

**Utiliser des textes historiques
dans l'enseignement des sciences
physiques en classe de seconde
des lycées français :
compte rendu d'innovation**

**Using historical texts for the teaching
of physics to French fifth form
secondary school**

**Historische Texte im Physikunterricht
der 10. Klasse (Seconde) an französischen
Gymnasien: Bericht über Neuerungen**

**Utilización de textos históricos
en la enseñanza de las ciencias físicas
en clase de 4^e de E.S.O. de los liceos
franceses del extranjero : relación
de innovación**

Muriel GUEDJ

LIRDEF-ERES
IUFM de l'académie de Montpellier
2, place M. Godechot, BP 4152
34092 Montpellier, cedex 05, France.

Résumé

Cet article présente une proposition d'introduction d'éléments d'histoire de la physique en classe de seconde, en vue d'améliorer l'apprentissage de la mécanique. Nous nous sommes centrés sur l'exploitation en classe de quelques sources primaires dans un contexte didactique visant à développer des capacités de questionnement chez les élèves.

Mots clés : textes historiques, enseignement de la mécanique, lycée.

Abstract

This paper deals with a proposition about an introduction of the history of physics to French fifth form in secondary school. The aim of this introduction is to improve mechanics learning. We used some basic texts in a didactic context to develop abilities in questioning among pupils.

Key words : Original scientific texts, teaching mechanics, secondary school.

Zusammenfassung

Dieser Artikel stellt einen Vorschlag für die Einführung der Geschichte der Physik in die 10.Klasse (Seconde) dar, um das Erlernen der Mechanik zu verbessern. Unser Hauptaugenmerk ist auf die Auswertung in der Klasse von einigen Primärquellen gerichtet, die in einem didaktischen Kontext mit dem Ziel vollzogen wurde, bei den Schülern Fähigkeiten zum kritischen Hinterfragen zu entwickeln.

Schlüsselwörter : Historische Texte, Mechanikunterricht, Gymnasium.

Resumen

Este artículo presenta una proposición de introducción de la historia de las ciencias físicas en clase de 4^o de E.S.O. en vista de mejorar el aprendizaje de la mecánica. Nos hemos centrado en la explotación en clase de algunas fuentes primarias en un contexto didáctico que pretende desarrollar las capacidades de cuestionamiento en los alumnos.

Palabras clave : Textos históricos, enseñanza de la mecánica, instituto.

1. INTRODUCTION

La question de l'introduction de l'histoire des sciences dans les programmes de l'enseignement scientifique français n'est pas nouvelle. N. Hulin (1996) rappelle par exemple qu'au XIX^e siècle, les prétendants au doctorat se devaient d'inclure une partie historique dans leur mémoire et que les épreuves de l'agrégation (concours visant à recruter les professeurs de l'enseignement secondaire en France) contenaient des questions d'histoire.

Cependant, l'histoire des sciences était alors abordée de façon descriptive et chronologique. Aujourd'hui, si l'abondante littérature abordant cette question est significative de l'intérêt porté à cette introduction, vouloir en faire un point relève de la gageure. Ainsi J.-L. Martinand (1993) nous invite « [...] à renoncer à recenser tous les écrits qui souhaitent que l'histoire des sciences vienne (ou revienne) dans l'enseignement : ils sont récurrents et apparemment peu efficaces... » (Martinand, 1993, p. 94).

Malgré cet avertissement, l'ouvrage « Enseigner l'histoire des sciences et des techniques » (Audigier & Fillon, 1991) constitue une réflexion pertinente permettant d'orienter toute approche sur ce thème. En particulier cet ouvrage pointe les principaux objectifs qu'un tel enseignement pourrait poursuivre ainsi que les écueils et les difficultés susceptibles d'être rencontrés.

Pour notre part, trois arguments en faveur d'une sensibilisation à l'histoire des sciences nous semblent primordiaux. Aux deux arguments développés par Audigier & Fillon, concernant les apports culturels et l'intérêt didactique, il nous a semblé important de souligner l'intérêt lié à la motivation des élèves :

- l'intérêt culturel ; l'histoire des sciences donne des repères permettant de situer une découverte dans son contexte temporel ;
- l'intérêt didactique ; l'histoire des sciences permet une aide à la construction des savoirs, à la compréhension des concepts, elle modifie le statut de l'erreur ce qui entraîne une modification de l'image de la science, qui n'est plus perçue comme une construction statique résultant d'un développement linéaire dans le temps mais comme une succession d'erreurs rectifiées ;
- l'intérêt lié à la motivation ; l'introduction de l'histoire des sciences permet d'échapper à un enseignement trop déductif et dogmatique. Ainsi, en leur faisant prendre conscience de certaines étapes de l'élaboration de la science, les élèves perçoivent le discours scientifique comme une construction humaine. Dès lors, la discipline enseignée revêt une réelle finalité et suscite leur intérêt.

Les programmes de sciences physiques actuellement en vigueur en classe de seconde dans les établissements français mentionnent explicitement le fait qu'il convient de « *restituer la dimension historique du développement des sciences* » (BO, 2001, p. 6). Contrairement à l'enseignement de la philosophie, de la littérature ou de l'art, l'enseignement scientifique est décontextualisé. La phrase suivante relevée dans les programmes nous semble essentielle : « *la curiosité pour les sciences et pour les mécanismes de la création en général se nourrit à l'évidence de connaître les controverses passées, les longues impasses comme les avancées brutales, les grandes synthèses qui surprennent le bon sens et bouleversent la perception immédiate et intuitive du monde.* » (BO, 2001, p. 7).

On notera que le numéro 5 de la revue Aster (1987) et le numéro 20

de la revue *Didaskalia* (2002) avaient respectivement pour thème « *Didactique et histoire des sciences* » et « *Apport de l'épistémologie et de l'histoire des sciences* » (dans ce dernier, on trouve notamment un compte rendu d'innovation (Merle, 2002) concernant l'intérêt d'introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement des sciences dès l'école primaire.) Ces revues interrogent les divers liens entretenus entre ces deux disciplines, l'intérêt qu'il y a à penser leur rapprochement et mettent en évidence que cette association ne va pas sans poser de problèmes.

