

Comment les élèves du collège conçoivent le mouvement du pendule : une recherche empirique

Sotiris Dossis* et Dimitris Koliopoulos**

* Enseignement secondaire et Département des Sciences de l'Education (Section Préscolaire),
Université de Patras, Grèce
sdossis@sch.gr

** Département des Sciences de l'Education (Section Préscolaire),
Université de Patras, Grèce
dkoliop@upatras.gr

Résumé

Le présent article se réfère à une étude empirique relative à la manière dont les élèves de collège conçoivent les caractéristiques fondamentales du savoir scientifique, tel qu'il est mobilisé dans le phénomène du mouvement du pendule¹. Plus précisément, seront présentées ici les conclusions issues de l'analyse des réponses à un questionnaire administré à des élèves de 3^e (14-15 ans), avant que ne leur soit enseigné le sujet en question. Les questions concernent les trois dimensions du savoir scientifique (culturelle, conceptuelle et méthodologique). L'analyse des réponses des élèves montre que les connaissances des élèves concernant le pendule présentent d'importants problèmes, surtout dans les composantes méthodologique et conceptuelle du savoir scientifique. Les conséquences éventuelles des résultats de la présente étude sur l'élaboration d'un programme d'enseignement innovant sont enfin discutées.

Mots clés

Didactique de la physique – Enseignement secondaire – Pendule

Abstract

The present study refers to an empirical research study on how 13-14-year-old Greek conceive the basic characteristics of knowledge concerning the movement of the simple pendulum. Particularly, we present the results of the research effort as they emerge out of the analysis of a questionnaire which was given to the students before the teaching took place. The questions are related to the three dimensions of scientific knowledge : the conceptual, methodological and cultural dimensions. In discussing the results of our analysis set out in this research, we can draw the conclusion that several important conceptual and methodological problems are revealed. Finally, we discuss the effect our study's results may have on the planning of an innovative curriculum.

Key Words

Pendulum – Science education – Secondary school

¹ Par caractéristiques fondamentales du savoir scientifique concernant le pendule, nous considérons ici les caractéristiques qui, d'après l'analyse historique et épistémologique, jouent le plus grand rôle dans la mise en valeur du mouvement du pendule dans un problème scientifique contemporain. Ces caractéristiques semblent être la relation du pendule avec la mesure du temps (dimension culturelle), son mouvement isochrone (dimension notionnelle) et le schéma logique hypothético-déductif (dimension méthodologique) (Matthews, 2000). Bien évidemment, il existe d'autres caractéristiques du savoir scientifique lié au pendule (comme par exemple l'analyse "énergétique" de son mouvement et les erreurs dans la mesure de la période du pendule qui ne sont pas examinées dans notre étude.

Introduction

L'enseignement du pendule², en Grèce comme dans de nombreux pays, constitue un objet fondamental d'enseignement à différents niveaux de l'éducation. Certains chercheurs soutiennent du reste que cet enseignement est nécessaire car il permet de mettre en valeur les trois dimensions du savoir scientifique de façon équilibrée : la dimension culturelle (par exemple, sa relation avec la mesure exacte du temps ou la mise en valeur du cadre historique de la production du savoir scientifique qui y est liée), la dimension conceptuelle (par exemple, l'analyse énergétique du mouvement du pendule) et la dimension méthodologique (par exemple, le contrôle des facteurs qui influencent la période du pendule, Matthews, 2000 ; Matthews, Gauld & Stinner, 2005). Pourtant, il semble que soient peu nombreuses les recherches explorant les représentations mentales des élèves dans ce domaine, ainsi que la manière dont ces représentations évoluent et changent au cours de l'enseignement (Dossis & Koliopoulos, 2005).

La présente étude s'inscrit dans une étude empirique plus large, relative à la manière dont les élèves de collège conçoivent les caractéristiques fondamentales du savoir scientifique, tel qu'il est mobilisé dans le phénomène du mouvement du pendule. Plus précisément, seront présentées ici les conclusions issues de l'analyse des réponses à un questionnaire administré à des élèves de 3^e (14-15 ans), avant que ne leur soit enseigné le sujet en question. Les questions concernent les trois dimensions du savoir scientifique (culturelle, conceptuelle et méthodologique). Concrètement, on cherche à savoir dans quelle mesure et de quelle façon les enfants de cet âge (a) comprennent le pendule comme un mécanisme permettant de mesurer le temps avec exactitude par rapport à d'autres mécanismes de mesure du temps (dimension culturelle), (b) perçoivent le mouvement isochrone du pendule et les conditions de sa transformation en horloge à pendule (dimension conceptuelle) et (c) comprennent la manière dont sont contrôlés les facteurs dont dépend la période du pendule (dimension méthodologique). Avant de présenter les résultats, nous évoquerons la formation historique du problème du pendule, les caractéristiques fondamentales du savoir scientifique afférent, ainsi que les acquis de la littérature concernant les perceptions du pendule par les élèves. Nous discuterons enfin les conséquences éventuelles des résultats de la présente étude sur l'élaboration d'un programme d'enseignement innovant.

