

Évaluation d'un outil méthodologique, le « double QCM », pour le recueil de conceptions et l'analyse de raisonnements en physique

Monitoring Student Progress in Physics Using Double Multiple-Choice Questions

Evaluation eines methodologischen Werkzeugs, des doppelten Multiple-Choice-Fragebogens, für das Zusammentragen von Auffassungen und die Analyse von logischen Gedankengängen in Physik

Evaluación de un instrumento metodológico, el « doble test », para el recogimiento de concepciones y el análisis de razonamientos en clase de ciencias físicas

**Nicolas Coppens
et Valérie Munier¹**

Laboratoire de didactique
des sciences physiques,
université Paris 7

LDSP, CC 7086,
université Paris 7,
2 place Jussieu,
75251 Paris cedex 5.

(1) adresse actuelle : IUFM de Montpellier, 2 place Marcel-Godechot BP 4152, 34092, Montpellier cedex 5

Résumé

Dans le cadre d'un suivi du DEUG mis en place à l'université Paris 7, un nouvel outil méthodologique de recueil de conceptions et raisonnements en physique a été élaboré afin de permettre une étude à grande échelle. Il s'agit d'un double QCM dans lequel les étudiants doivent non seulement choisir une réponse parmi celles qui leur sont proposées mais aussi choisir de la même façon la justification qui leur semble la plus pertinente. L'objet de cette recherche est d'évaluer cet outil et de déterminer dans quelle mesure ce type de formulation influe sur les réponses des étudiants. Une étude préliminaire a montré que certains facteurs semblaient « aider » les étudiants lorsque le questionnaire est proposé sous forme de double QCM, c'est-à-dire que les taux de bonnes réponses obtenus sous cette forme sont supérieurs à ceux obtenus avec des questions ouvertes, alors que d'autres facteurs semblent les « gêner ». Ces différents facteurs ont ensuite été testés indépendamment et nous avons montré que deux facteurs influencent de façon significative les résultats d'un double QCM. Il s'agit de la présence ou de l'absence d'un distracteur très attractif ainsi que de la « force » de « l'association » entre les réponses et les justifications. Nous avons pour finir envisagé les implications pratiques de ces résultats, tant du point de vue de problématiques d'évaluation à grande échelle que du point de vue de certaines recherches en didactique.

Mots clefs : *méthodologie, évaluation, physique, 1^{er} cycle universitaire, QCM.*

Abstract

Paris-7 University has recently developed a new methodological tool designed to evaluate student progress in physics during their second year of studies which should allow for a larger-scale study of student understanding and reasoning in the discipline. It consists of a series of double multiple-choice-questions (DMCQ) in which students are first asked to choose from a series of answers. They are then obliged to justify their choice from a series of explanations. The aim was to assess the effectiveness of the DMCQ and determine its influence on student decisions. A preliminary study showed that certain factors inherent to this type of evaluation seemed to help students in finding the right answer whereas others were a source of confusion. Research was thus carried out on the individual factors leading to the isolation of two influential variables on student responses: firstly, the presence of an eye-catching alternative answer amongst the choices and secondly, a high degree of association between answer and justification. Practical uses based upon the results were also envisaged: that of larger-scale evaluations and that of didactics research.

Key words: *methodology, testing, physical, undergraduate programme, multiple-choice questions (MCQ).*

Zusammenfassung:

Ein neues methodologisches Werkzeug wurde geschaffen, um die Fortschritte der Studenten in Physik während ihrer ersten beiden Studienjahre an der Universität Paris 7 zu evaluieren. Dieses Werkzeug sollte eine breit angelegte Untersuchung von den Auffassungen und den logischen Gedankengängen der Studenten in Physik ermöglichen. Es handelt sich um einen doppelten Multiple-Choice-Fragebogen, in dem die Studenten nicht nur eine Antwort unter denjenigen, die ihnen vorgeschlagen wurden, wählen müssen, sondern auch auf dieselbe Art die Rechtfertigung aussuchen müssen, die ihnen die treffendste zu sein scheint. Der Zweck dieser Untersuchung ist, dieses Werkzeug zu bewerten und zu bestimmen, inwiefern dieser Formulierungstyp die Antworten der Studenten beeinflusst. Eine vorbereitende Studie hat gezeigt, dass einige Faktoren den Studenten zu „helfen“ schienen, wenn der Fragebogen in Form eines doppelten Multiple-Choice-Fragebogens vorgeschlagen wird, das heißt es hat sich herausgestellt, dass die Raten an mit dieser Form des Fragebogens erzielten richtigen Antworten höher sind als die mit offenen Fragen erzielten Raten, während andere Faktoren sie zu „stören“ schienen. Diese verschiedenen Faktoren wurden dann unabhängig voneinander getestet und wir haben gezeigt, dass zwei Faktoren die Ergebnisse eines doppelten Multiple-Choice-Fragebogens auf eine bedeutsame Weise beeinflussen. Es handelt sich um die Gegenwart oder die Abwesenheit eines besonders verlockenden Distraktors, sowie um die „Kraft“ der „Assoziation“ zwischen Antworten und Rechtfertigungen. Zum Schluss haben wir die praktischen Auswirkungen dieser Ergebnisse in Erwägung gezogen, sowohl hinsichtlich der Problemstellungen bei breit angelegten Evaluationen, als auch hinsichtlich bestimmter Didaktikforschungen.

Schlüsselwörter: *Methodologie, Evaluation, Physik, Grundstudium an der Universität, Multiple-Choice-Fragebogen.*

Resumen

En el ámbito de un seguimiento del Diploma Universitario de Estudios Generales francés (DEUG) organizado en la universidad de Paris 7, se ha elaborado un nuevo instrumento metodológico de recogida de concepciones y de razonamientos en ciencias físicas en vista de permitir un estudio a gran escala. Se trata de un doble cuestionario de respuestas múltiples o test en el cual los estudiantes deben no solamente elegir una respuesta entre las que se les propone sino también, con el mismo método, la justificación que les parece más pertinente.

El objeto de esta investigación es evaluar este instrumento y determinar en que medida este tipo de formulación influye en las respuestas de los estudiantes. Un estudio preliminar ha mostrado que ciertos factores parecían «

ayudar » a los estudiantes cuando el cuestionario se propone bajo la forma de doble test es decir que los porcentajes de respuestas correctas obtenidos bajo esta forma son superiores a aquellos obtenidos con preguntas abiertas pero que otros factores parecen « dificultar » su trabajo. Los diferentes factores se probaron luego independientemente y hemos demostrado que dos factores influyen de manera significativa en los resultados de un test doble. Se trata de la presencia o de la ausencia de un elemento de distracción muy atractivo así como de la « fuerza » de « la asociación » entre las respuestas y las justificaciones. Por último hemos examinado las implicaciones prácticas de estos resultados, tanto del punto de vista de problemáticas de evaluaciones a gran escala como del punto de vista de ciertas investigaciones en didáctica.