2. L'EXPÉRIMENTATION

Nous avons choisi le thème de la mécanique en classe de seconde. Quatre classes, soit un peu plus d'une centaine d'élèves, dans 2 lycées différents, ont participé à cette expérimentation.

Nous avons fait le choix de détailler ici plus particulièrement deux séances de la séquence de mécanique « *L'Univers en mouvement et le temps* ». La première introduit la relativité du mouvement alors que la seconde aborde la gravitation.

Les objectifs visés par le premier exemple concernent la relativité du mouvement ainsi qu'une première approche du principe d'inertie. Il s'agit pour les élèves d'appréhender le fait que le mouvement d'un objet n'a de sens que par rapport à un autre objet pris comme corps de référence ainsi que d'approcher le principe de l'inertie avec la conservation du mouvement horizontal lors de la chute d'un corps.

La première étape de la séance consiste en un travail par demi-groupe (15 élèves environ) au cours duquel les élèves découvrent un extrait (annexe 1) du très célèbre « *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde...* » de Galilée (2000).

Après une phase de lecture individuelle, deux élèves reprennent l'extrait à haute voix.

« *Qui a raison ou qui a tort ?* » Par cette question posée par l'enseignant, le débat s'engage.

Les arguments du type « *C'est Simplicio qui a tort à cause de son nom* », ou encore « *Il a tort parce qu'il défend le système de Ptolémée et que l'on sait que ce dernier est remis en cause.* » sont rapidement délaissés. Chacun défend son point de vue en s'appropriant les personnages mis en scène par Galilée et en imaginant des situations concrètes (anachroniques le plus souvent). Nous retranscrivons ci-après quelques extraits des échanges ayant eu lieu au sein des groupes.

Pierre : « *Salviati a tort car si l'on jette une balle en l'air lorsqu'on est*

dans une voiture qui roule, on ne peut pas la rattraper. »

Enseignant : « *Pourquoi ?* »

Vincent : « *Parce que la voiture roule vite.* »

Enseignant : « *Mais où la balle tombe-t-elle ?* »

Vincent : « *Elle tombe à l'arrière de la voiture. Plus la voiture va vite et plus la balle tombe derrière.* »

Enseignant : « *Et si la voiture roule moins rapidement ?* »

Vincent : « *La balle tombe derrière mais moins loin (plus près du lanceur).* »

[...]

Enseignant : « *Galilée ne connaissait pas les voitures et les expériences qu'il a imaginées sont réalisées sur un bateau qui se déplace à vitesse constante. Que se passe-t-il si l'on jette une balle en l'air alors que l'on est embarqué sur un tel bateau ?* »

Marjorie : « *La balle tombe derrière.* »

Aurélie : « *Ça dépend de la vitesse.* »

Enseignant : « *Peux-tu préciser ?* »

Aurélie : « *Si le bateau va très vite la pierre tombe très à l'arrière du bateau... ou dans l'eau ! Si le bateau va moins vite ça tombe juste derrière la personne qui a jeté la pierre.* »

Enseignant : « *Êtes-vous tous d'accord ?* »

Audrey : « *Non moi j'ai déjà lancé une balle sur un bateau et j'ai pu la rattraper facilement.* »

Kevin : « *Oui mais ton bateau allait doucement.* »

Audrey : « *? oui peut-être... mais ça marchait.* »

[...]

Enseignant : « *Est-ce que Salviati lance une balle en l'air ?* »

Anna : « *Non il laisse tomber une pierre du haut du mât.* »

Enseignant : « *Qu'est ce que l'on cherche à savoir ?* »

Sylvain : « *Où tombe la pierre jetée. Moi je pense qu'elle tombe derrière car le bateau avance. Simplicio a raison.* »

Loïc : « *La pierre tombe derrière car le bateau va vite.* »

Enseignant : « *Êtes-vous tous d'accord avec cela ?* »

Marie : « *Non moi je pense que la pierre tombe au pied du mât même si le bateau avance.* »

Enseignant : « *Pourquoi ?* »

Marie : « *Parce que les objets tombent tout « droit » suivant le mât.* »

Élodie, Paul : « *Oui quand on fait tomber un corps il tombe toujours de la même façon (l'un de ces élèves montre la chute d'une gomme et d'un stylo), la chute s'effectue selon la verticale.* »

Enseignant : « *Que pensent Salviati et Simplicio, les deux personnages mis en scène par Gallée ?* »

Élodie : « *Simplicio pense que la pierre ne tombe pas au pied du mât lorsque le bateau avance.* »

Enseignant : « *Pourquoi ?* »

Anna et Sylvain : « *Parce que le bateau avance.* »

Enseignant : « *Mais où la pierre tombe-t-elle ?* »

Anna : « *À l'arrière du bateau.* »

Enseignant : « *Pouvez-vous citer un extrait du texte montrant cela ?* »

Sylvain : « *Simplicio le dit : "Quand le navire est en route, la pierre tombe à une distance égale... à celle dont le navire a avancé pendant le temps de la chute de la pierre".* »

Cette proposition s'avère délicate pour les élèves, l'enseignant décide de l'explicitier un peu.

[...]

Enseignant : « *Comment Simplicio montre-t-il que la pierre chute en arrière ?* »

Anna : « *Elle montre que pendant que la pierre chute, le bateau avance.* »

Élodie : (elle mime les mouvements) « *Oui la pierre tombe à l'arrière.* »

[...]

Enseignant : « *Quelle est l'opinion de Salviati ?* »

Paul : « *Il pense que si le bateau avance ou pas la pierre tombe au pied du mat.* »

Alexandre : « *Oui il le dit " la pierre tombe au même endroit du navire que celui-ci soit à l'arrêt ou avance à n'importe quelle vitesse".* »

Marie : « *Que le bateau avance ou pas, c'est pareil pour la pierre.* »

Élodie : « *Salviati se trompe car la pierre tombe en arrière (elle mime à nouveau, certains élèves approuvent).* »

Paul et Alexandre : « *Non il a raison, les pierres et tous les objets tombent toujours selon la verticale.* »

[...]