Le savoir de référence

Dans la tradition hellénique, l'horloge à pendule (ou horloge à balancier) est précédée par deux types d'horloges : le cadran solaire et l'horloge à eau (clepsydre). En revanche l'horloge mécanique, apparue en Europe centrale au Moyen-âge et considérée comme l'ancêtre de l'horloge à balancier, est absente de cette tradition. La faiblesse évidente des cadrans solaires et des horloges hydrauliques pour mesurer des intervalles de temps avec précision a été corrigée par les horloges mécaniques, apparues au début du XIV^e siècle, qui signèrent le passage du temps de l'Eglise et de l'heure inégale au temps séculier et aux heures identiques. Cependant, la grande faiblesse du mécanisme d'échappement des horloges mécaniques était que ledit mécanisme ne disposait pas d'une fréquence d'oscillation naturelle. S'occupant de problèmes de longitudes géographiques, Galilée construisit une horloge mécanique remplaçant l'ancien mécanisme d'échappement par le pendule. D'après Matthews (2000), l'horloge pendulaire apparaît d'une part comme une solution à un problème culturel - technologique et d'autre part comme le produit de l'analyse scientifique du mouvement du pendule, telle qu'elle apparaît dans le travail de Galilée. Les éléments de base de cette analyse sont liés tant avec la dimension conceptuelle qu'avec la dimension méthodologique du savoir scientifique. Sur le plan conceptuel, la notion du mouvement isochrone du pendule est fondamentale et précède toute analyse en termes de forces ou d'énergie qui la présuppose ou la démontre par la réflexion mathématique. Cette notion découle à la fois de la loi de la longueur et de la loi de l'amplitude du pendule.

De l'autre côté, sur le plan méthodologique, le travail de Galilée montre que l'explication mathématique précède toute démonstration empirique du mouvement isochrone du pendule. "L'expérience peut suggérer l'explication ou elle peut confirmer ou illustrer l'explication, mais elle n'est pas l'explication elle-même" (Matthews, 2000, p. 112). Le concept de mouvement synchrone naît donc au moment même où une nouvelle approche méthodologique des phénomènes physiques a pour résultat de transformer les objets physiques réels en objets des sciences physiques (Baltas, 1990).

Les conceptions des élèves

On constate avec surprise que la bibliographie relative à la recherche des conceptions des élèves concernant le pendule est assez pauvre. La presque totalité des références bibliographiques que nous avons repérées, se réfère ou est liée à la dimension méthodologique du savoir scientifique concernant le pendule. Un assez grand nombre

² Par le terme "pendule", nous entendons ici le pendule simple.

de recherches ont eu lieu dans le cadre du paradigme piagétien et on y explore les stratégies mises en œuvre par les enfants pour contrôler les variables qui interviennent dans le mouvement du pendule (Inhelder & Piaget, 1958 ; Stafford, 2002). Un résultat intéressant de ces recherches est que les enfants d'un âge analogue à celui qui nous intéresse ici sont susceptibles d'utiliser un raisonnement hypothético-déductif directement lié à la méthodologie scientifique. Concernant la stratégie de la séparation des variables, "Inhelder rapporte de façon caractéristique que vers l'âge de 14-15 ans, mais pas plus tôt, les adolescents contrôlent correctement toutes les hypothèses possibles, les associant de façon méthodique. Faisant varier la longueur, ils font attention à conserver le poids, l'amplitude et le mouvement stables. Faisant varier le poids, ils gardent stables la longueur du fil, ainsi que tous les autres facteurs, etc." (Bond, 2002, p. 123). Dans une autre étude ayant comme but de rechercher si des élèves de neuf à 11 ans sont capables de planifier des tests d'hypothèses concernant la durée de la période d'une pendule simple, il est constaté que même s'il est très difficile pour eux de produire un protocole expérimental, certains d'entre eux sont capables de lire un tableau et d'analyser un tel protocole (Flandé, 2000). Les recherches concernant la dimension conceptuelle du savoir scientifique concernant le pendule font néanmoins surtout référence au cadre conceptuel de l'analyse dynamique du mouvement du pendule (Cwudkova & Musilova, 2000 ; Galili & Sela, 2002) alors qu'on ne relève que deux références indirectes au problème du mouvement isochrone du pendule. Plus précisément, Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon et Jin-Woo Jeong (2002) rapportent que les conceptions antérieures des élèves quant au pendule ont un écho important sur la formation, le contrôle et la révision des hypothèses. Ces auteurs montrent qu'un assez grand nombre d'élèves du collège (environ 40% de l'échantillon) croient que la fréquence du pendule augmente ou diminue selon qu'on le laisse pendre de plus ou moins haut. L'expérience personnelle ou la non reconnaissance de la relation entre la distance et le temps sont deux raisons évoquées par les élèves pour justifier cette perception. De même, la non reconnaissance du mouvement isochrone du pendule apparaît lors des dialogues enregistrés entre les élèves (grecs, de classe de 3^o) et leur enseignant dans le cadre d'une leçon innovante concernant le pendule (Koumaras, 2002).

Enfin, aucune étude concernant la dimension culturelle du savoir scientifique à propos du pendule (c'est-à-dire liée à la recherche de la perception des élèves de la relation entre le pendule et l'horloge à balancier) n'a été repérée.

Il ressort de cette revue bibliographique que nous sommes parfaitement fondés à mener la présente recherche qui, d'une part, comble l'absence de recherche concernant la dimension culturelle du savoir scientifique liée au pendule et d'autre part, donne son importance relative non seulement à la dimension méthodologique mais aussi à la dimension conceptuelle du savoir scientifique mis en œuvre dans le mouvement du pendule.