Palabras clave : *metodología - evaluación - ciencias físicas - primer ciclo universitario - test.*

CONTEXTE

En 2001-2002, face aux problèmes de désaffection et de démotivation des étudiants en physique, l'UFR¹ de physique de Paris 7 a apporté différentes modifications au programme et à l'organisation de l'enseignement en première année de DEUG SM et MIAS². À la demande de la direction de l'UFR de physique, le laboratoire de didactique des sciences physiques étudie depuis la rentrée 2001 l'influence de ces modifications. Cette étude comporte plusieurs volets, en particulier une analyse de l'évolution de certaines connaissances et compétences des étudiants au cours du DEUG.

Pour pouvoir effectuer un suivi des raisonnements des étudiants à grande échelle, nous avons été amenés à élaborer de nouveaux outils méthodologiques. Un des outils d'évaluation élaboré et mis en œuvre pour ce suivi est un questionnaire présenté sous la forme d'un double QCM³ (Treaguts, 1988 ; Tamir, 1989 ; Millar et Hames, 2001) : les étudiants doivent non seulement choisir une réponse parmi plusieurs qui leur sont proposées, mais aussi choisir dans une liste de raisonnements associés ceux qui leur semblent les plus pertinents (exemple figure 1). Les réponses proposées et les raisonnements associés ont été établis sur la base de différents travaux de didactique (Besson, 2001 ; Fawaz et Viennot, 1986 ; Kariotoglou *et al.*, 1995 ; Viard, 1990 ; Viennot, 1996), et les justifications erronées correspondent toutes à des raisonnements communs d'étudiants.

(1) Le sigle UFR signifie Unité de formation et de recherche

(2) Le sigle DEUG signifie Diplôme d'études universitaires générales, SM signifie sciences de la matière et MIAS signifie mathématiques, informatique et applications aux sciences.

(3) QCM signifie Questionnaire à choix multiples.

Question m6

Un avion vole horizontalement à vitesse constante dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Les forces de frottement exercées sur l'avion sont assimilables à une seule force horizontale représentée ci-dessous :

La composante horizontale de la poussée des réacteurs est (en module) :

plus grande que la force de frottement
 égale à la force de frottement (*bonne réponse : BR*)
 inférieure à la force de frottement
 je ne sais pas

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

Si elle n'est pas plus grande, l'avion ne peut pas avancer.
 Pour qu'il vole à vitesse constante, il faut que la somme des forces soit nulle.
(*bonne justification : BJ*)
 Si la résultante des forces était nulle, l'avion ferait du « sur-place ».
 Autre :

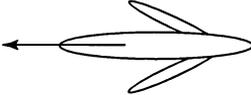


Figure 1

La case « je ne sais pas » permet de distinguer un étudiant qui n'a pas su répondre à la question d'un étudiant qui ne l'a pas traitée, et la case « Autre » a une double fonction pour nous ici. D'une part, elle offre la possibilité de répondre à ceux que la liste de justifications proposées ne satisfait pas ; d'autre part, elle peut nous permettre de repérer des justifications « manquantes » qu'il sera possible de rajouter dans une version « améliorée » du questionnaire.

Ce double QCM permet, a priori, d'obtenir rapidement des informations sur les conceptions et raisonnements des étudiants plus complètes qu'un QCM traditionnel (demandant uniquement une réponse sans justification), pour ensuite analyser leur évolution. Cependant, pour que cette analyse ait un sens, il est nécessaire de s'interroger sur la *validité des résultats obtenus à l'aide de ce type de questionnaire*. L'objectif de la recherche présentée ici est précisément *d'analyser cet outil méthodologique* : il s'agit d'évaluer l'influence de cette forme de QCM sur les réponses des étudiants, c'est-à-dire de déterminer dans quelle mesure le fait de proposer des raisonnements influe sur ces réponses.

Cette analyse est d'autant plus importante que les enquêtes de ce type, à grande échelle, se développent à l'heure actuelle, que ce soit dans le cadre d'évaluations internationales comme l'enquête PISA par exemple (OCDE, 2004) ou au sein des universités françaises. La didactique, même si elle n'a pas pour fonction première de répondre à des demandes sociales d'évaluation telles que celles évoquées ici, nous semble avoir un rôle important à jouer dans de tels projets, par exemple en participant comme ici, ou comme dans les travaux de Millar et Hames (2001), à la mise au point

d'outils d'évaluation pertinents, prenant en compte les résultats de recherche en didactique établis depuis plusieurs dizaines d'années. De plus, outre cet aspect « utilitaire », nous allons voir dans quelle mesure l'outil « double QCM » peut être intéressant pour la recherche en didactique elle-même.

Dans une étude préliminaire nous avons comparé les résultats obtenus au double QCM proposé à l'université Paris 7 et ceux obtenus à l'aide d'un QCM homologue, mais avec « justifications ouvertes ». Cela nous a tout d'abord permis de constater des différences notables et d'émettre des hypothèses sur les facteurs pouvant être à l'origine de ces différences. Dans un deuxième temps nous avons mis en place une étude plus poussée de cet outil d'évaluation en élaborant un double QCM spécifique permettant de tester ces hypothèses.

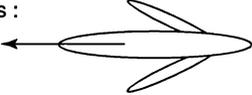
1. ÉTUDE PRELIMINAIRE

1.1. Protocole expérimental

L'étude préliminaire a été réalisée en octobre 2002. Le questionnaire utilisé à l'université Paris 7 a été distribué auprès d'une centaine d'étudiants de 1^{re} année sous forme de double QCM (questionnaire B1 rempli par 113 étudiants, voir annexe 1). Un second questionnaire proposant les mêmes questions mais sans liste de justifications (on demande alors aux étudiants d'expliquer leur réponse de façon ouverte : exemple figure 2) a été soumis à un groupe équivalent (questionnaire A1 rempli par 95 étudiants). Les résultats du questionnaire A1 sont donc les résultats « témoin » permettant d'évaluer l'influence de la « forme » de double QCM du questionnaire B1.

Question m6

Un avion vole horizontalement à vitesse constante dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Les forces de frottement exercées sur l'avion sont assimilables à une seule force horizontale représentée ci-dessous :



La composante horizontale de la poussée des réacteurs est (en module) :

- plus grande que la force de frottement
- égale à la force de frottement (*bonne réponse : BR*)
- inférieure à la force de frottement
- je ne sais pas

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

Figure 2

Ces deux questionnaires ont été distribués en début d'année, en même temps, dans deux amphithéâtres correspondant à deux sections de DEUG SM équivalentes (sans sélection particulière), et remplis sur place. Les étudiants ont disposé d'environ une demi-heure pour y répondre, mais du temps supplémentaire leur était alloué s'ils le souhaitaient.

