfère à la première proposition (un élément de théorie utilisé en science) qui est la définition la moins citée de toutes. Il est indispensable d'avoir conscience que finalement c'est plutôt cette définition que nous mettons en œuvre dans nos classes. Les deux dernières propositions sont assez largement choisies, ce qui nous semble révéler le type de rôle joué par les modèles à l'œuvre dans l'enseignement. Elles nous semblent cependant peu pertinentes, car masquant la distinction entre objets-événements et théorie-modèle. Il y a de notre point de vue une réelle rupture à marquer entre ce qu'on perçoit (les objets et les événements) et la description ou l'interprétation qu'en fait la physique.

Certains items de ce questionnaire ont été intégrés au premier chapitre de notre

progression afin d'être proposés aux élèves, nous évoquerons les réponses des élèves par la suite.

1.4. Les élèves sont-ils prêts ?

Un travail de recherche effectué par TOIX [7] au sein de notre équipe a montré que des élèves de début de seconde sont capables d'avoir des points de vue cohérents sur les modèles en physique, leurs fonctions, leur évolution ou encore sur la façon dont ils sont accrédités par la communauté scientifique. Citons ici une partie de la conclusion de ce travail : « ...*Les élèves ont un point de vue au sujet des modèles de la physique [...]. De manière générale, ces points de vue ne se bornent pas à des idées élémentaires et naïves, mais correspondent plutôt à des éléments de réflexion construits sur la nature, les propriétés et les fonctions des modèles* ».

Plus précisément, le taux de non-réponse est extrêmement faible et les réponses permettent de dégager les quelques points suivants. Les 216 élèves interrogés :

- ◆ pensent très majoritairement :
 1. qu'un scientifique doit veiller à ce que le modèle qu'il construit tienne compte de **toutes** les caractéristiques du phénomène qu'il étudie (83 %) ;
 2. qu'un phénomène peut être décrit par **plusieurs** modèles (72 %) ;
 3. qu'un modèle peut être modifié, qu'il est susceptible d'évoluer dans le temps (88 %) ;
 4. qu'un modèle peut **toujours** être utilisé pour faire des prévisions sur un objet ou un événement (72 %) ;
 5. qu'un **ensemble de scientifiques** doit être d'accord pour décider qu'un modèle est valable (89 %) ;
- ◆ perçoivent les différentes fonctions des modèles de la façon suivante : copier (65 %), décrire (76 %), expliquer (86 %), prévoir (49 %) ;
- ◆ savent catégoriser, dans des cas « simples », des mots ou des expressions selon qu'ils réfèrent plutôt à des concepts ou plutôt à des objets et des événements. Nous avons cependant assez peu d'informations sur les critères précis qui conduisent les élèves à faire cette distinction.

L'approche relativement construite qu'un élève a de la modélisation en début de seconde nous apparaît donc comme une base de travail intéressante qu'il faut cultiver au moins tout au long de l'année. Le programme de seconde se prête assez bien à cette démarche tant en physique qu'en chimie. Le travail cité ci-dessus concernait des élèves de début de seconde. Il est probable que l'approche d'un élève de collège (cinquième ou quatrième par exemple) soit plus « hésitante » sur un sujet tel que la modélisation. Mais il ne faut pas perdre de vue que souvent nous sous-estimons la capacité de nos élèves à avoir une opinion sur des sujets qui ne sont pas aussi délicats pour nos élèves que nous l'imaginons. Il peut être d'ailleurs intéressant d'essayer d'adapter la démarche décrite ici à un niveau de collège, en lien par exemple avec les enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre ou de Mathématiques.