Curieusement, dans chaque groupe, on observe qu'environ la moitié des élèves est partisane de Salviati, l'autre moitié étant donc constituée par des partisans de Simplicio. Les arguments principalement évoqués sont de deux types : « *Ça chute en arrière du mât parce que, durant le temps de chute, le bateau a avancé* », ou « *Ça chute au pied du mât car tous les objets chutent selon la verticale, et le mât c'est la verticale...* »

Le débat est passionné, le professeur distribue la parole, questionne, oriente le débat. Souhaitant que les élèves visualisent de façon concrète la situation précédente, il suggère à chacun d'examiner deux schémas (annexe 2) et de répondre à la place de Salviati ou de Simplicio. Les deux situations mettent en scène un personnage qui lâche un poisson depuis le haut du mât d'un bateau se déplaçant à vitesse constante. Deux positions pour l'aquarium, réceptacle du poisson, sont proposées. Il s'agit pour les élèves d'associer chaque situation à l'un des protagonistes du *Dialogue*.

Majoritairement, les élèves transfèrent correctement leur analyse du texte aux schémas, ainsi, les partisans de Simplicio dans le texte le sont également pour l'expérience avec le poisson « *à condition de bien calculer l'emplacement du bocal à l'arrière du bateau...* »

Les élèves qui mimaient les mouvements de la pierre et du bateau reprennent le même raisonnement et montrent à l'aide du schéma que le bateau avance pendant que le poisson chute. De la même façon, ceux qui appuyaient leur raisonnement sur la nécessité d'une chute verticale mobilisent le même argument pour justifier, à l'aide du schéma, que le poisson tombe au pied du mât.

[...]

Enseignant : « *Qu'est ce que Salviati veut expliquer dans sa première intervention ?* »

(Cet extrait est relu avec la classe).

Aurélié : « *Il dit que si la pierre tombe au pied du mât, le navire est arrêté alors que si elle tombe loin du mât le navire avance.* »

Enseignant : « *Qui dit cela ?* »

Aurélié et Marjorie : « *C'est Simplicio ! Salviati reprend les arguments de Simplicio.* »

Enseignant : « *Pourquoi ?* »

Aurélie et Marjorie : « *Pour montrer que Simplicio se trompe.* »

Enseignant : « *Oui, Salviati reprend les arguments de Simplicio, mais il les reprend contre lui. Qu'est ce que Salviati propose de faire pour savoir qui a raison et qui a tort ?* »

Aurélie et Marjorie : « *Il propose de faire une expérience.* »

Enseignant : « *Pourquoi ?* »

Aurélie et Marjorie : « *C'est la seule façon d'être sûr du résultat* » (approbation de l'ensemble des élèves).

Cette discussion est essentielle car elle interroge le statut de l'expérience et permet aux élèves de critiquer l'approche de Simplicio qui n'évoque pas la nécessité expérimentale comme élément de preuve.

[...]

Enseignant : « *Finalement, quelle est l'expérience proposée par Salviati ?* »

Paul : « *Toujours pareil, il faut faire tomber une pierre depuis le haut du mât et regarder où elle tombe.* »

Anna : « *Si la pierre tombe au pied du mât Salviati a raison et si elle tombe derrière ou dans l'eau c'est Simplicio qui a raison.* »

Enseignant : « *Nous n'avons pas de bateau pour faire cette expérience mais pensez-vous qu'à l'aide d'un vélo et d'une pierre nous ne pourrions pas imaginer une situation analogue ?* »

Loïc : « *Si, on lâche la pierre alors que l'on avance avec le vélo. Le vélo, c'est comme le bateau.* »

Élodie : « *Non tu es sur le vélo, tu avances et tu lâches la pierre et moi je regarde l'endroit où elle tombe.* »

Enseignant : « *Est-ce que l'on ne pourrait pas s'intéresser aux deux situations ? Je regarde où tombe la balle lâchée par un cycliste et quelle est la trajectoire de celle-ci. Je suis ce cycliste, qu'est ce qui change si je regarde la balle ? Où tombe-t-elle et comment tombe-t-elle ?* »

[...]

Les élèves ont semblé s'approprier facilement les deux visions proposées, ils mobilisent les mêmes arguments que ceux précédemment obtenus pour critiquer ou défendre les différents aspects débattus.

Ainsi, la deuxième étape de ce travail qui doit tenir lieu de test d'hypothèses est abordée l'esprit à la polémique.

Cette étape consiste à étudier le mouvement d'une balle lâchée par un cycliste en adoptant le point de vue du cycliste ou celui d'un observateur regardant le cycliste passer. Pour cela les élèves utilisent un logiciel qui simule le mouvement de la balle lorsque le cycliste avance.

L'enseignant récapitule les deux situations pour lesquelles il demande à chacun de prévoir le résultat *a priori* (un dessin individuel au brouillon est demandé). Il s'agit également de se positionner vis-à-vis de Simplicio et Salviati (les résultats sont regroupés au tableau). Cette étape est essentielle car certains élèves ne perçoivent pas immédiatement le lien entre l'expérience menée sur le bateau et celle menée avec le vélo. L'enseignant présente l'intérêt d'utiliser un logiciel qui permet notamment de ralentir le mouvement, et il précise la possibilité d'adopter plusieurs points de vue pour l'observateur du mouvement (sur le vélo, au sol, etc.).

Les élèves doivent répondre aux questions suivantes (le travail s'effectue en binôme) :

- « *Quel est le mouvement de la balle par rapport au sol ?* »
- « *Quel est le mouvement de la balle par rapport au vélo ?* »
- « *Quel est le mouvement du poisson par rapport au sol ?* »
- « *Quel est le mouvement du poisson par rapport au bateau ?* »
- « *Qui avait raison de Salviati ou de Simplicio ?* »

L'utilisation d'une feuille de papier-calque posée sur l'écran permet de relever les différentes positions de la balle et d'étudier la trajectoire de cette dernière dans les situations proposées.

La discussion s'engage au sein des binômes à propos du mouvement de la balle qui ne semble ni rectiligne ni vertical, chacun compare ses résultats prévisionnels avec ceux obtenus à l'aide du logiciel. La mise en commun des résultats précède une phase d'institutionnalisation.

[...]