Les justifications données par les étudiants répondant au questionnaire A1 ont été catégorisées. Pour cela, nous avons repris les catégories du questionnaire B1 et nous en avons rajouté de nouvelles lorsque cela était nécessaire (seules les justifications citées par plus de 5 % des étudiants dans le questionnaire A1 ont fait l'objet d'une catégorie).

Nous avons ensuite comparé les résultats de ces deux questionnaires, avancé des hypothèses permettant d'expliquer les différences entre ces résultats, puis analysé les écarts observés. Nous avons effectué systématiquement des tests statistiques pour déterminer si les différences observées étaient significatives (test du χ^2 à 1 degré de liberté, niveau de signification 0,05). Ainsi, dans toute la suite de l'article, lorsque nous analysons les différences entre les pourcentages de bonnes réponses des étudiants aux deux questionnaires, nous indiquons entre parenthèses, pour chaque question, la valeur du χ^2 correspondante. Ce premier travail nous a ainsi permis d'identifier différents facteurs, liés à cette forme de QCM, pouvant influencer les réponses des étudiants.

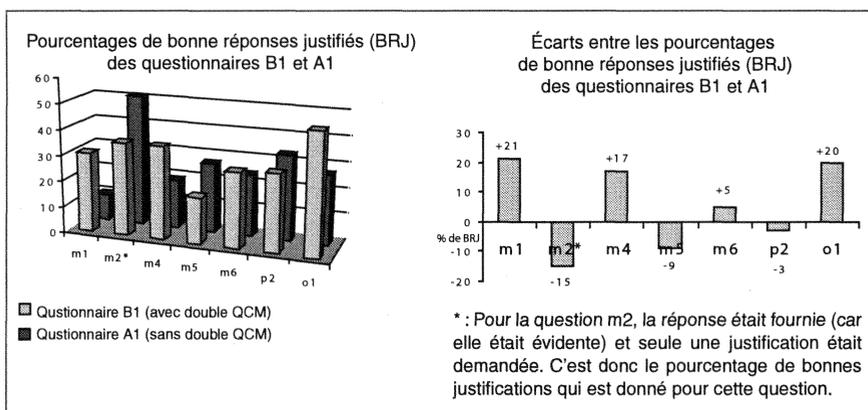
Pour les connaissances, les thèmes abordés dans ces questionnaires sont la mécanique (questions m1 à m6) et l'optique géométrique (question o1). Les questions portent sur des points traités au lycée, reconnus comme particulièrement délicats par différents travaux de didactique. Pour les compétences, nous nous sommes intéressés principalement à la maîtrise de certaines démarches expérimentales (questions p1 à p3).

1.2. Résultats

Pour la plupart des questions, nous avons analysé les pourcentages de bonnes réponses justifiées correctement (BRJ). Pour les questions m3, p1 et p3, aucune justification n'était demandée sous forme de double QCM car nous ne disposons pas d'études assez précises pour pouvoir anticiper les justifications d'étudiants de 1^{er} cycle universitaire (la question p3 est issue d'un manuel d'aide à l'évaluation des élèves du cycle 3 édité par le ministère de l'éducation nationale). Les pourcentages de bonnes réponses pour ces questions ne figurent donc pas dans les tableaux suivants (les résultats complets sont cependant donnés en annexe 4), mais les résultats de ces trois questions nous ont permis de vérifier qu'il n'y avait pas de différence significative entre les populations ayant rempli les questionnaires A1 et B1 ($0.28 < \chi^2 < 0.93$).

Dans la suite de cette étude nous ne nous sommes pas intéressés aux résultats proprement dits des différentes questions car nous ne nous situons pas, pour cet article, dans une problématique d'évaluation des acquis des étudiants. On peut tout de même noter que ces résultats confirment les conclusions de nombreuses études précédentes (Clement, 1982 ; Terry *et al.*, 1985 ; Engel Clough et Driver, 1986 ; Steinberg *et al.*, 1990 ; Hestenes et Wells, 1992 ; Enderstein et Spargo, 1996 ; Palmer, 1997 ; Tao et Gunstone, 1999) : même après plusieurs années d'apprentissage, les raisonnements communs ne sont pas dépassés en début de premier cycle universitaire par une grande partie des étudiants. Par exemple, uniquement 24 % des étudiants ayant répondu au questionnaire A1 donnent une bonne réponse justifiée à la question m6 citée dans la figure 2 ci-dessus. On peut aussi signaler des difficultés importantes pour les étudiants dans la mise en œuvre de certaines démarches expérimentales.

Conformément à notre problématique, nous nous intéressons aux écarts éventuels entre les pourcentages de bonnes réponses justifiées des questionnaires B1 et A1, dus à la forme de double QCM (ou non) des questions posées.



On constate effectivement des écarts, qui sont très variables d'une question à l'autre. Pour certaines questions (m1, m4 et o1), le double QCM semble aider les étudiants, c'est-à-dire que leur taux de bonnes réponses justifiées est significativement supérieur lorsque le double QCM est proposé ($\chi^2(m1)=14.3$, $\chi^2(m4)=7.6$, $\chi^2(o1)=8.36$). Pour une autre question en revanche (question m2), le double QCM semble les gêner, c'est-à-dire que leur taux de bonnes réponses justifiées est plus faible lorsque le double QCM est proposé ($\chi^2(m2)=4.28$). Enfin, il y a des questions (m5, m6 et p2) pour lesquelles le taux de bonnes réponses justifiées ne semble pas dépendre de la forme de la question, ouverte ou sous forme de double QCM ($\chi^2(m5)=2.8$, $\chi^2(m6)=0.65$, $\chi^2(p2)=0.16$). On constate donc, conformément aux travaux de

Georges Noizet et Jean-Paul Caverni (1978), que les justifications inexactes proposées, appelées distracteurs dans la suite de cette étude, influent sur les réponses des étudiants. Ces résultats, étayés par différentes analyses bibliographiques, nous ont permis d'émettre plusieurs hypothèses sur les facteurs pouvant, dans un double QCM, influencer ou non les réponses des étudiants.

1.3. Hypothèses sur les facteurs pouvant influencer ou non les réponses des étudiants

1.3.1. Facteurs influençant les réponses des étudiants

- *Hypothèse 1 : la présence d'un distracteur attractif pour les étudiants dans le double QCM diminue le pourcentage de bonnes réponses justifiées tandis que son absence l'augmente*

Lorsqu'une justification proche d'un raisonnement commun très prégnant est proposée, on peut penser que les étudiants sont attirés par cette proposition erronée. Le double QCM pourrait donc augmenter la « difficulté » de la question lorsqu'un distracteur attractif est proposé. En effet, d'après Noizet et Caverni (1978), « si la difficulté d'une question tient pour une part à son thème, elle tient également au choix des distracteurs dont on l'assortit, c'est-à-dire au contenu des sous-questions [ici, des justifications] invitant à l'erreur ».