2. LA SEQUENCE PROPOSÉE AUX ÉLÈVES

2.1 La modélisation au cœur de la progression

Conformément à ce qui a été dit précédemment, la progression que nous proposons est construite avec l'objectif d'explicitier aux élèves le fonctionnement de notre matière en faisant surgir au fil des activités les différents aspects de la modélisation. La première partie du programme de seconde permet traditionnellement d'introduire de nombreux outils qui sont souvent considérés comme purement techniques et pratiques tels que les chiffres significatifs, les puissances de dix, l'ordre de grandeur, ou encore l'établissement et l'exploitation des représentations graphiques. Il nous est apparu essentiel de redonner à ces outils leur statut dans le fonctionnement de la discipline, pour bien insister sur le fait qu'ils font totalement partie de l'activité de modélisation. La mesure étant au cœur de cette première partie de programme, nous l'avons choisie comme point d'appui pour l'enseignement à la fois du fonctionnement de notre matière et des outils que nous venons de citer. Mesurer n'est pas un acte anodin pour le physicien et cet acte n'est souvent pris que dans son aspect purement expérimental sans explicitation de ce en quoi il consiste en physique. Notre séquence d'enseignement est organisée d'un point de vue conceptuel en trois groupes, tous liés à la modélisation :

- ◆ Un premier groupe, précurseur du modèle, correspond au monde des objets et des événements, il est en lien direct avec la situation matérielle étudiée et permet de préciser le champ de validité du modèle.
- ◆ Le deuxième groupe, relié au premier, peut être identifié comme étant le modèle. On y trouve la notion de grandeur qui est liée aux relations formelles, aux représentations graphiques ou schématiques.
- ◆ Le troisième groupe regroupe les outils de modélisation, tels que les chiffres significatifs, la notion d'ordre de grandeur, le calcul numérique et la valeur (nombre éventuellement associé à une unité). C'est aussi dans ce troisième groupe que nous situons la mesure elle-même (au sens du résultat de l'action de mesurer).

La figure 2 (*cf.* plus loin le paragraphe 2.3.) donne une cartographie des concepts en jeu et de leurs liens ; il ne nous paraît pas essentiel dans un premier temps que le lecteur s'arrête sur les liens eux-mêmes, nous proposerons dans ce même paragraphe une découverte de certains d'entre eux en nous appuyant sur des activités de la progression.

2.2. Descriptif rapide de la séquence

La progression proposée (*cf.* tableau 4) pour la première partie du programme de physique de seconde est bien entendu en accord avec les compétences et savoirs faire exigibles inscrits au BOEN. Il est pour nous impératif et incontournable de respecter l'intégralité du programme officiel même si souvent nous y ajoutons des compétences supplémentaires (celles-ci n'étant parfois que des compétences transversales du programme ou des compétences contenues implicitement dans le programme, mais non explicitées). Nous fournissons en annexe un tableau détaillant cette progression ainsi que

les compétences mises en jeu.

<p>Chapitre 1 : Qu'est-ce que la physique ?</p> <p>Activité 1 : Questionnaire et discussion sur les objectifs et les propriétés de la physique.</p> <p>Activité 2 : Comment la physique fonctionne-t-elle ? Un exemple historique (modèle de la gravitation de Newton et d'Einstein).</p> <p>Activité 3 : Grandeurs physiques.</p>
<p>Chapitre 2 : Outils de description de l'univers et du système solaire</p> <p>Activité 1 : Répartition des planètes dans le système solaire.</p> <p>Activité 2 : Un outil pratique pour comparer : l'ordre de grandeur.</p> <p>Activité 3 : Réalisation d'une maquette du système solaire dans le couloir du lycée.</p> <p>Activité 4 : Vitesse de la lumière dans l'univers et application à la désignation des distances.</p> <p>Activité 5 : L'année de lumière : une unité de distance.</p>
<p>Chapitre 3 : La mesure</p> <p>Activité 1 : Interprétation de mesures de la masse d'une pomme, chiffres significatifs.</p> <p>Activité 2 : Mesurer avec des outils différents.</p> <p>Activité 3 : Une petite histoire du mètre...</p> <p>Activité 4 : Utilisation du « modèle de la mesure ».</p>
<p>Chapitre 4 : Lien entre expérience et modèle</p> <p>Activité 1 : Accord entre modèle et mesures (le pendule simple).</p> <p>Activité 2 : Deux modèles historiques du système Terre-Soleil.</p> <p>Activité 3 : Reconstitution à l'aide d'une maquette de la méthode d'Ératosthène.</p>

Tableau 4 : Description sommaire de la progression.