Enseignant : « *Finally, où la balle tombe-t-elle ?* »

Pierre : « *Elle tombe toujours aux pieds du cycliste.* »

Enseignant : « *Toujours ?* »

Pierre : « *Oui, si l'on est sur le vélo et que l'on jette la balle, celle-ci tombe à nos pieds. Et si on regarde la balle tomber depuis le trottoir, on a vu sur le papier-calque que la balle arrive toujours aux pieds du cycliste.* »

Enseignant : « *Comment la balle tombe-t-elle ? Quelle est sa trajectoire ?* »

Vincent : « *Bizarre...* »

Certains élèves répètent « *le résultat du logiciel est truqué* ».

Ils admettent difficilement les résultats obtenus. Cette remarque est intéressante car elle souligne le problème que pose l'utilisation d'une expérience simulée par rapport à l'expérience réelle. Un enregistrement vidéo aurait peut-être été plus pertinent.

Pierre : « *Ça dépend comment on regarde.* »

Adrien : « *Non, c'est toujours le même mouvement, la balle c'est toujours la même.* »

Agathe : « *C'est Pierre qui a raison. Si on est sur le vélo, on voit la balle tomber tout droit et si on regarde le vélo passer, on voit la balle tomber en avançant* » (elle montre la parabole obtenue sur le papier-calque).

Enseignant : « *Alors comment savoir de quel mouvement on parle ?* »

Agathe : « *Il faut dire où l'on se place pour regarder le mouvement.* »

[...]

Enseignant : « *Que pensent ceux qui s'étaient exprimés pour Salviati ?* »

Alexandre : « *On avait raison ! La pierre tombe au pied du mât, c'est comme la balle aux pieds du cycliste !* »

Sylvain porte parole de Simplicio : « *C'est bizarre... pourtant le vélo avance pendant que la balle tombe, c'est comme si la balle suivait le vélo alors que plus personne ne la touche...* »

Enseignant : « *Est-ce que l'on a la même impression avec la chute de la pierre depuis le haut du mât ?* »

Alexandre : « *Oui c'est pareil, la pierre tombe et en même temps elle suit le bateau, elle ne va pas en arrière.* »

[...]

Ce travail de structuration permet à l'enseignant de pointer la relativité du mouvement et la nécessité de définir un référentiel lors de toute étude du mouvement. Il aborde ensuite, en reprenant les arguments développés par les élèves qui approuvent Simplicio, l'idée selon laquelle le mouvement horizontal de la pierre semble se conserver lors de la chute. Cette approche constitue une sensibilisation au principe de l'inertie.

Un second exemple intervient dans la progression de la séquence après une séance de travaux pratiques consacrée au principe de l'inertie¹. Cette séance de travaux pratiques n'est pas décrite ici en détail car elle ne propose aucune introduction d'éléments d'histoire des sciences. Elle vise,

(1) Principe de l'inertie résulte ensuite d'une réflexion à partir de la question suivante : « Un corps soumis à des forces qui se compensent peut-il se déplacer ? »

outre l'énonciation du principe de l'inertie, l'objectif selon lequel il est équivalent de dire « *un corps est soumis à plusieurs forces qui se compensent* » et « *un corps n'est soumis à aucune force* ». L'exploitation d'une séquence vidéo mettant en scène un bobsleigh initialement immobile et vide puis immobile et chargé et enfin chargé et mis en mouvement (une poussée est exercée), constitue la trame de la séance. Pour chacune de ces situations, les élèves doivent établir un bilan des forces appliquées au bobsleigh. L'analyse de l'effet de la poussée permet de distinguer les notions de force et de vitesse. L'énoncé du principe de l'inertie résulte ensuite d'une réflexion à partir de la question suivante : « *Un corps soumis à des forces qui se compensent peut-il se déplacer ?* »

Ce deuxième exemple consiste en une approche du phénomène de la gravitation à partir d'extraits de textes de Newton (1990), (annexe 3). Cette fois encore les objectifs sont pluriels : il s'agit de définir la force d'interaction gravitationnelle (expression et unités), d'aborder certains effets résultant de l'existence de cette force et de réinvestir le principe de l'inertie. Deux questions seront abordées au cours de cette séance :

- « *Pourquoi la Lune reste-t-elle au voisinage de la Terre (Q1) ?* »
- « *Pourquoi ne tombe-t-elle pas sur la Terre (Q2) ?* »

L'enseignant situe brièvement le contexte historique des travaux de Newton et après une lecture silencieuse, les différents passages sont lus à haute voix. Par la suite le travail s'effectue en binôme. Chacun, afin de répondre aux premières questions du questionnaire (annexe 3) doit repérer les informations concernant la force d'interaction gravitationnelle avant de pouvoir établir cette dernière.

Tous remarquent : « *C'est du vieux Français* », mais finalement ne sont pas rebutés pour effectuer une sorte de « traduction ». Certains même semblent y prendre beaucoup de plaisir et déclarent : « *C'est comme un code...* »

Les élèves avaient pour consigne de répondre aux quatre premières questions. La mise en commun confirme la réussite des élèves, exception faite de la première question. Ces courts extraits sont faciles à appréhender par ces derniers. La question Q1 en revanche nécessite une mise au point.

Enseignant : « *Pourquoi Newton insiste-t-il sur le fait que la force de gravité « retire [la Lune] du mouvement rectiligne* » ? *Que veut-il dire ?* »

Olivia : « *Que si la Lune n'est pas attirée par la Terre, elle s'échappe.* »

Audrey : « *Elle part à l'opposé, comme quand on tient une corde à deux et que l'un des deux lâche la corde.* »

Kevin : « *La Lune est attirée par la Terre car sinon elle irait tout droit, mais en même temps il faut quelque chose qui la repousse sinon la Lune s'écraserait sur la Terre.* »

Enseignant : « Tu dis elle irait tout droit, est-ce que Newton parle de cela ? »

Kevin : « Oui, il dit mouvement rectiligne. »

Enseignant : « Qu'est ce que c'est que ce mouvement rectiligne ? »

Olivia : « C'est le mouvement de la Lune lorsqu'elle n'est pas attirée par la Terre ? »

Enseignant : « Comment l'expliquer ? »

Aurélie : « La Lune se déplace parce que rien ne l'empêche d'avancer. »

Olivia : « Ça dure tout le temps. »

Enseignant : « Est ce que ça vous rappelle quelque chose, connaissez-vous d'autres exemples ? »

Après quelques hésitations, les élèves évoquent le principe de l'inertie dont les principales caractéristiques sont reprises par l'enseignant.