La recherche

Le plan de la recherche

Dans le cadre de la présente étude, la technique choisie pour dépister les idées des élèves est celle du questionnaire ad hoc. Ce dernier est organisé en trois groupes de questions. Le premier dépiste les idées des élèves relatives à la composante culturelle du savoir scientifique, le second renvoie aux idées relatives à la dimension conceptuelle et le troisième se rapporte à l'aspect méthodologique. Chaque groupe est principalement composé de questions fermées. Dans l'Annexe 1 on trouvera le texte complet du questionnaire. Par les questions à caractère culturel (1A, 1B, 1C, 2) on cherche à comprendre si les élèves reconnaissent les mécanismes du temps, connaissent l'historicité de leur évolution et reconnaissent et justifient la possibilité qu'a le mécanisme de l'horloge à pendule de mesurer le temps avec une plus grande précision que le cadran solaire ou la clepsydre, ainsi que l'impact de l'amélioration de la précision sur les activités et les réalisations de l'homme. Par les questions à caractère conceptuel (3A, 3B, 4 et 5) on cherche à dépister les idées des élèves liées au mouvement isochrone du pendule, la relation (qualitative) entre la période et la longueur du fil, ainsi que la longueur du pendule qui "bat la seconde". Enfin, par les questions à caractère méthodologique (6, 7, 8A, 8B) on cherche à dépister les conceptions qu'ont les élèves de l'approche méthodologique hypothético-déductive, comme la lecture de variables et la stratégie de leur séparation.

L'échantillon de la recherche

169 élèves (84 garçons et 85 filles) de classes de troisième de quatre collèges différents ont pris part à la recherche. Ils n'avaient pas reçu d'enseignement systématique à propos du pendule. Tous cependant avaient, au cours des deux dernières années d'enseignement en Sciences physiques, reçu des éléments de Mécanique newtonienne puisque dans notre pays l'enseignement des phénomènes de mécanique constitue l'un des contenus les plus courants de la physique.

L'analyse et les conclusions de la recherche

Nous présentons ici des résultats qui proviennent du traitement quantitatif de l'ensemble de l'échantillon. Du reste, il semble d'après une autre étude qu'en règle générale, il n'y ait pas de différence importante entre les sexes ou les différents collèges dans lesquels le questionnaire a été administré (Pétraki, 2005). Trois niveaux d'analyse ont été utilisés pour le traitement des réponses au questionnaire : analyse par question, par groupe de questions et analyse des corrélations entre les réponses des groupes de questions (Dossis, 2006). Les résultats présentés ici sont ceux du deuxième niveau d'analyse qui, selon nous, offre une vue plus consistante et plus globale. Le regroupement des réponses aux questions de chaque groupe s'est fait de la façon suivante : pour chaque question, la réponse de l'élève était qualifiée d'"alternative" si sa conception s'éloignait de la conception scientifiquement acceptable et de "scientifique" si elle était conforme à cette conception. Sur la base de la somme des conceptions scientifiques que récoltait chaque élève dans chaque groupe de quatre questions, ses conceptions étaient qualifiées de scientifiques, mixtes ou alternatives. Concrètement, si la somme de ses conceptions scientifiques étaient de 0 ou 1, elles étaient qualifiées d'alternatives, si elles étaient de 2, on les disait mixtes et si elles étaient de 3 ou 4, elles étaient caractérisées de scientifiques. Les détails techniques de cette formation des groupes sont décrits par ailleurs (Dossis, 2006).

Les questions à caractère culturel

Le regroupement des réponses des élèves aux questions 1A, 1B, 1C, et 2, a montré que près de la moitié des élèves (49,7% exactement) expriment des conceptions conformes aux conceptions scientifiques et cela aux quatre questions qui constituent l'unité culturelle. Pour ce qui est des autres élèves, 25,4% expriment de telles conceptions pour trois des quatre questions, 23,1% pour deux questions, 1,8% pour une question ; aucun n'exprime de conception alternative à la totalité des questions de l'unité culturelle. Comme il apparaît dans la Figure 1, la proportion d'élèves exprimant des conceptions différent radicalement des conceptions acceptables est quasi nulle (1,8%) [$\chi^2(2) = 144,47$ $p < 0,001$]. Cela dit, 23,8% des élèves n'expriment pas de conceptions purement scientifiques. Les conceptions des élèves proviennent principalement de réponses montrant qu'ils n'ont pas encore acquis la connaissance culturelle de l'horloge à pendule comme mécanisme évolué de mesure exacte du temps. C'est-à-dire qu'une partie des élèves considère que la clepsydre ou le cadran solaire constituent des mécanismes plus précis que le pendule ou bien attribuent la précision de la mesure du temps non au mécanisme de l'horloge pendulaire lui-même mais à des raisons extérieures (par exemple, *les horloges pendulaires sont plus précises parce qu'on les utilise encore aujourd'hui*).