Inversement, on peut également émettre l'hypothèse que l'absence d'un distracteur attractif dans un double QCM peut aider les étudiants à trouver la bonne réponse car ils ne sont pas « tentés » d'utiliser le raisonnement commun correspondant. En effet, même s'ils peuvent remplir la case « Autre », les effets de contrat poussent les étudiants à choisir parmi les réponses proposées.

Cependant, il ne faut pas oublier que l'attractivité d'un distracteur est relative et elle dépend de celle des autres justifications. Les nombreux résultats de didactique publiés sur les raisonnements des étudiants peuvent aider à évaluer l'attractivité des différentes propositions ; il faut donc étudier l'ensemble des justifications proposées puis les comparer les unes aux autres pour déterminer si un distracteur est vraiment attractif pour les étudiants.

- *Hypothèse 2 : une « association » forte entre réponses et justifications augmente le pourcentage de bonnes réponses justifiées*

Les QCM sont des questions de sélection (De Ketele, 1980), tout se passe comme si le candidat se proposait une tâche comparative : « Parmi l'ensemble des sous-questions de cette question, essayons de discriminer lesquelles sont celles qui appellent le plus vraisemblablement la réponse « Vrai » et celles qui appellent le plus vraisemblablement la réponse « Faux ». Cette conception de la tâche l'oriente vers le choix d'un patron de réponse

(plus précisément de sous-réponses) » (Noizet et Caverni, 1978). Il nous semble que ce « patron de réponse » a beaucoup plus de chances de correspondre à la bonne réponse justifiée lorsque les réponses et les justifications sont fortement associées. Par exemple, dans la question o1 ci-dessous, la justification « L'image ne change pas car l'écran reste en place » renvoie à la réponse « L'image ne change pas », alors que dans la question m4, la justification « La vitesse de tout mouvement uniforme est constante » n'est liée directement à aucune des réponses proposées.

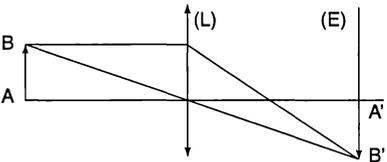
« Association » forte entre réponses et justifications	« Association » faible entre réponses et justifications
<p>Question o1 :</p> <p>La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).</p>  <p>Que voit-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'image ne change pas. <input type="checkbox"/> L'image se redresse (↑). <input type="checkbox"/> On ne voit plus d'image. <input type="checkbox"/> On voit sur l'écran la projection de AB. <input type="checkbox"/> Je ne sais pas. <p>Comment expliqueriez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'image ne change pas car l'écran reste en place. <input type="checkbox"/> Avec la lentille l'image était renversée (↓) donc sans la lentille l'image va se redresser (↑). <input type="checkbox"/> AB ne sera pas déformé car le faisceau lumineux ne traverse que l'air. <input type="checkbox"/> Comme la lentille est nécessaire pour former l'image, sans la lentille on n'aura pas d'image. <input type="checkbox"/> L'écran sera uniformément éclairé, car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions. <input type="checkbox"/> Autre : 	<p>Question m4 :</p> <p>Lorsqu'un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (cercle de rayon R) dans un référentiel donné,</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> son accélération est nulle dans ce référentiel <input type="checkbox"/> son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel <input type="checkbox"/> la composante normale de son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel <input type="checkbox"/> on ne peut rien conclure sur l'accélération dans ce référentiel <input type="checkbox"/> je ne sais pas <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La vitesse de tout mouvement uniforme est constante. <input type="checkbox"/> Si R est constant alors le corps est à l'équilibre dans le repère tournant donc la force résultante F est nulle et $a=F/m$. <input type="checkbox"/> $a=v^2/R$ avec v et R constants. <input type="checkbox"/> La vitesse de ce corps change de direction au cours du mouvement. <input type="checkbox"/> Autre :

Tableau 1 • Questions o1 et m4 du questionnaire B1

Ainsi une « association » forte entre réponses et justifications pourrait aider les étudiants lorsque le double QCM est proposé.

- *Hypothèse 3: une formulation des questions et des justifications proposées proche du langage commun diminue le pourcentage de bonnes réponses justifiées dans le double QCM tandis qu'une formulation plus scientifique l'augmente*

Nous pensons que les justifications formulées en langage commun peuvent gêner les étudiants indécis car elles se rapprochent davantage du sens commun. Lorsqu'un double QCM est proposé, l'intuition des étudiants est confortée par ce type de justifications et ils mobilisent peut-être moins leurs connaissances en physique pour répondre à la question posée que lorsque des justifications ne sont pas proposées.

Par contre, lorsque les questions et les justifications sont formulées avec un vocabulaire plus scientifique, ces justifications peuvent aider les étudiants indécis en les incitant à mobiliser davantage leurs connaissances en physique.

1.3.2. Facteurs n'influençant pas les réponses des étudiants

Si les facteurs précédents semblent pouvoir influencer sur les réponses des étudiants, nous pensons que d'autres facteurs évoqués dans diverses recherches sur les questionnaires, comme l'ordre des questions, le nombre de réponses et de justifications proposées ou la position de la bonne justification dans le double QCM n'ont pas ici d'influence notable pour plusieurs raisons.

D'une part les étudiants ont répondu à ce questionnaire sérieusement, et ils y ont consacré le temps nécessaire. Même si un effet de lassitude peut expliquer l'augmentation du nombre de réponses vides pour les dernières questions du questionnaire A1 (sans double QCM), la forme de QCM, au moins pour la première partie de chaque question, facilite le travail de l'étudiant, ce qui minimise les effets de fatigue. Nous avons donc considéré que les réponses, même les dernières, n'ont pas été données au hasard. D'autre part chaque question porte sur un thème différent. Il ne peut donc pas y avoir d'effet d'apprentissage au cours de la passation du questionnaire. On peut donc penser que l'ordre des questions n'influence pas ici les étudiants.

De même, à condition que les questions proposent au moins deux distracteurs attractifs, le nombre de distracteurs dans le double QCM n'influencerait pas les réponses des étudiants. Certes si plusieurs justifications correctes sont proposées, la probabilité de cocher au hasard une bonne justification augmente, cependant la forme du questionnaire, « facile » à remplir pour les étudiants dans la mesure où ils n'ont qu'à choisir parmi une liste, permet vraisemblablement de minimiser le nombre d'étudiants répondant au

hasard. On peut donc émettre l'hypothèse que le nombre de justifications correctes proposées n'influence pas leurs réponses si la bonne justification la plus attractive (correspondant au raisonnement commun le plus fréquent) est toujours proposée.