Les documents correspondants à cette progression sont téléchargeables à l'adresse suivante :

http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames/seconde_partA.html
ou consultables sur le site PEGASE :

<http://pegase.inrp.fr/theme.php?Rub=1&Id=35>

Comme pour toutes les ressources que propose le groupe SESAMES, les enseignants trouveront sur ces sites à la fois les documents destinés aux élèves, mais également des documents « professeurs ». Ces documents sont essentiels pour une bonne mise en œuvre dans la classe. Pour chaque activité, cinq rubriques sont proposées :

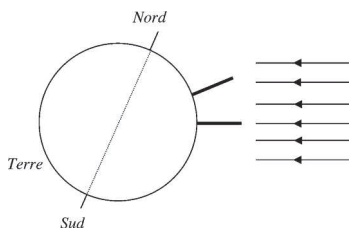
- ◆ but de l'activité ;
- ◆ informations pour la préparation de l'activité ;
- ◆ commentaires sur le savoir enseigné et informations sur le contenu disciplinaire ;
- ◆ informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés ;
- ◆ corrigé.

2.3. Analyse globale de la séquence

L'encadré du § 1.2.1. constitue une première liste des savoirs relatifs au fonctionnement de la physique qui commencent à être construits lors de cette séquence ou qui y sont au moins évoqués. Nous ne visons pas un apprentissage exhaustif de ces savoirs en fin de seconde, mais nous avons cherché à lister ce qu'un élève de fin de terminale S, par exemple, devrait savoir pour satisfaire les prescriptions du BOEN sur le sujet.

Par ailleurs, nous avons cherché à analyser la séquence proposée en termes de relations entre concepts-clés. Cette analyse récente n'a vu le jour qu'une fois toutes ces activités testées avec nos élèves et a permis d'élaborer une carte conceptuelle (cf. figure 2 ci-dessous). Elle nous a permis d'analyser notre séquence d'enseignement et de décrypter le fonctionnement de notre matière. Cette carte n'est peut-être pas adaptable à toutes les situations rencontrées par le physicien, mais semble être une base de départ particulièrement riche pour suivre, dans des situations variées, le parcours conceptuel demandé aux élèves.

Pour l'illustrer, nous nous appuyons sur l'activité assez classique illustrant le principe de la mesure du rayon terrestre par Ératosthène. Dans nos activités, nous abordons tout d'abord les modèles d'Ératosthène et d'Anaxagore puis dans une seconde partie nous proposons une réalisation expérimentale de cette mesure en utilisant une sphère en polystyrène (éclairée par un rétroprojecteur) dans laquelle sont plantées deux aiguilles, l'une ayant une ombre, l'autre pas. Il est demandé aux élèves de mesurer la taille de l'ombre de l'aiguille.



Au cours de cette phase de l'activité, le parcours conceptuel probable de l'élève est le suivant (ligne pointillée 1 de la figure 2) :

- ◆ exploiter la maquette pour identifier la grandeur physique à mesurer ;
- ◆ tenir compte de la précision et des chiffres significatifs pour donner une valeur.

Sur ce parcours, l'élève met en jeu cinq concepts différents, ce qui montre que l'acte de mesurer n'est pas anodin.

Arrivé à cette étape, l'élève n'a pas encore trouvé la valeur du rayon. Pour ceci, le parcours conceptuel qu'il est amené à suivre est le suivant (ligne pointillée 2 de la figure 2) :

- ◆ se servir de la valeur trouvée à la question précédente en utilisant une relation algébrique entre grandeurs ;
- ◆ choisir les unités pour passer au calcul numérique ;
- ◆ décider du bon nombre de chiffres significatifs pour donner la valeur du résultat cherché.

Ce parcours implique lui aussi plusieurs concepts, ce qui met en évidence des difficultés potentielles que peut rencontrer l'élève.

La difficulté contextuelle de l'élève relève d'une difficulté plus générale dont il n'a pas toujours conscience, mais que l'enseignant doit repérer. La carte permet à l'enseignant d'explicitier à l'élève les différentes étapes de la démarche et en particulier celle qui lui a posé problème, tout en la situant dans l'ensemble des tâches que l'élève est amené à effectuer en physique.