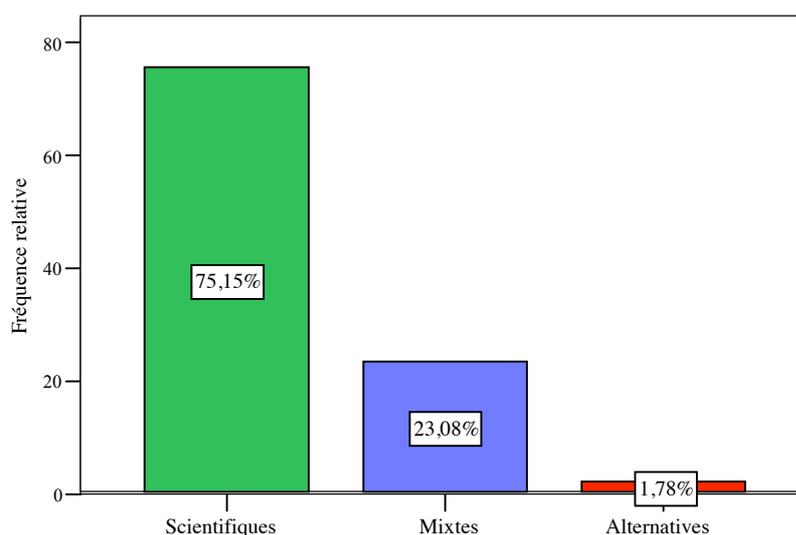


Figure 1. La catégorisation des questions à caractère culturel

Les questions à caractère conceptuel

Le regroupement des réponses aux questions 3A, 3B, 4 et 5, a montré que seulement 19,5% des élèves expriment des opinions compatibles avec les conceptions scientifiques, c'est-à-dire proches ou identiques [$\chi^2(2) = 14,82$, $p < .001$]. Plus précisément, peu nombreux (7,1%) sont les élèves qui expriment des conceptions conformes aux conceptions scientifiques aux quatre questions formant l'unité conceptuelle du questionnaire. De même, le pourcentage des élèves qui répondent de façon scientifiquement conforme à trois des quatre

questions est faible (15,4%). En revanche, une relative majorité des élèves – 42% – expriment des idées scientifiques dans la moitié des questions de l'unité. Enfin, 31,4% des élèves expriment des conceptions scientifiques à l'une des quatre questions. Comme il apparaît dans la Figure 2, sur l'ensemble des conceptions à caractère conceptuel des élèves, 1/5 seulement peut être considéré comme scientifique. Une relative majorité d'entre eux – 42% – exprime des conceptions mixtes alors que 38,5% font montre de conceptions alternatives. Si on prend en compte le fait que 50% des conceptions exprimées par le groupe des élèves ayant des conceptions mixtes, qui ne sont donc pas en accord avec le modèle scientifique, on est fondé à penser que le mouvement du pendule constitue un problème conceptuel important pour un grand nombre d'élèves. Ce problème est repérable dans leur incompréhension du mouvement isochrone du pendule. Comme le montrent les résultats de l'analyse des réponses à la question 4 (Tableau 1), la majorité absolue des élèves (78,4%) n'accepte pas la stabilité de la période et par conséquent le mouvement isochrone du pendule [$\chi^2(3) = 141,0$ $p < .05$]. Il semble plus probable aux élèves que la durée d'une simple oscillation diminue au cours du temps, conception qui renvoie directement à son équivalent historique.

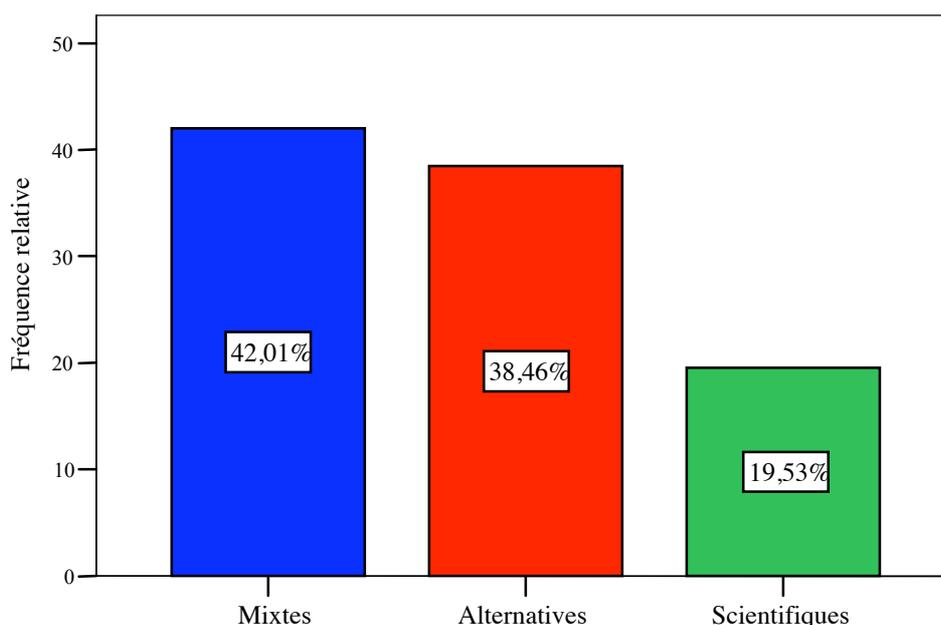


Figure 2. La catégorisation des questions à caractère conceptuel

Tableau 1. Les réponses des élèves à la question 4 du questionnaire

Question 4	
(i)	25 (14.8 %)
(ii)	108 (63.9 %)
(iii)	27 (16.0 %)
(iv)	9 (5.3 %)
Total	169 (100%)

En ce qui concerne les questions à caractère méthodologique, le regroupement des réponses des élèves aux questions 6, 7, 8A et 8B, a montré qu'un pourcentage minime, à peine 7,1% des élèves, exprime des idées conformes aux conceptions scientifiques aux quatre questions qui composent l'unité méthodologique. La proportion des élèves exprimant des conceptions conformes à trois des quatre questions est d'environ 19%, alors que 29% des élèves à peu près expriment des conceptions scientifiques à deux des quatre questions. La proportion des élèves exprimant des conceptions scientifiques pour une seule des quatre questions de l'unité est identique (29%) alors qu'un assez grand nombre de participants (16%) expriment des conceptions alternatives à toutes les questions. Comme il apparaît dans la Figure 3, la relative majorité des élèves (45,6%) exprime des conceptions alternatives au niveau méthodologique. Environ 26% des élèves seulement expriment des conceptions scientifiques aux questions de cette unité. Comme globalement les conceptions des élèves ne sont pas conformes au modèle scientifique, on peut soutenir que l'utilisation du raisonnement hypothético-déductif dans le contrôle de la relation entre les variables du mouvement du pendule constitue un problème important pour beaucoup des élèves de l'échantillon.