Enfin, comme la liste des justifications proposées est relativement courte (cinq au maximum), il n'y aurait pas d'effet de récence (dernière justification favorisée) ni d'effet de lassitude (dernière justification défavorisée) (Chauchat, 1985) et la position en fin de liste d'une bonne justification n'aurait donc pas d'importance. Pour finir, rappelons que la fonction première du questionnaire sur lequel nous travaillons ici était le recueil de conceptions des étudiants en physique et non l'étude de l'outil « double QCM ». Aucune des bonnes justifications proposées ne se trouvait en première position, il n'a donc pas été possible de tester dans cette étude l'effet de primauté (première justification favorisée). Cependant nous avons considéré que, étant donné la forme du questionnaire, cet effet n'était pas prépondérant.

1.4. Facteurs non étudiés dans cette étude

Cette étude préliminaire portait sur un questionnaire réellement utilisé pour le recueil de conceptions et non pas construit spécifiquement pour cette étude, il n'a donc pas été possible d'effectuer une analyse exhaustive des différents facteurs pouvant influencer sur les réponses des étudiants. Nous énumérons donc ci-dessous plusieurs facteurs, rapportés par d'autres auteurs, que nous n'avons pas pu étudier ici :

- le contexte et le contenu physique des questions : d'après de nombreux auteurs (Viennot, 1977 et 1989 ; Halloun et Hestenes, 1985 ; Finegold et Gorsky, 1991 ; Palmer, 1997 et 2001 ; Tao et Gunstone, 1999 ; Givry, 2003), les réponses à une question sur un thème donné dépendent fortement du contexte.

- la difficulté de la question : d'après nous, un double QCM pourrait aider d'autant plus les étudiants que la question posée est difficile. En effet, plus la question semble facile à l'étudiant, moins il va passer de temps à tester chacune des différentes justifications proposées. Le double QCM ne « l'aide » donc pas. De plus, il peut même l'induire en erreur en lui proposant des justifications s'approchant du raisonnement commun (que l'étudiant cochera sans prendre la peine de mobiliser ses connaissances scientifiques). Par contre, lorsque la question semble plus difficile à l'étudiant, il examine peut-être davantage toutes les justifications proposées avant de donner sa réponse, ce qui peut « l'aider » à trouver la bonne réponse. Cependant, nous avons choisi de ne pas prendre en compte ce facteur dans cette étude du fait du caractère arbitraire du seuil « séparant » les questions faciles des questions difficiles.

– la tendance à l'acquiescement : d'après de nombreux auteurs (Chauchat, 1985 ; Noizet et Caverni, 1978 ; Ghiglione et Matalon, 1977) les étudiants semblent davantage tentés par les justifications permettant de répondre « Oui » à une question.

– la formulation affirmative ou négative des bonnes justifications proposées : Georges Noizet et Jean-Paul Caverni (Noizet et Caverni, 1978) ont montré qu'un énoncé négatif recueille moins d'adhésion que le même énoncé formulé de façon affirmative.

Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs évoqués.

Facteurs étudiés dans cette étude		Facteurs non étudiés dans cette étude
Facteurs susceptibles d'influencer les étudiants	Facteurs susceptibles de pas influencer de façon notable les réponses des étudiants	
<ul style="list-style-type: none"> - La présence ou l'absence d'un distracteur attractif (c'est-à-dire proche du raisonnement commun des étudiants) - La force de l'« association » entre réponses et justifications - La formulation des questions et des justifications (proche du langage commun ou du langage scientifique) 	<ul style="list-style-type: none"> - l'ordre des questions posées - l'ordre des justifications proposées - un nombre de réponses proposées supérieur à deux - un nombre de distracteurs proposés supérieur ou égal à deux - un nombre de justifications correctes proposées supérieur ou égal à deux 	<ul style="list-style-type: none"> - le contexte et le contenu physique des questions - la difficulté de la question - la tendance à l'acquiescement - la formulation affirmative ou négative des bonnes justifications proposées

Tableau 2 • Liste des facteurs pouvant influencer ou non les réponses des étudiants lorsqu'un double QCM est proposé

1.5. Analyse et interprétation des résultats

Seuls quelques facteurs ont été examinés, sans être isolés, dans cette étude préliminaire, et nous n'avons pas pu analyser les interactions éventuelles entre ces facteurs. Nous avons tout de même estimé, pour chaque question, l'influence du double QCM sur le taux de bonnes réponses justifiées des étudiants, en tenant compte des hypothèses formulées plus haut. Lorsque nous avons supposé qu'un facteur entraînait un pourcentage de bonnes réponses justifiées supérieur dans le questionnaire B1, nous considérons que ce facteur a une influence « positive » (+) et lorsque nous avons supposé qu'un facteur entraînait un pourcentage de bonnes réponses justifiées supérieur dans le questionnaire A1 (sans double QCM), nous considérons que ce facteur a une influence « négative » (-). Dans la ligne appelée « Influence présumée du double QCM », nous totalisons, pour chaque ques-

tion, le nombre de facteurs dont nous pouvons penser qu'ils ont une influence « positive » ou « négative ». Etant donné qu'on ne peut pas quantifier l'influence respective des différents facteurs, nous avons choisi d'attribuer la même importance à chacun. Il ne s'agit bien sûr pas d'un résultat mathématique et nous n'avons pas la prétention, dans cette étude préliminaire, d'avoir mesuré « l'influence » du double QCM sur les résultats obtenus, mais cela nous permet d'établir une tendance.

	m1	m2	m4	m5	m6	p2	o1
Présence ou absence d'un distracteur	<i>absence d'un distracteur attractif (+)</i>	<i>présence d'un distracteur attractif (-)</i>				<i>présence d'un distracteur attractif (-)</i>	
« Association » forte entre réponses et justifications				(+)	(+)	(+)	(+)
Formulation de la question et des justifications	<i>proche du langage scientifique (+)</i>	<i>proche du langage commun (-)</i>	<i>proche du langage scientifique (+)</i>	<i>proche du langage commun (-)</i>	<i>proche du langage commun (-)</i>		<i>proche du langage scientifique (+)</i>
« Influence » présumée du double QCM	2 (+)	2 (-)	(+)	nulle	nulle	nulle	2 (+)

Tableau 3 • **Influence présumée des différents facteurs sur le taux de bonnes réponses justifiées au double QCM**

Si on confronte ces résultats à ceux des questionnaires A1 et B1 on constate que :

- les questions m1, m4, et o1 ont un taux de bonnes réponses justifiées supérieur lorsque le questionnaire est proposé sous la forme du double QCM.
- les questions m6, p2 et m5 ont un pourcentage de bonnes réponses justifiées voisin dans les deux questionnaires.
- la question m2 a un taux de bonnes réponses justifiées supérieur lorsque le double QCM n'est pas proposé.

Ainsi, même si nous n'avons effectué pour l'instant que des hypothèses sur l'influence possible des différents facteurs et si l'influence présumée du double QCM ne peut faire ressortir qu'une tendance (rappelons que nous avons supposé que les différents facteurs ont tous une « influence » d'égale importance et qu'ils ne sont pas liés), nous ne pouvons qu'être frap-

pés par l'adéquation entre les résultats expérimentaux de cette étude (paragraphe 1-2) et « l'influence » du double QCM telle que nous l'avons évaluée. Ces résultats nous ont amenés à mettre en place une étude plus poussée de l'outil « double QCM ».