À la suite d'un temps de discussion au sein de chaque binôme, les questions 5 et 6 donnent lieu à un travail collectif. Les principales difficultés rencontrées sont liées à la proportionnalité (la force est-elle proportionnelle à d , à d^2 ou à $\frac{1}{d^2}$, les relations d'ordre entre $\frac{1}{d^2}$ et d^2 ne sont pas établies, comment établir la relation entre la force et la quantité de matière ?) ainsi qu'à l'utilisation d'unités complexes (le newton s'exprime également en kg.m. s^{-2}). Si la question de la proportionnalité avec « la quantité de matière que chaque corps contient » ne semble pas poser de problème, l'enseignant doit revenir sur le fait que cette proportionnalité concerne les deux masses évoquées. Certains élèves hésitent quant à la place de ce produit dans l'expression : s'agit-il du numérateur ou du dénominateur ?

Une autre difficulté pointée à cette étape du travail concerne le terme d'*interaction* qui qualifie la force gravitationnelle. En effet, s'il n'y a pas de difficulté majeure pour comprendre que la Lune exerce une force sur la Terre, l'égalité entre les deux forces se heurte à la conception : « c'est le plus massif qui attire davantage ».

La seconde partie de cette séance de travaux pratiques s'organise comme précédemment (alternance travail en binôme, mise en commun). Les résultats obtenus à la question 1 renvoient aux problèmes fréquents de calcul numérique (l'expression à calculer est complexe) et d'unités (un véritable travail lié à l'analyse dimensionnelle semble s'imposer).

Afin d'aborder la question Q2 (*Pourquoi la Lune ne tombe-t-elle pas sur la Terre ?*), les élèves doivent lire un extrait, inspiré d'un texte de Newton, permettant d'appréhender la satellisation d'un projectile. Le texte est

commenté succinctement par l'enseignant qui souligne l'influence de la vitesse initiale sur la trajectoire et l'impact au sol d'un projectile avant que la question ne soit traitée.

Loïc : « *C'est parce qu'elle a de la vitesse que la Lune ne s'écrase pas sur la Terre.* »

Sylvain : « *Oui mais une grande vitesse.* »

Enseignant : « *Pourquoi ?* »

Marie : « *Sinon comme la pierre, elle tomberait.* »

Enseignant : « *Où ?* »

Loïc : « *Sur la Terre !* »

Alexandre : « *C'est différent car la Lune n'est pas jetée en l'air comme une pierre.* »

Enseignant (s'adressant à l'ensemble de la classe) : « *Qu'en pensez-vous ?* »

Élèves : ???

Enseignant : « *Pourquoi, si je connaissais un peu mais pas très bien les travaux de Newton, est-ce que je pourrais croire que la Lune risque de tomber sur la Terre ?* »

Marie, Élodie : « *À cause de la force gravitationnelle.* »

Enseignant : « *Mais alors pourquoi dans la réalité la Lune ne tombe-t-elle pas ?* »

Marie, Élodie : « *À cause de la vitesse.* »

Enseignant : « *Oui mais quelle vitesse ? Je n'ai pas jeté la Lune en l'air comme un caillou ?!* »

Loïc : « *La vitesse du mouvement rectiligne, celle du début - il relit la phrase longuement discutée dans la première partie du TP (Q 1)* »

Majoritairement les élèves répondent à la question en affirmant que c'est parce que la Lune a une certaine vitesse qu'elle ne tombe pas sur la Terre. Le lien entre cette proposition et le principe d'inertie n'est pas acquis par l'ensemble de la classe, mais tous semblent donner une explication qui nécessite de distinguer les concepts de force et de vitesse.

3. L'ÉVALUATION

Nous avons essayé d'élaborer un questionnaire d'évaluation (annexe 4) en nous référant aux intérêts culturels, didactiques et liés à la motivation,

mentionnés dans l'introduction. Pour des motifs liés à l'organisation de la classe, cette évaluation porte sur l'ensemble de la séquence de mécanique et pas uniquement sur les deux exemples présentés ci-dessus.

Le premier exercice met en jeu la notion de référentiel et la capacité des élèves à en changer.

Le deuxième exercice demande d'appliquer le principe d'inertie dans le cadre d'une situation nouvelle. Il ne s'agit pas d'une question de cours.

Le troisième exercice vise à vérifier chez les élèves la connaissance de la formule traduisant la gravitation.

Les quatrième et sixième questions sortent du cadre scolaire habituel et tentent de tester le recul que les élèves ont de ce qui vient de leur être enseigné. À travers la cinquième question, nous voulions savoir si les élèves connaissaient d'autres savants que Galilée et Newton, et notamment s'ils se souvenaient de ceux qui furent évoqués dans les enseignements précédents.

Résultats

Comme pour une évaluation concernant toute innovation, les résultats sont plutôt encourageants.

Majoritairement le **changement de référentiel** demandé dans la question 1 est correctement effectué (bonnes réponses : 78 % pour la question A, 67 % pour la question B et 60 % pour la question C). Deux éléments doivent toutefois être soulignés. Le premier concerne les difficultés rencontrées par les élèves pour décrire le mouvement en utilisant un vocabulaire précis, alors que la réalisation d'un dessin de la trajectoire rend compte d'un mouvement correct. Le deuxième élément significatif résulte de la difficulté qu'ont les élèves à appréhender le mouvement de l'ascenseur. Une assimilation, pour certains élèves, de l'ascenseur à l'immeuble, ne permet pas de prendre en compte le mouvement du centre du plateau.

La question 2 aborde le problème du principe de l'inertie ; il s'agit pour les élèves de transférer à une situation nouvelle des connaissances acquises précédemment. Malgré l'absence de repère liée à la situation proposée, les élèves mobilisent correctement le principe de l'inertie lors de l'absence de forces ou lorsque celles-ci se compensent ; en revanche, ce principe est beaucoup plus difficile à utiliser pour mettre en évidence des forces qui ne se compensent pas (seulement 27 % de bonnes réponses à la dernière partie de la question).