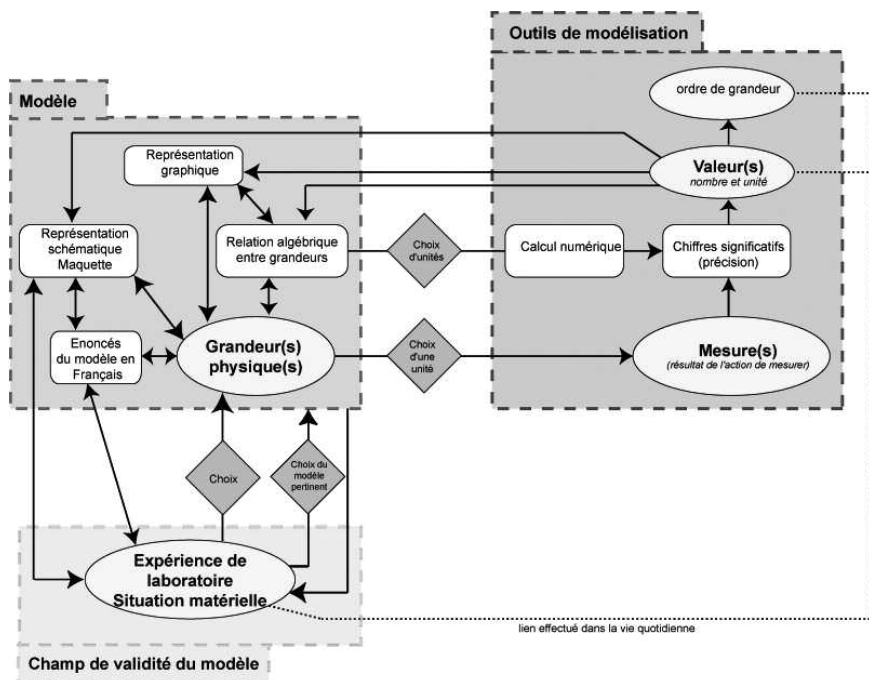


Figure 2 : Carte conceptuelle permettant d'analyser une grande partie des activités menées par les élèves lors de leur apprentissage de la physique dans le secondaire (les concepts essentiels sont dans les ovales, les outils de représentation sont dans les rectangles).

Nous proposons une utilisation dynamique de cette carte conceptuelle en ligne⁽⁴⁾, permettant de suivre le parcours attendu en fonction des questions posées.

3. LES RÉSULTATS ACTUELS DE L'EXPÉRIMENTATION

3.1 Un aperçu de réponses d'élèves

Nous donnons ici quelques résultats concernant les réponses des élèves : un début de statistique sur les réponses données par les élèves au questionnaire extrait du questionnaire destiné aux enseignants (activité 1 du chapitre 1), puis une tentative d'analyse sur l'évolution de leurs idées, ce même questionnaire ayant été passé par deux classes avant enseignement puis cinq mois après. Un questionnaire en ligne est maintenant disponible⁽⁵⁾ ; il correspond, à quelques aménagements près, au questionnaire « élève »

(4) http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames/carte/C4_act3.html

(5) http://enquetes.inrp.fr/sesames_enq_eleves/sesames.htm

initial. Les réponses des élèves sont également visibles en lignes⁽⁶⁾.

Dans un premier temps, c'est la grande concordance des réponses des enseignants et des élèves qui nous a paru la plus remarquable. L'opinion moyenne des élèves est souvent très proche des enseignants sur les objectifs de la physique et sur ce en quoi consiste « faire de la physique ». Comme leurs élèves, les professeurs de sciences physiques pensent que *La physique a pour objectif de faire de nouvelles découvertes sur le monde qui nous entoure*. Comme eux, ils sont divisés sur le fait que *La physique a pour objectif de faire de ce monde un meilleur endroit pour vivre*. Quant à se prononcer sur l'idée que *Faire de la physique conduit à mettre au point et réaliser des expériences qui nécessitent souvent de faire des mesures* et sur l'opinion que *La physique est une science qui peut remettre en cause ses propres théories*, les élèves sont « plutôt d'accord » alors que les enseignants sont majoritairement « tout à fait d'accord ».