2. ÉVALUATION DE L'OUTIL « DOUBLE QCM »

2.1. Hypothèses

L'étude préliminaire, qui portait sur un questionnaire non spécifiquement construit pour cette recherche, nous a donc permis de formuler des hypothèses sur les différents facteurs pouvant influencer les réponses des étudiants. Nous avons ensuite élaboré plusieurs questionnaires dans lesquels les différents facteurs étaient isolés, permettant ainsi de tester leur influence (tableau 4). Nous avons proposé ces nouveaux questionnaires à des populations équivalentes en octobre 2003 et en mai 2004.

Les facteurs que nous avons testés dans la suite de cette étude sont les suivants :

Facteurs susceptibles d'influencer les réponses des étudiants	Facteurs susceptibles de ne pas influencer les réponses des étudiants
<ul style="list-style-type: none"> - La présence ou l'absence d'un distracteur attractif - la force de l'« association » entre réponses et justifications 	<ul style="list-style-type: none"> - un nombre de distracteurs proposés supérieur ou égal à deux - un nombre de justifications correctes proposées supérieur à un

Tableau 4 • Liste des facteurs testés

Remarque : le facteur dépendant de la formulation de la question et des justifications (proche du langage commun ou du langage scientifique) ne pouvant pas être modifié sans changer les objectifs d'une question, nous ne le testons pas ici.

2.2. Protocole expérimental

Un questionnaire A2, sous forme de questions ouvertes, et trois questionnaires B2, C2 et D2 sous forme de doubles QCM ont été posés à des étudiants de 1^{re} année universitaire (100 élèves ont répondu au questionnaire A2, 95 au questionnaire B2, 97 étudiants au questionnaire C2 et 101 au questionnaire D2). Ils ont été distribués en octobre 2003, dans quatre amphithéâtres correspondant à deux sections de DEUG SM et deux sections de MIAS, et remplis sur place. Dans chaque amphithéâtre nous avons distribué chacun des quatre questionnaires à un quart des étudiants afin de neu-

traliser le facteur « section ». De la même manière que pour l'étude préliminaire, les étudiants ont disposé d'environ une demi-heure pour y répondre, avec du temps supplémentaire si nécessaire. Les justifications données par les étudiants répondant au questionnaire A2 ont été catégorisées de la même manière que lors de l'étude préliminaire. Pour chaque thème les questions sont restées les mêmes mais la formulation et le nombre des justifications proposées (dans les doubles QCM) ont varié. Les questionnaires comprennent donc toujours six questions de mécanique (m1 à m6), une d'optique (o1) et trois questions portant sur des démarches expérimentales (p1 à p3).

Les questions p1 et p3, portant sur l'isolement des variables, ne demandent toujours pas de justifications, à ce titre elles ne rentrent pas dans le cadre de cette étude. En effet l'étude préliminaire a montré que les réponses à ces questions permettent à elles seules de connaître les compétences des étudiants, car la quasi totalité de ceux qui répondaient bien dans le questionnaire A1, sans double QCM, justifiaient bien leur réponse. Il ne nous est donc pas apparu nécessaire de construire un double QCM pour cette compétence. Nous avons tout de même posé ces questions dans cette seconde étude, de la même manière dans les quatre questionnaires, car elles nous servent ainsi de questions témoin. Nous avons montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les populations ayant répondu aux questionnaires A2, B2, C2 et D2 pour ces questions ($0.04 < \chi^2 < 3.15$) (seule restriction : le nombre important de non-réponses pour la question p3 dans le questionnaire A2, sans double QCM, n'a pas permis de comparer le « groupe » A et les autres).

Ensuite, afin d'affiner encore cette étude, deux questionnaires A3 et B3, sous forme de doubles QCM, ont été posés fin mai 2004 dans les mêmes conditions, c'est-à-dire chacun dans une demi-classe, à 168 élèves de 7 classes de terminale scientifique. En effet la formulation testée à la rentrée 2003 à l'université s'est révélée non pertinente pour les questions m1 et o1 (en particulier pour des problèmes de vocabulaire). Nous avons regroupé dans l'annexe 2 les justifications proposées dans l'ensemble des questionnaires B2, C2 et D2 et les questionnaires A3 et B3 figurent dans l'annexe 3. Les résultats de ces différents questionnaires sont donnés en annexe 4. La comparaison entre deux doubles QCM dans lesquels un seul facteur varie nous a alors permis d'obtenir les résultats suivants.

2.3. Résultats

Nous avons avant tout vérifié l'équivalence des populations testées en 2002 et 2003, en comparant les résultats aux questionnaires sans double QCM (questionnaires A1 et A2), afin de pouvoir comparer les résultats des différents doubles QCM. Nous n'avons pas observé de différences significatives entre ces populations, et ce quelle que soit la question ($0 < \chi^2 < 3.17$).

2.3.1. Facteurs influençant les réponses des étudiants

– Présence ou absence d'un distracteur attractif

Pour tester cette première hypothèse nous avons comparé les résultats de trois doubles QCM proposant ou non un distracteur attractif.

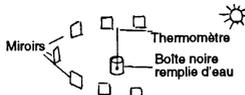
Question m1	Question m2	Question p2
<p>Si la vitesse d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,</p> <p><input type="checkbox"/> son accélération est nulle à cet instant</p> <p><input type="checkbox"/> son accélération ne peut pas être nulle</p> <p><input type="checkbox"/> on ne peut rien conclure sur son accélération</p> <p><input type="checkbox"/> je ne sais pas conclure sur son accélération</p> <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <p><input type="checkbox"/> Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle.</p> <p><input type="checkbox"/> La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps.</p> <p><input type="checkbox"/> Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après pour connaître l'accélération.</p> <p><input type="checkbox"/> Si la vitesse est nulle, la résultante des forces est nulle et l'accélération est nulle.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>	<p>Au service, un joueur de tennis lance une balle en l'air, vers le haut. La balle monte en ralentissant.</p> <p>Comment l'expliquez-vous ?</p> <p><input type="checkbox"/> Le joueur lui a donné une force vers le haut dont la valeur diminue au cours de l'ascension.</p> <p><input type="checkbox"/> Le joueur lui a donné une vitesse initiale vers le haut, mais le poids l'accélère vers le bas.</p> <p><input type="checkbox"/> Ce sont essentiellement les frottements de l'air qui la freinent.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>	<p>Les fours solaires comportent des jeux de miroirs. Des étudiants pensent que c'est pour « concentrer les rayons du soleil et chauffer plus » et ils réalisent l'expérience suivante :</p>  <p>La température de l'eau au départ était de 22°C, au bout de trente minutes ils relèvent une température de 27°C à l'intérieur du récipient. Cette expérience vérifie-t-elle l'hypothèse de départ ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Comment expliqueriez vous votre réponse ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ.</p> <p><input type="checkbox"/> Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs.</p> <p><input type="checkbox"/> Non, car la différence de température n'est pas assez importante.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>
<p>Distracteur attractif proposé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si la vitesse v est nulle, alors sa dérivée $dv/dt = 0$ et donc l'accélération est nulle. 	<p>Distracteur attractif proposé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La force que lui a donnée le joueur finit par être compensée par le poids de la balle. 	<p>Distracteur attractif proposé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non, car on n'a pas relevé la température de l'air ambiant.