Si l'expression de la force d'interaction et celle du poids, demandées dans la question 3 sont correctes (85,5 % de bonnes réponses pour l'expression de la force d'interaction et 80 % pour le poids ; il n'y a pas de réponses erronées mais une absence de réponses), les unités sont moins bien

maîtrisées (71 % de bonnes réponses pour la force d'interaction et seulement 56 % pour le poids). Ainsi l'erreur la plus fréquente réside dans la confusion entre les grandeurs *poids* et *masse* : le poids, qui n'est pas appréhendé en tant que force, est assimilé à la masse et exprimé en kilogramme. Une autre erreur réside dans la confusion du poids et de l'accélération de la pesanteur.

La question 4 révèle que les élèves ont repéré dans les exercices le principe de l'inertie et la gravitation alors que ces termes ne sont pas explicitement mentionnés dans les énoncés. En revanche le fait que le choix du référentiel soit toujours imposé dans les exercices conduit les élèves à négliger le concept de référentiel qui est très peu cité.

La question suivante relative aux savants et à l'objet de leurs travaux consacre Newton alors que Galilée n'arrive qu'en second plan au même titre que Descartes (travaux abordés dans le cours d'optique) et Einstein. Si d'autres scientifiques sont parfois cités (Pierre et Marie Curie notamment), il est décevant de constater que les contributions de l'ensemble des auteurs cités (y compris Newton et Galilée) sont majoritairement absentes.

L'énoncé trop imprécis de la dernière question de cette évaluation a dérouté les élèves. Ces derniers ont répondu en utilisant tous les termes à leur disposition ou se sont abstenus de répondre. Hormis le fait que le terme de référentiel soit majoritairement placé en première position, soulignant ainsi l'importance de celui-ci, il est difficile d'interpréter des réponses souvent fortuites.

Remarque : un professeur d'un des lycées où a eu lieu notre expérimentation, intéressé par notre présentation, s'est porté volontaire pour tester ce questionnaire, alors qu'il avait réalisé dans un temps identique une séquence d'enseignement ne faisant aucunement appel à des textes historiques. Les résultats qu'il a obtenus dans une classe équivalente du point de vue du niveau scolaire et du milieu social sont reportés ici pour information plus que pour comparaison.

Pour ce qui concerne la question abordant les changements de référentiels, seule la première partie est correctement traitée – 81 % de bonnes réponses pour a), 58 % pour b) et 4 % pour c).

Les réponses apportées à la question 2 indiquent que le principe de l'inertie n'est pas maîtrisé, ainsi 54 % des élèves ne donnent pas de réponse à la première partie de la question alors que 62 % n'en donnent pas pour la dernière partie ; les taux de réussite à cette question demeurent assez faibles (11,5 % de bonnes réponses à la première partie).

Les résultats les plus décevants proviennent de la question relative à l'expression de la force d'interaction gravitationnelle ainsi qu'à l'expression du poids. Les formules sont incorrectes, imprécises : le carré de la distance,

dans l'expression de la force d'interaction gravitationnelle, devient un simple indice, le problème des unités est très marqué (7,7 % de réponses correctes pour l'expression du poids qui est majoritairement donné en kilogramme), en outre, la moitié des élèves ne répond pas entièrement à cette question.

Les objectifs notionnels du programme de seconde n'étant pas atteints les trois questions suivantes semblent déroutantes pour les élèves. Ainsi un fort taux d'absence de réponse pour les questions 4 et 6 ne permet pas d'en faire une analyse. Newton et Galilée qui le suit sont, comme précédemment, les auteurs les plus cités dans la question 5 ; une fois encore les contributions ne sont pas indiquées dans les réponses. L'apparition d'un savant, nommé Inertie et cité à trois reprises, montre la non-stabilisation des connaissances enseignées. Il est en effet significatif que le terme d'inertie soit associé à un nom propre et non rattaché à des concepts physiques.

Nous sommes bien convaincus du fait que, les classes n'ayant pas reçu le même enseignement, des paramètres (l'investissement des enseignants par exemple) peuvent entraîner des biais importants.

En résumé pour notre expérimentation, si les acquis méthodologiques et culturels sont moindres par rapport à nos attentes, les acquis notionnels ne sont pas négligeables, même si nous ressentons que le principe d'inertie pose encore des problèmes et que le vocabulaire scientifique n'est pas suffisamment maîtrisé.

4. CONCLUSION

Il est bien évident qu'à travers cette expérience nous n'avons pas cherché à enseigner de l'histoire des sciences en tant que telle. Il nous semble d'ailleurs que cet enseignement-là n'est possible que si les élèves possèdent déjà un minimum de connaissances scientifiques et la capacité à prendre du recul sur ces connaissances. Curieusement, il s'avère que les élèves sont demandeurs de faits historiques concernant les sciences (Guedj & Dusseau, 1999) comme si la science enseignée, déshumanisée, car coupée de ses racines, et ne s'ancrant pas véritablement de façon significative pour eux dans le vécu quotidien, apparaissait comme décontextualisée de toute référence. Les élèves éprouveraient donc un besoin implicite de compléter ces manques.

Indépendamment des faits historiques ou des anecdotes, nous avons orienté notre recherche en essayant de souligner l'intérêt que peuvent présenter certaines sources primaires. Notre utilisation de textes historiques des sciences s'apparente ici à la mise en place de situations-problèmes qui d'une part donnent du sens à l'enseignement qui s'ensuit et d'autre part créent une motivation chez les élèves.

On peut en effet parler de situations-problèmes car des obstacles cognitifs clairement identifiés (la relativité du mouvement, le principe de l'inertie, l'expression de la gravitation) ont donné lieu à des débats dans la classe qui ont permis, pour certains élèves, une première avancée vers le franchissement de ces obstacles.