Concernant l'évolution des idées des élèves en cours d'année, nous donnons ici quelques tendances. Une des évolutions relativement marquante concerne la nécessité de définir ce qu'est la physique pour pouvoir en faire. Les élèves étaient dans leur ensemble plutôt d'accord avec cette affirmation en début d'année ; ils sont un peu moins d'accord en milieu d'année ; ils ont en effet pu constater qu'ils ont fait de la physique alors que leur enseignant ne leur a toujours pas défini ce qu'est la physique.

Les deux définitions choisies principalement par les élèves pour définir ce qu'est un modèle sont :

- ◆ *Une façon de décrire quelque chose de réel à l'aide d'éléments théoriques* (en premier choix avant enseignement, mais aussi en cours d'année).
- ◆ *Une représentation du réel à l'aide de schémas et de formules* (en second choix aussi bien en début d'année qu'en milieu d'année).

Notons aussi que ce questionnaire passé dans une classe divisée en deux groupes assez marqués (un groupe ayant la volonté affichée et les moyens d'aller vers la série S et l'autre groupe ne manifestant pas d'envie particulière pour une orientation scientifique) a montré une évolution différente sur la question : *Faire de la physique consiste à appliquer des formules mathématiques pour trouver un résultat*. Le groupe que nous appellerons *scientifique* avait comme l'autre groupe *non scientifique* la même opinion mitigée en début d'année, entre « plutôt d'accord » et « plutôt pas d'accord ». En milieu d'année, l'opinion du groupe *scientifique* n'a pas réellement évolué alors que l'avis du groupe *non scientifique* est devenu beaucoup positif (entre « plutôt d'accord » et « tout à fait d'accord »). On peut penser ici que la principale difficulté pour les élèves non scientifiques est attachée à la manipulation des relations et des outils de calculs et que ces difficultés ont alors tendance à occulter les autres démarches de la physique.

3.2. Expérimentation de la séquence d'enseignement

Les données recueillies lors de cette expérimentation testée pour la première fois à

(6) http://enquetes.inrp.fr/sesames_enq_eleves/rapp?type=auto

la rentrée 2006 n'ont pas encore été analysées finement mais nous pouvons citer quelques exemples qui nous semblent pertinents pour illustrer l'intérêt de notre démarche :

- ◆ Le problème des élèves (filmés par binômes) sur les ordres de grandeur est souvent la manipulation des nombres et des puissances de dix et la nécessité de leur laisser le temps de manipuler des grands nombres est évidente. Même en ayant une définition claire et rigoureuse, la compréhension de ce qu'est l'ordre de grandeur est une réelle difficulté, probablement liée aux puissances de dix elles-mêmes. Les vidéos montrent bien que si on laisse le temps aux élèves, ils aboutissent à utiliser cette notion d'ordre de grandeur à peu près correctement. Sur la vidéo, on constate que les élèves répètent au moins une dizaine de fois « c'est quoi l'ordre de grandeur » puis relisent la définition plusieurs fois pour finalement aboutir à la réponse attendue par l'enseignant. Cela est possible à notre avis, car les élèves ont eu le temps de s'appropriier la définition par des allers-retours entre la définition théorique et le problème concret à résoudre. Notons ici que cette définition est écrite sur le document qui est distribué aux élèves ce qui nous semble être atout réel pour la réussite de l'activité. De nombreuses observations faites en classe montrent en effet que les élèves accordent un statut particulier à ce document écrit et une importance supérieure aux notes ou aux définitions qu'ils auraient écrites eux-mêmes.
- ◆ À la fin de cette première partie de physique de seconde, lorsque nous abordons la loi de la réfraction de Descartes (traité spécifiquement hors de la progression évoquée dans cet article), nous exposons les modèles proposés par divers scientifiques (KEPLER, DESCARTES, GROSSETÊTE). Les élèves ont alors assez facilement rattaché cette démarche au premier texte historique du chapitre 1 (évoqué précédemment, relatif aux modèles de NEWTON et d'EINSTEIN sur la gravitation) qui explicite la nécessité de nouveaux modèles plus adaptés à certaines observations, mais en n'éliminant pas forcément le modèle précédent qui peut être encore valide pour d'autres situations. Les notions d'évolution des modèles, d'existence de plusieurs modèles pour un même phénomène, de champ de validité ne semblent donc pas constituer des difficultés insurmontables en seconde et peuvent être comprises, au moins partiellement, dès le début de l'année et réinvesties à de nombreuses reprises.