Tableau 5 • Étude du facteur « Présence ou absence d'un distracteur attractif dans le double QCM »

Le pourcentage de bonnes réponses justifiées, présenté dans la tableau 5, diminue d'au moins 17 % lorsqu'un distracteur attractif est proposé et les différences sont significatives pour ces trois questions ($\chi^2(m1)=5.9$, $\chi^2(m2)=14.8$, $\chi^2(p2)=7.7$). Nous pouvons donc conclure que la présence d'un distracteur attractif est un facteur gênant pour les étudiants lorsqu'ils répondent à un double QCM.

Cependant l'attractivité d'un distracteur est relative. Elle peut être neutralisée par exemple par l'attractivité forte d'une justification correcte. Ainsi, dans la question m1, si la justification correcte est plus attractive « Il faudrait

connaître la vitesse un peu avant ou un peu après pour connaître l'accélération car l'accélération est liée à la variation de la vitesse », et si le distracteur est un peu moins attractif (en retirant la formule mathématique) « Si la vitesse est nulle, alors sa dérivée par rapport au temps est nulle donc l'accélération est nulle », nous obtenons un pourcentage de bonnes réponses justifiées, présenté dans le tableau 6, qui « ne dépend plus » de la présence ou de l'absence de ce distracteur ($\chi^2=0.32$, pas de différence significative).

		m1	m2*	p2
Pourcentage de bonnes réponses justifiées (* : de bonnes justifications pour m2)	Présence du distracteur attractif dans le double QCM	19 % (corpus : 84 lycéens)	36 % (corpus : 113 étudiants)	34 % (corpus : 113 étudiants)
	Absence du distracteur attractif dans le double QCM	36 % (corpus : 84 lycéens)	63 % (corpus : 97 étudiants)	53 % (corpus : 97 étudiants)

Tableau 6 • Relativité de l'attractivité d'un distracteur

– « L'association » forte entre réponses et justifications

Nous avons également comparé les résultats d'une version de la question d'optique dans laquelle l'association entre les réponses et les justifications est importante avec une deuxième version de cette même question dans laquelle cette association est plus faible.

Question 01	Version 1	Version 2
<p>La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).</p> <p>Que voit-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'image ne change pas. <input type="checkbox"/> L'image se redresse (↑). <input type="checkbox"/> On ne voit plus d'image. <input type="checkbox"/> On voit sur l'écran la projection de AB. <input type="checkbox"/> Je ne sais pas. 	<p>(« association » forte entre les réponses et les justifications)</p> <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'image ne change pas car l'écran reste en place. <input type="checkbox"/> Avec la lentille l'image était renversée (?) donc sans la lentille l'image se redresse (?). <input type="checkbox"/> On ne voit pas d'image car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions. <input type="checkbox"/> AB se projette sur l'écran car le faisceau lumineux ne traverse que l'air. <input type="checkbox"/> Autre : 	<p>(« association » faible entre les réponses et les justifications)</p> <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La lumière issue de l'objet va dans toutes les directions. <input type="checkbox"/> Le faisceau lumineux ne traverse que l'air. <input type="checkbox"/> L'écran reste en place. <input type="checkbox"/> La lentille renversait l'image. <input type="checkbox"/> Autre :
<p>Pourcentage de bonnes réponses justifiées</p>	<p>46 % (corpus : 84 lycéens)</p>	<p>21 % (corpus : 84 lycéens)</p>

Tableau 7 • Étude du facteur « Relation forte entre réponses et justifications »

Les résultats confirment notre hypothèse : si les justifications et les réponses sont fortement liées dans un double QCM, le pourcentage de bonnes réponses justifiées est significativement plus important ($\chi^2=11.7$).

2.3.2. Facteur n'influençant pas les réponses des étudiants

		Question m2*		Question m4
		<p>Question m2*</p> <p>Au service, un joueur de tennis lance une balle en l'air, vers le haut. La balle monte en ralentissant.</p> <p>Comment l'expliquez-vous ?</p> <p><input type="checkbox"/> Le joueur lui a donné une force vers le haut dont la valeur diminue au cours de l'ascension.</p> <p><input type="checkbox"/> Le joueur lui a donné une vitesse initiale vers le haut, mais le poids l'accélère vers le bas (justification correcte n° 1)</p> <p><input type="checkbox"/> L'énergie mécanique est constante. Comme l'énergie potentielle augmente, l'énergie cinétique et la vitesse diminuent. (justification correcte n° 2)</p> <p><input type="checkbox"/> Ce sont essentiellement les frottements de l'air qui la freinent.</p> <p><input type="checkbox"/> La force que lui a donnée le joueur finit par être compensée par le poids de la balle. (distracteur n° 3)</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>		<p>Question m4</p> <p>Lorsqu'un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (cercle de rayon R) dans un référentiel donné,</p> <p><input type="checkbox"/> son accélération est nulle dans ce référentiel</p> <p><input type="checkbox"/> son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel</p> <p><input type="checkbox"/> la composante normale de son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel</p> <p><input type="checkbox"/> on ne peut rien conclure sur l'accélération dans ce référentiel</p> <p><input type="checkbox"/> je ne sais pas</p> <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <p><input type="checkbox"/> La vitesse de tout mouvement uniforme est constante.</p> <p><input type="checkbox"/> $a=v^2/R$ avec v et R constants. (justification correcte n° 1)</p> <p><input type="checkbox"/> La vitesse de ce corps change de direction au cours du mouvement. (justification correcte n° 2)</p> <p><input type="checkbox"/> Si R est constant alors le corps est à l'équilibre dans le repère tournant donc la force résultante F est nulle et $\vec{a}=\vec{F}/m$.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>
		Justifications correctes proposées		
Pourcentage de bonnes réponses justifiées (* : de bonnes justifications pour m2)	n° 1 et n° 2	44 % (corpus : 95 étudiants)	Sans le distracteur n° 3 : 60 % (corpus : 101 étudiants)	16 % (corpus : 101 étudiants)
	Uniquement n° 1	36 % (corpus : 113 étudiants)	Sans le distracteur n° 3 : 63 % (corpus : 97 étudiants)	15 % (corpus : 95 étudiants)
	Uniquement n° 2			6 % (corpus : 97 étudiants)

Tableau 8 • Étude du facteur « Nombre de justifications correctes proposées »

Les résultats valident notre hypothèse : proposer deux justifications correctes ne fait pas augmenter de façon perceptible le pourcentage de bonnes réponses lorsque la réponse correcte « principale » est proposée ($\chi^2(m2)=0.13$ sans le distracteur 3 et $\chi^2(m2)=1.35$ avec ce distracteur, et $\chi^2(m4)=0.05$ dans le cas où seul le distracteur 1 est proposé). Cela peut s'expliquer par le fait que les 2^e justifications correctes proposées dans les questions m2 et m4 sont des propositions mettant en jeu des raisonnements peu utilisés naturellement par les élèves (5 % des étudiants utilisent ces raisonnements lorsque les questions sont ouvertes).