Un exemple caractéristique de cette hypothèse figure dans les résultats obtenus à la question 7 où est mesurée l'utilisation du raisonnement hypothético-déductif dans le contrôle expérimental de l'amplitude de l'oscillation sur la période du pendule. On verra dans le Tableau 2 que moins de la moitié des élèves (43,8%) choisissent la bonne réponse [___ (4) = 60,9, $p < .05$].

Figure 3. La catégorisation des questions à caractère méthodologique

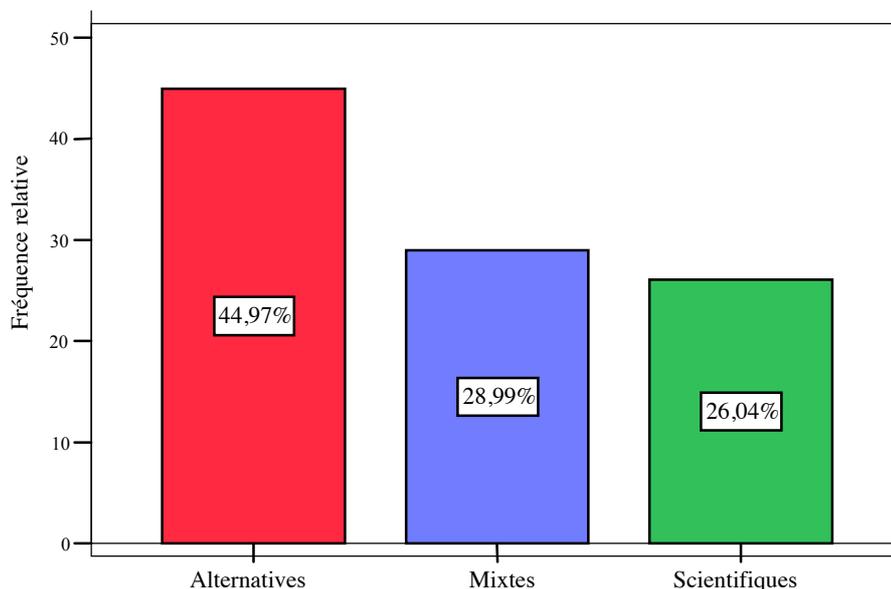


Tableau 2. Les réponses des élèves à la question 7 du questionnaire

Question 7	
(i)	28 (16.6 %)
(ii)	74 (43.8 %)
(iii)	20 (11.8 %)
(iv)	25 (14.8 %)
(v)	22 (13.0 %)
Total	169 (100%)

Discussion

La première conclusion à laquelle nous conduit naturellement cette analyse est que les connaissances des élèves concernant le pendule, ce dernier constituant un objet de l'enseignement traditionnel, présentent d'importants problèmes, surtout dans les composantes méthodologique et conceptuelle du savoir scientifique. Cette conclusion entre en contradiction avec la conviction, répandue chez les enseignants, selon laquelle les performances des élèves dans les travaux concernant le mouvement du pendule sont satisfaisantes, tout du moins pour ce qui est des facteurs influençant la période du pendule. Cette conviction, profondément ancrée, semble principalement s'appuyer sur le fait que, dans l'enseignement traditionnel du pendule, les travaux d'évaluation des élèves ne se réfèrent aucunement à la dimension conceptuelle du savoir scientifique engagé d'une part (par exemple, ils n'abordent pas le problème du mouvement isochrone du pendule) et d'autre part, qu'ils évaluent une connaissance algorithmique (la relation mathématique entre période et longueur et entre période et accélération de la pesanteur) qui fait l'objet d'une approche expérimentale dans un cadre empirico déductif par le biais d'une série d'injonctions conduisant à la conclusion juste. Les résultats de notre recherche font donc émerger des problèmes posés par l'enseignement traditionnel. Simultanément, ils permettent de cerner les difficultés cognitives des élèves aux niveaux conceptuel ou méthodologique. Les difficultés conceptuelles sont principalement repérables au niveau de la non reconnaissance de l'isochronie du mouvement du pendule, alors que les difficultés méthodologiques sont liées à une utilisation incorrecte du raisonnement hypothético-déductif dans l'approche expérimentale des lois du pendule. Cette difficulté méthodologique semble être liée non seulement à la nature du raisonnement hypothético-déductif (que, d'après les conceptions piagétienne, ils devraient déjà avoir acquises) mais aussi au contenu sur lequel s'applique ce raisonnement (difficulté de

compréhension du mouvement isochrone du pendule). Par ailleurs, il semble que le cadre culturel de la mesure du temps (et en particulier de la mesure précise du temps par l'horloge à pendule) soit un cadre de discussion accepté par la majorité des élèves de l'échantillon.