Les textes choisis ont facilité l'organisation de débats socio-cognitifs (décrits ci-dessus) dont l'intérêt dans la construction de leur savoir par les élèves a été mis en évidence depuis longtemps (Perret-Clermont, 1979). Ainsi, lorsque l'utilisation de textes primaires permet une « mise en débat » accessible aux élèves, les discussions sont fécondes. La controverse semble constituer une mise en situation particulièrement riche, tant d'un point de vue de la méthode développée que pour les échanges (maître-élèves et élèves-élèves). Par ailleurs, le fait de devoir argumenter pour convaincre nécessite de réviser le statut de l'erreur. Indépendamment d'un travail centré sur la controverse, l'étude d'extraits célèbres et simples suscite l'intérêt des élèves qui, en « décodant » et interprétant les travaux d'un auteur, vont s'approprier davantage les résultats mais également le questionnement. Dans le cas de l'expression de la force gravitationnelle, certains élèves ont remarqué : « *C'est presque la formule du livre* » ; la transition permettant la formulation mathématique semble avoir donné du sens à l'expression. Nous aurions pu essayer la mise en place de situations problèmes sans référence à l'histoire des sciences sur les sujets traités et en tester les résultats. Mais celles présentées ici ont le mérite, par leur simplicité, de pouvoir être mises en œuvre facilement.

Ainsi que Fillon (1991) le souligne, une erreur serait de croire que les élèves se retrouvent dans la situation des premiers savants ayant travaillé dans un domaine donné et qu'ils vont aborder ce domaine de la même façon c'est-à-dire avec les mêmes conceptions. Par contre, il nous semble ici opportun de relever les propos de Bachelard : « *C'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique. [...] Le réel n'est jamais ce qu'on pourrait croire, mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser* » (Bachelard, 1938, p. 13). Ces propos prennent tout leur sens, car les obstacles qu'ont dû surmonter les scientifiques ressemblent étrangement à ceux que doivent surmonter les élèves.

Peut-on aller plus loin sans accroissement du temps d'enseignement prévu pour chaque chapitre afin de traiter tout le programme ? Il n'est évidemment pas question d'aborder l'ensemble du programme de cette façon. Cette introduction d'éléments d'histoire des sciences ne convient que si l'on dispose de textes historiques simples pour les élèves et si les objectifs didactiques (objectifs-obstacles selon Martinand) sont suffisamment ciblés.

Au point de vue culturel, on peut fournir des éléments bibliographiques concernant ces savants (ici Galilée et Newton) mais, d'une part, ces connaissances anecdotiques ne laissent pas beaucoup de traces chez les

élèves, et d'autre part il ne s'agit pas d'histoire des sciences. Plus encore, les anecdotes s'avèrent souvent dangereuses pour les représentations de la science que construisent les élèves. Les représentations des futurs enseignants sur l'histoire des sciences véhicule parfois l'image d'une science caricaturale que renforce l'utilisation fréquente d'anecdotes (Gagné, 1994). La formation à l'histoire des sciences pour ces futurs enseignants doit donc se démarquer d'une telle approche réductrice.

Par contre, ce sur quoi il nous semble fondamental d'insister c'est sur les problématiques, considérées comme des ensembles structurés de questions et les méthodologies (notamment les expériences de pensée) développées par ces savants. Pour nous, avec la notion de controverse, elles sont réellement constitutives de cette culture scientifique dont les élèves doivent s'imprégner.

BIBLIOGRAPHIE

- AUDIGIER F. & FILLON P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques*. Paris, INRP.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2001). *Programmes applicables en classe de seconde générale et technologique*, hors-série n° 2, 30 août 2001. Paris, ministère de l'Éducation nationale.
- FILLON P. (1991). Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves. *Aster*, n° 12, p. 91-120.
- GAGNÉ B. (1994). Autour de l'idée d'histoire des sciences : représentations discursives d'apprenti(e)s-enseignant(e)s de sciences. *Didaskalia*, n° 3, p. 61-78.
- GALILÉE G. (2000). *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde*. Paris, Seuil, Point sciences.
- GUEDJ M. & DUSSEAU J.-M. (1999). À propos d'une formation des enseignants de sciences physiques à l'épistémologie et à l'histoire des sciences. *Bulletin de l'union des physiciens*, vol. 93, n° 815, p. 991-1005.
- HULIN N. (1996). Histoire des sciences et enseignement scientifique quel rapport ? Un bilan XIX^e- XX^e siècles. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 786, p. 1201-1243.
- MARTINAND J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? *Didaskalia*, n° 2, p. 89-99.
- MERLE H. (2002). Histoire des sciences et sphéricité de la Terre : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, n° 20, p. 115-136.
- NEWTON I. (1990). *Les principes mathématiques de la philosophie naturelle. Traduction de la Marquise du Châtelet, fac-similé de l'édition Desaint et Saillant, 1759*. Paris, Jacques Gabay.
- PERRET-CLERMONT A.-N. (1979). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne, Peter Lang.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Marjorie Molina, Gilles Étier et Aurélien Pagès pour leur aide dans la réalisation concrète des séances.

ANNEXE 1

Extrait du « **Dialogue sur les deux plus grands systèmes du Monde** » de Galiléo Galilée

Simplicio : « Il y a par ailleurs l'expérience si caractéristique de la pierre qu'on lance du haut d'un mât du navire : quand le navire est au repos, elle tombe au pied du mât ; quand le navire est en route, elle tombe à une distance égale à celle dont le navire a avancé pendant le temps de la chute de la pierre ; et cela fait un bon nombre de coudées quand la course du navire est rapide... »