CONCLUSION

La progression que nous proposons pour la première partie du programme de seconde doit être considérée comme un point de départ d'une réflexion plus générale sur lequel nous pouvons nous appuyer durant tout notre enseignement, et ce pour tous les niveaux, filières non scientifiques comprises.

La portée de l'enseignement que nous avons esquissé ici dépasse légèrement le cadre des connaissances exigibles explicitées dans le BOEN, car il concerne la nature même de notre discipline. Nous pensons de plus que les orientations futures au sujet de l'enseignement des sciences conduiront à mettre l'accent sur des savoirs « méthodologiques » (au sens des méthodes utilisées en sciences) autant que « disciplinaire » (au sens

des savoirs précis sur tel ou tel sujet). La progression que nous proposons, en mettant l'accent sur la nature et le fonctionnement de la physique, est donc appelée à acquérir une certaine pérennité au-delà des changements de programmes.

La certitude que nos élèves sont capables de comprendre le fonctionnement de notre discipline si nous prenons le temps de le leur expliciter et de l'illustrer doit nous encourager à avoir cette démarche en permanence à l'esprit. Ceci doit nous permettre de faire allusion à ces éléments de connaissances dès que possible avec les élèves, quel que soit le sujet.

Ajoutons enfin que cette approche de la compréhension du fonctionnement de la discipline n'est pas réservée aux sciences physiques et un travail dans d'autres matières peut être envisagé avec une démarche commune. Ce serait la première étape d'une véritable perspective comparatiste des méthodes et fonctionnements des différentes disciplines enseignées dans le secondaire.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'INRP, qui finance le projet SESAMES, et tout particulièrement Valérie FONTANIEU, statisticienne à l'INRP, pour la mise en ligne des enquêtes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] JENSEN P. « Que font vraiment les physiciens ? ». *Bull. Un. Phys.*, octobre 1997, vol. 91, n° 797, p. 1609-1619.
- [2] Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. Hors série n° 2 du 30 août 2001, Programmes de la classe de seconde générale et technologique
- [3] GAIDIOZ P. et TIBERGHEN A. « Un outil d'enseignement privilégiant la modélisation ». *Bull. Un. Phys.*, janvier 2003, vol. 97, n° 850, p. 71-83.
- [4] GAIDIOZ P., VINCE J. et TIBERGHEN A. « Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne ». *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, juillet-août-septembre 2004, vol. 98, n° 866, p. 1029-1042.
- [5] JOUARY J.-P. « Pas-science dans la culture... ». *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, juin 2007, vol. 101, n° 895, p. 683-692.
- [6] BACHELARD S. *Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles*, 1979, DELATTRE P. et THELLIER M. (eds.), *Élaboration et justification des modèles*. Maloine éditeur.
- [7] TOIX L. *Points de vue des élèves de seconde sur les modèles et la modélisation en sciences physiques*. Rapport de DEA, Université Lyon II, juin 2004.