L'étude du pendule est contenue dans de nombreux programmes d'enseignement du secondaire, en Grèce comme à l'étranger. D'ordinaire, cependant, l'approche du pendule se fait indépendamment d'un cadre culturel (mesure précise du temps et/ou problème technologique de la construction d'horloges) alors que l'approche expérimentale des lois du pendule a clairement des caractères empiristes dans le cadre desquels la composante conceptuelle du mouvement isochrone a été réduite pour des considérations strictement techniques (Koliopoulos & Constantinou, 2005). Si on désire que l'enseignement du pendule s'adapte aux besoins cognitifs des élèves du collège et que simultanément on souhaite obtenir de meilleurs résultats d'apprentissage, il faudra alors remplacer le cadre traditionnel d'enseignement par un autre, scientifiquement plus valide (Hodson, 1988 ; Matthews, 2000) et psychologiquement mieux adapté aux besoins cognitifs des élèves de cet âge (Koumaras, 2002). Les principes de base de ce cadre innovant d'enseignement sont les suivants :

- la reconnaissance du pendule comme mécanisme de mesure exacte du temps, par rapport à des mécanismes plus anciens, nous permet de penser que la mesure du temps peut constituer un intérêt pour les élèves, cadre dans lequel sera étudié le pendule non seulement parce qu'il peut se rapporter à des éléments culturels intéressants (par exemple des références aux mécanismes de mesure du temps des Anciens Grecs) mais aussi parce que, pour la majorité des élèves, il constitue un cadre familier (au contraire par exemple d'un cadre, davantage technologique, dans lequel les élèves devraient reconnaître le pendule comme un mécanisme améliorant l'horloge mécanique) ;
- en ce qui concerne le cadre conceptuel, nous considérons que le problème du mouvement isochrone du pendule peut constituer un thème intéressant, capable de générer des discussions profitables (en comparaison avec d'autres cadres conceptuels, plus mathématisés et par conséquent moins intéressants, comme l'analyse dynamique et énergétique du mouvement du pendule). L'utilisation d'éléments de l'Histoire des sciences physiques peut contribuer aussi bien à la construction du mouvement isochrone du pendule qui constitue un important obstacle conceptuel pour les élèves, qu'à la construction d'une relation qualitative entre la période du pendule et la gravité ;
- la mise en valeur enfin de la méthode hypothético-déductive comme choix méthodologique fondamental semble acquérir, outre une validité épistémologique (par rapport à l'approche empiriste de l'enseignement traditionnel), une validité pédagogique puisque la mise en valeur de l'isochronie en tant que problème conceptuel de base, peut faciliter la compréhension du processus expérimental grâce auquel il est possible de mettre en relief les lois du pendule.

Les principes de base d'un enseignement innovant du pendule, énoncés ci-dessus au niveau du collège grec, ont déjà été transformés dans plusieurs séries d'unités didactiques qui seront appliquées afin qu'en soient évalués les résultats cognitifs et qu'ils soient comparés à ceux de la présente étude. Cette recherche est en cours d'élaboration.

Références bibliographiques

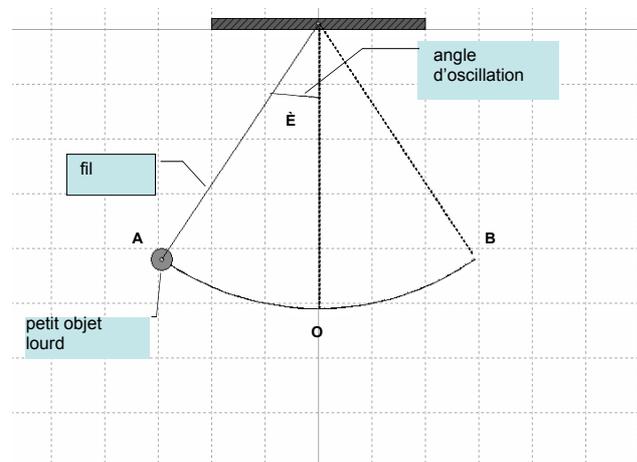
- Baltas, A. (1990). Once again on the meaning of physical concepts. _n P. Nikolakopoulos (Ed.), *Greek studies in the Philosophy and History of Science* (pp. 293-313). The Netherlands : Kluwer Academic Publishers.
- Bond, G.T. (2002). Piaget and the Pendulum. _n M.R. Matthews (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, volume 1 (pp. 121-129). Sydney : The University of New South Wales.
- Cwudkova, L. & Musilova, J. (2000). The Pendulum : A Stumbling Block of Secondary School Mechanics, *Physics Education*, 35(6), 428-435.
- Dossis, S. (2006). *Les représentations mentales des élèves de 3° concernant le pendule simple et leur évolution dans le cadre d'un projet d'enseignement innovateur*. Mémoire de DEA, Université de Patras, Patras.
- Dossis, S. & Koliopoulos, D. (2005). The problem of timekeeping with the help of the simple pendulum : An empirical study of 14-15-year-old Greek school students. In M.R. Matthews (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, volume 1 (pp. 65-77). Sydney : The University of New South Wales.
- Flandé, Y. (2000). *Protocoles expérimentaux, tests d'hypothèses et transfert, en sciences, à l'école primaire*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- Galili, I. & Sela, D. (2002). Pendulum activities in the Physics curriculum : Used and missed opportunities. In M.R. Matthews (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, volume 2 (pp. 189-203). Sydney : The University of New South Wales.
- Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1), 19-40.