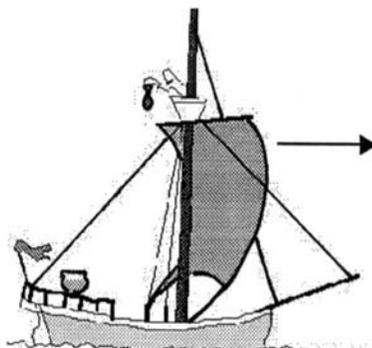
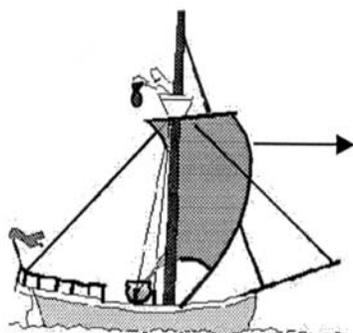
Salviati : « [...] Vous dites : quand le navire est à l'arrêt, la pierre tombe au pied du mât et quand le navire est en mouvement, elle tombe loin du pied ; inversement donc, quand la pierre tombe au pied du mât ; on en conclut que le navire est à l'arrêt, et quand elle tombe loin du mât, on en conclut que le navire est en mouvement ; comme ce qui arrive sur le navire doit également arriver sur la Terre, dès lors qu'une pierre tombe au pied d'une tour, on en conclut nécessairement que le globe terrestre est immobile. [...] Avez-vous jamais fait l'expérience du navire ? »

Simplicio : « Je ne l'ai pas faite, mais je crois vraiment que les auteurs qui la présentent en ont soigneusement fait l'observation [...] »

Salviati : « [...] Et il trouvera en effet que l'expérience montre le contraire de ce qui est écrit. La pierre tombe au même endroit du navire que celui-ci soit à l'arrêt ou avance à n'importe quelle vitesse. »

ANNEXE 2

Attribuez à chaque interlocuteur la situation pour laquelle le poisson tombe dans l'aquarium. Dessinez la chute du poisson dans chaque cas.



ANNEXE 3

I Pourquoi la Lune reste-t-elle au voisinage de la Terre ?

Extraits des « **Principes mathématiques de la philosophie naturelle** » de Newton

« La Lune gravite vers la Terre, et par la force de gravité est continuellement retirée du mouvement rectiligne et retenue dans son orbite [...] »

La force qui retient la Lune sur son orbite tend vers la Terre, et en raison réciproque du carré de la distance des lieux de la Lune au centre de la Terre [...]

La gravité appartient à tous les corps, et elle est proportionnelle à la quantité de matière que chaque corps contient... »

- 1- Quel est le principe sous-entendu par Newton lorsqu'il écrit « ... et par la force de gravité elle est continuellement retirée du mouvement rectiligne ? » Expliquer la signification de cette phrase.
- 2- Quel est l'objet acteur de cette force de gravité ? Quel est l'objet receveur ?
- 3- S'agit-il d'une force d'attraction ou de répulsion ? Quel mot dans le texte permet de répondre à cette question ?
- 4- Que signifie « ... tend vers la Terre » ?
- 5- On note « d » la distance entre le centre de la Terre et le centre de la Lune. La valeur de la force de gravité est-elle proportionnelle à d ? à d^2 ? ($1/d^2$) ? Justifier la réponse.
- 6- « m_T » désignant la masse de la Terre et « m_L » celle de la Lune, exploiter le texte de Newton, pour écrire la loi de la gravitation.

II Pourquoi la Lune ne tombe-t-elle pas sur la Terre ?

- 1- Comparer la force de gravitation et le poids :
 - Caractériser le poids d'une boule, de masse $m = 0,80$ kg, posée au sol. ($g = 9.8$ N/kg)
 - Caractériser la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la boule.
($G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{s}^2$, $R_T = 6380$ km, $m_T = 5.98 \cdot 10^{24}$ kg)
 - Comparer ces deux forces
- 2- Comprendre avec Newton, comment un projectile peut être satellisé ?

D'après « De la Gravitation » d'Isaac Newton :

« ... plus la pierre sera projetée avec une grande vitesse, plus elle ira loin avant de retomber sur la Terre. Nous pouvons donc en déduire qu'en augmentant sa vitesse initiale, elle pourra parcourir des distances de 1, 2, 5, 100, 1000 milles avant de retomber sur la Terre, elle poursuivra son parcours dans l'espace sans avoir touché le sol. »

Pourquoi la Lune, attirée vers la Terre par la force gravitationnelle, ne s'écrase-t-elle pas sur celle-ci ?

Vous allez utiliser un logiciel de simulation pour déterminer la vitesse de satellisation de la Lune, pour cela vous allez augmenter la vitesse jusqu'à obtenir une trajectoire circulaire. Noter la valeur de cette vitesse. (Suivre les instructions du professeur pour l'utilisation de ce logiciel).

ANNEXE 4

Question 1 : Un enfant demeurant au deuxième étage rapporte chez lui un vieux tourne-disque que son grand-père (habitant le 18^e étage) vient de lui donner. Il prend l'ascenseur tout en s'amusant à faire tourner le plateau régulièrement. Il regarde le mouvement d'un autocollant collé sur le bord du plateau.

- a) Quel est le mouvement de l'autocollant assimilé à un point, par rapport au plancher de l'ascenseur ?
- b) Quel est le mouvement du centre du plateau par rapport à l'immeuble ?
- c) Quelle est la trajectoire de l'autocollant par rapport à l'immeuble ? Faire un dessin.

Question 2 : Un vaisseau spatial navigue dans le cosmos, loin de toute planète : il n'est soumis à aucune force.

- a) Quelle est la nature de son mouvement ?
- b) A-t-il besoin d'un système de propulsion pour maintenir sa vitesse constante ?
- c) Le vaisseau approche d'une planète et se place en orbite circulaire autour d'elle. Les forces qui s'exercent sur l'appareil se compensent-elles ? Justifier la réponse.

Question 3 :

- a) Écrire l'expression de la force d'interaction F qui s'exerce entre deux corps de masse m_1 et m_2 et dont les centres sont distants de la longueur d . Quelle est l'unité de F ?
- b) Écrire l'expression du poids d'un objet de masse m à la surface de la Terre. Quelle est l'unité de P ?

Question 4 : Quelles notions relatives à ce que vous avez appris en mécanique sont-elles abordées dans chacune des trois questions précédentes ?

Question 5 : Citer trois ou quatre noms de physiciens ou chimistes. Sur quoi ont-ils travaillé ?

Question 6 : Vous devez résoudre un exercice de mécanique, il y a trois étapes :

1.
2.
3.

En vous aidant des mots suivants, faire des phrases et compléter les trois étapes :

Repère, forces, vitesse, référentiel, trajectoire, mouvement.

Cet article a été reçu le 18/05/04 et accepté le 20/09/04.