Annexe

Progression détaillée

	Connaissances et savoir-faire exigibles (BOEN)
<p>Chapitre 1 : Qu'est-ce que la physique ? Durée : 1 heure Activité 1 : Questionnaire et discussion sur les objectifs et les propriétés de la physique. Activité 2 : Comment la physique fonctionne-t-elle ? Un exemple historique. Activité 3 : Grandeurs physiques.</p>	<p>Pas de compétences exigibles, mais cette introduction contribue à quelques compétences transversales inscrites au BO.</p>
<p>Chapitre 2 : Outils de description de l'univers et du système solaire. Durée : 1 semaine sans les exercices Activité 1 : Répartition des planètes dans le système solaire. Activité 2 : Un outil pratique pour comparer : l'ordre de grandeur. Activité 3 : Réalisation d'une maquette du système solaire dans le couloir du lycée. Activité 4 : Vitesse de la lumière dans l'univers et application à la désignation des distances. Activité 5 : L'année de lumière : une unité de distance. <i>On peut intégrer dans cette partie une activité sur l'atome.</i></p> <p><i>Éléments et outils théoriques en jeu :</i> Concept de distance (utilisation du concept pour de très grandes valeurs), concept de vitesse, ordre de grandeur, unités</p> <p><i>Outils de représentation et de calcul :</i> Maquette du système solaire, notation scientifique de la valeur d'une grandeur, puissance de 10, changement d'échelles, multiples et sous-multiples, prise en compte des unités dans un calcul.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Utiliser à bon escient les noms des objets remplissant l'espace aussi bien au niveau microscopique (noyau, atome, molécule, cellule, etc.) qu'au niveau cosmique (Terre, Lune, planète, étoile, galaxie). Savoir classer ces objets en fonction de leur taille. Savoir positionner ces objets les uns par rapport aux autres sur une échelle de distances. ♦ Savoir que le remplissage de l'espace par la matière est essentiellement lacunaire, aussi bien au niveau de l'atome qu'à l'échelle cosmique. ♦ Connaître la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide (ou dans l'air) et savoir qu'il s'agit d'une vitesse limite. ♦ Convertir en année de lumière une distance exprimée en mètres et réciproquement. ♦ Expliquer que « voir loin, c'est voir dans le passé ». ♦ Utiliser les puissances de 10 dans l'évaluation des ordres de grandeur, dans les calculs, et dans l'expression des données et des résultats.
<p>Chapitre 3 : La mesure. Durée : 1 semaine Activité 1 : Interprétation de mesures de la masse d'une pomme, chiffres significatifs. Activité 2 : Mesurer avec des outils différents. Activité 3 : Une petite histoire du mètre... Activité 4 : Utilisation du « modèle de la mesure ».</p> <p><i>Éléments théoriques en jeu :</i> Modèle de la mesure</p> <p><i>Outils de calcul ou de représentation :</i> Unités, précision, chiffres significatifs, représentation de points dans un système d'axes, lien entre graphe et équation algébrique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ <i>Mesurer une petite distance et une grande distance :</i> <ul style="list-style-type: none"> – mettre en œuvre une technique de mesure utilisée en TP ; – garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision de la mesure ; – exprimer le résultat avec une unité adaptée.

<p>Chapitre 4 : Lien entre expérience et modèle. Durée : 2 semaines Activité 1 : Accord entre modèle et mesures. Activité 2 : Deux modèles historiques du système Terre-Soleil. Activité 3 : Reconstitution à l'aide d'une maquette de la méthode d'Ératosthène.</p> <hr/> <p><i>Éléments et outils théoriques en jeu :</i> Concept de période, première approche de la notion de champ de validité d'un modèle, complément du modèle de la mesure</p> <hr/> <p><i>Outils de représentation et de calcul :</i> Repérage d'un angle, définition de l'angle, passage d'une expérience historique imaginée à une expérience reproduite à une autre échelle dans la classe, reproduction et mise en œuvre d'un modèle sur une maquette (Ératosthène).</p>	<p>Partie sur le temps (au BO) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Connaître les définitions de la période et de la fréquence d'un phénomène périodique. ◆ Savoir calculer la fréquence d'un phénomène à partir de sa période et réciproquement, et exprimer ces calculs avec les unités convenables. ◆ <i>Mesurer une durée :</i> <ul style="list-style-type: none"> – mettre en oeuvre une technique de mesure ; – garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision de la mesure ; – exprimer le résultat avec une unité adaptée ◆ Repérer un angle.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Didier COINCE
Professeur
 Lycée Parc Chabrières
 Oullins (Rhône)



Anne-Marie MIGUET
Professeur
 Lycée Saint Exupéry
 Lyon (Rhône)



Stéphane PERREY
Professeur
 Lycée Brossolette
 Villeurbanne (Rhône)



Tristan RONDEPIERRE
Professeur
 Lycée Descartes
 Saint-Genis Laval (Rhône)



Andrée TIBERGHIE
Directrice de recherche au CNRS
 UMR ICAR



Jacques VINCE
Professeur
 Lycée Ampère
 Lyon (Rhône)