- Il-Ho Yang, Yong-Ju Kwon & Jin-Woo Jeong (2002). Effects of Students Prior Knowledge on Scientific Reasoning in Solving Pendulum Task. In M.R. Matthews (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, volume 1 (pp. 163-175). Sydney : The University of New South Wales.
- Inhelder, B. & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. London : Routledge and Kegan Paul.
- Koliopoulos, D. & Constantinou, C. (2005). The simple pendulum in the school science textbooks of Greece and Cyprus. *Science & Education*, 14(1), 59-73.
- Koumaras, P. (2002). Using the Pendulum in the Education of Teachers. In M.R. Matthews (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, volume 2 (pp. 205-219). Sydney : The University of New South Wales.
- Matthews, M.R. (2000). *Time for Science Education*. The Netherlands : Kluwer Academic / Plenum Publishers.
- Matthews, M.R., Gauld, C.F. & Stinner, A. (Eds.) (2005). *The Pendulum, Scientific, Historical, Philosophical & Educational Perspectives*. Dordrecht : Springer.
- Petraki, D. (2005). *Les conceptions des élèves de 3^e sur la mesure du temps et le pendule*. Mémoire de maîtrise, Université de Patras, Patras.
- Stafford, E. (2002). What the Pendulum can Tell Educators about children's Scientific Reasoning. In M.R. Matthews (Ed.), *International Pendulum Project, Conferences Papers*, volume 2 (pp. 145-175). Sydney : The University of New South Wales.

Annexe 1

Questionnaire

Tout d'abord lire ce texte



Pour construire un **pendule simple**, nous avons besoin d'accrocher un petit objet lourd au bout d'un fil. Puis, nous fixons l'autre bout du fil et nous déplaçons l'objet de la verticale (position O) vers la position A. Si nous lâchons l'objet, il va alors se balancer jusqu'à la position B, puis il va revenir à la position A et répéter ce mouvement (voir la figure).

Compléter les informations suivantes :

Ecole, Nom, Prénom, Sexe, Classe,

1) Le cadran solaire, l'horloge mécanique et le sablier sont trois types d'horloge que l'espèce humaine a utilisé dans le passé pour mesurer le temps.

_) Indiquez le nom de chaque type d'horloge sous la photographie correspondante.

(photo sablier) (photo horloge mécanique) (photo cadran solaire)

_) Entourez la réponse qui vous semble correcte.

Dans quel ordre chronologique pensez-vous que l'homme les a utilisé ?

- (i) D'abord l'horloge mécanique, puis le sablier et enfin le cadran solaire
- (ii) D'abord le cadran solaire, puis l'horloge mécanique et enfin le sablier
- (iii) D'abord le cadran solaire, puis le sablier et enfin l'horloge mécanique
- (iv) D'abord le sablier, puis l'horloge mécanique et enfin le cadran solaire
- (v) Je ne sais pas

C) Entourez la réponse qui vous semble correcte.

Parmi les instruments de mesure du temps suivants, quels sont ceux qui ont la plus grande précision ?

- (i) Le cadran solaire
- (ii) L'horloge mécanique
- (iii) Le sablier
- (iv) Je ne sais pas

Justifier votre réponse

2) Mettre un V dans les propositions suivantes qui vous semblent vraies et un F si elles vous paraissent fausses.

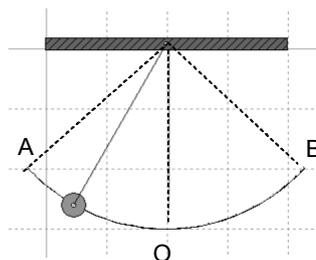
L'amélioration de la précision des horloges utilisées à différentes époques a considérablement influencé :

- Les voyages maritimes
- Les travaux agricoles
- L'espérance de vie moyenne des gens
- La découverte de la forme de la Terre
- L'escalade de l'Everest

3.) Entourez la réponse qui vous semble correcte.

La durée nécessaire pour que le pendule simple représenté sur la figure ci-dessous se balance de la position A à la position B est :

- (i) Supérieure à la durée nécessaire pour qu'il retourne de la position B à la position A
- (ii) Identique à la durée nécessaire pour qu'il retourne de la position B à la position A
- (iii) Inférieure à la durée nécessaire pour qu'il retourne de la position B à la position A
- (iv) Je ne sais pas.

**3.) Entourez la réponse qui vous semble correcte.**

Quelle doit être la longueur du fil d'un pendule simple pour que la durée nécessaire pour parcourir une oscillation simple soit une seconde ? (Une simple oscillation correspond au mouvement du pendule de la position A à la position B).

- (i) 80 cm
- (ii) 100 cm
- (iii) 120 cm
- (iv) 180 cm
- (v) Je ne sais pas.

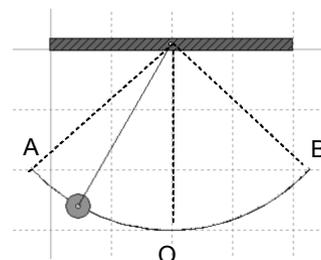
4) Entourez la réponse qui vous semble correcte.

Le pendule simple représenté sur la figure ci-contre peut osciller librement depuis la position A. Peu à peu, l'amplitude de l'oscillation diminue.

La durée nécessaire pour exécuter une simple oscillation :

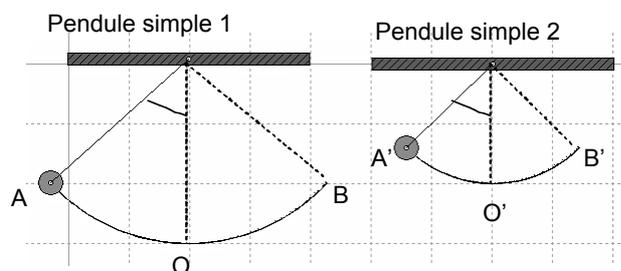
- (i) Augmente durant l'évolution du phénomène
- (ii) Diminue durant l'évolution du phénomène
- (iii) Ne change pas durant l'évolution du phénomène
- (iv) Je ne sais pas

Justifier votre réponse

**5) Entourez la réponse qui vous semble correcte.**

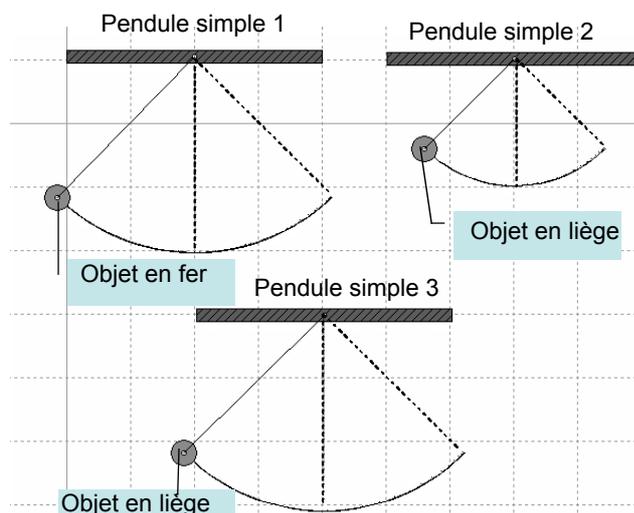
Les deux pendules simples de la figure ci-contre diffèrent seulement par la longueur du fil. Si nous les laissons osciller librement, que va-t-il se passer ?

- (i) La durée d'oscillation du pendule simple 1 est plus grande que celle du pendule 2
- (ii) La durée d'oscillation du pendule simple 2 est plus grande que celle du pendule 1
- (iii) Les durées d'oscillation des deux pendules sont identiques
- (iv) Je ne sais pas

**6) Entourez la réponse qui vous semble correcte.**

La figure ci-contre représente trois pendules simples qui diffèrent deux par deux, soit par le poids de l'objet, soit par la longueur du fil. Si vous voulez tester l'influence de la longueur du fil sur la durée d'une simple oscillation, quels sont les pendules à utiliser ?

- (i) Pendules 1 et 2
- (ii) Pendules 1 et 3
- (iii) Pendules 2 et 3
- (iv) Les trois pendules
- (v) Je ne sais pas



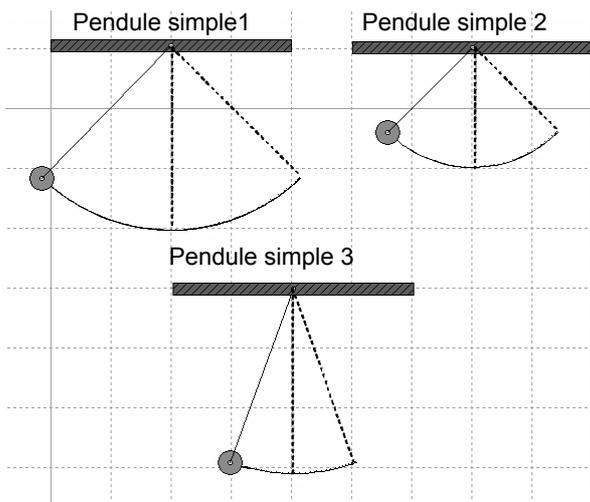
7) Entourez la réponse qui vous semble correcte.

La figure ci-contre représente trois pendules qui diffèrent deux par deux, soit par la hauteur du point de départ (plus ou moins haut), soit par la longueur du fil. Si vous voulez tester l'influence de la position de départ sur la durée d'une simple oscillation, quels sont les pendules à utiliser ?

- (i) Pendules 1 et 2
- (ii) Pendules 1 et 3
- (iii) Pendules 2 et 3
- (iv) Les trois pendules
- (v) Je ne sais pas

Justifier votre réponse

8) Un étudiant étudie l'oscillation des pendules simples. Pour chaque cas, il laisse un pendule osciller et il note dans le tableau ci-dessous les résultats des mesures et des calculs :



Nombre d'oscillations simples	longueur du pendule simple (cm)	Durée des oscillations				Durée d'une oscillation simple (sec)
		1 ^{er} essai	2 ^o essai	3 ^o essai	Moyenne	
10	50	7	7,10	7,10	7,1	0,7
10	100	10,1	10,0	10,1	10,1	1,0
10	150	12,3	12,2	12,3	12,3	1,2
10	200	14,2	14,2	14,1	14,2	1,4

_) Entourez la réponse qui vous semble correcte.

L'étudiant étudie les facteurs suivants :

- (i) La durée d'une simple oscillation et la longueur du fil d'un pendule simple
- (ii) La longueur du fil d'un pendule simple et le nombre d'oscillations simples
- (iii) Le nombre d'oscillations simples et la durée de celles-ci
- (iv) La durée des oscillations et la durée d'une oscillation simple
- (v) Je ne sais pas

_) Entourez la réponse qui vous semble correcte.

Ensuite, l'étudiant a réfléchi au choix du pendule simple qu'il faudrait utiliser pour mesurer le temps nécessaire pour que son ami court une fois autour de la cours de l'école (le temps nécessaire est d'environ 50 secondes). Lequel des quatre pendules simples a-t-il choisi pour mesurer cette durée ?

- (i) Celui possédant une longueur de fil de 50 cm
- (ii) Celui possédant une longueur de fil de 100 cm
- (iii) Celui possédant une longueur de fil de 150 cm
- (iv) Celui possédant une longueur de fil de 200 cm
- (v) Je ne sais pas