Par contre, lorsqu'il manque le raisonnement correct le plus utilisé habituellement par les étudiants (la justification correcte n° 1 de la question m4 a été utilisée par 27 % des étudiants lorsque la question est ouverte), le pourcentage de bonnes réponses justifiées est significativement plus faible ($\chi^2=4.7$).

– *Le nombre de distracteurs proposés*

Enfin nous comparons deux versions de la question p2 qui proposent un nombre différent de distracteurs.

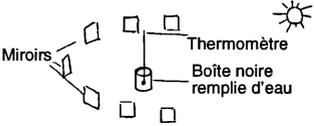
Question p2	Version 1 (3 distracteurs proposés)	Version 2 (2 distracteurs proposés)
<p>Les fours solaires comportent des jeux de miroirs. Des étudiants savent que cela permet de concentrer les rayons du soleil et ils émettent l'hypothèse que c'est pour « chauffer plus ». Ils réalisent l'expérience suivante :</p>  <p>La température de l'eau au départ était de 22°C, au bout de trente minutes ils relèvent une température de 27°C à l'intérieur du récipient. Cette expérience vérifie-t-elle l'hypothèse de départ ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p>	<p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ. <input type="checkbox"/> Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs. <input type="checkbox"/> Non, car la différence de température n'est pas assez importante. <input type="checkbox"/> Oui, car les rayons provenant des miroirs atteignent la boîte noire remplie d'eau. <input type="checkbox"/> Autre : 	<p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ. <input type="checkbox"/> Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs. <input type="checkbox"/> Non, car la différence de température n'est pas assez importante. <input type="checkbox"/> Autre :
<p>Pourcentage de bonnes réponses justifiées</p>	<p>46 % (corpus : 101 étudiants)</p>	<p>53 % (corpus : 97 étudiants)</p>

Tableau 9 • Étude du facteur « Nombre de distracteurs proposés »

Il n'y pas d'écart significatif, l'hypothèse est donc vérifiée : lorsque le nombre de distracteurs proposés est supérieur ou égal à deux, il n'influe pas sur le pourcentage de bonnes réponses justifiées des étudiants ($\chi^2=0.98$).

Toutefois ceci est vrai uniquement si le distracteur le plus attractif est proposé. Le tableau 8 montre en effet que lorsqu'on omet ce distracteur principal (par exemple le distracteur n° 3 pour la question m2, choisi par 28 % des étudiants lorsqu'il est proposé), le taux de bonnes réponses est significativement différent selon que ce distracteur est proposé ou non.

3. CONCLUSION

Cette étude montre que deux facteurs influencent de façon significative les résultats d'un double QCM. Il s'agit de la présence ou de l'absence d'un distracteur très attractif ainsi que de la force de « l'association » entre les réponses et les justifications. Par contre, le nombre de justifications correctes (si la principale est présente) et le nombre de distracteurs proposés (s'il est supérieur ou égal à deux et si le distracteur le plus attractif est proposé) ne semblent pas influencer de façon notable les réponses des étudiants. Il est donc absolument nécessaire, pour construire et développer de tels outils, de disposer (ou d'élaborer) de résultats de recherche précis sur les raisonnements des élèves, en particulier pour estimer l'attractivité des différents distracteurs et pour identifier la bonne et la mauvaise justification majoritaires, qui peuvent d'ailleurs varier suivant les niveaux d'enseignement. Cela ne constitue pas un obstacle majeur dans la mesure où de très nombreuses recherches ont été réalisées depuis plus de 30 ans sur les raisonnements des étudiants, et on dispose ainsi d'une banque de données importante permettant de construire de tels questionnaires.

Bien entendu il faut être prudent dans l'exploitation de ces résultats dans la mesure où ils sont fortement contextualisés et où l'influence couplée des différents facteurs n'a pas été étudiée. Cependant nous espérons que cette liste de facteurs, non exhaustive, influant sur les réponses des étudiants, permettra de développer la construction et l'utilisation des doubles QCM. En effet nos résultats présentent deux intérêts pratiques principaux.

D'une part, dans le cadre d'une évaluation, nous avons montré que le double QCM peut être un outil pertinent. Il permet, en « jouant » sur les différents facteurs, d'obtenir des résultats proches de ceux obtenus avec des questions ouvertes avec deux grands avantages : la saisie des résultats peut être réalisée par des non spécialistes, avec une totale objectivité, ou même automatiquement de façon informatisée si le protocole d'évaluation s'y prête, et surtout on obtient ainsi des informations précises sur les raisonnements des étudiants très rapidement. Cela est particulièrement intéressant dans le cas des enquêtes à grande échelle, ou si l'on souhaite réaliser des évaluations systématiques très rapides en classe, en travaux pratiques par exemple, pour lancer des débats, mettre en place une pédagogie différenciée ou autre utilisation pédagogique, sans empiéter de façon notable sur le

temps d'apprentissage ni sur le temps des enseignants (comme cela est proposé par Labudde *et al*, 1988 ou par Hestenes *et al*, 1992).

D'autre part d'un point de vue plus spécifiquement didactique, on constate que la présence d'un distracteur attractif modifie de façon notable les réponses des étudiants et ce point nous semble particulièrement important. Il peut en effet être nécessaire, suivant les objectifs didactiques visés, de placer ou non un distracteur attractif dans un double QCM. Si on souhaite avoir des résultats les plus proches possibles de ceux qu'on aurait obtenus à l'aide de questions ouvertes on doit omettre ce distracteur, si on revanche on veut tester la persistance de certains raisonnements communs et mettre en évidence des connaissances mal stabilisées on doit au contraire choisir de le proposer. On peut ainsi mettre en évidence des raisonnements erronés chez les étudiants, qui se manifestent davantage par le biais de cet outil qu'avec un questionnement ouvert (comme cela est explicité par Tamir, 1989 et 1990).

Ces deux points nous semblent d'un intérêt pratique important, et nous espérons que cette étude, portant sur l'évaluation d'un outil méthodologique, permettra entre autres le développement de tels outils et contribuera aussi, via des évaluations à grande échelle à l'université par exemple, à la diffusion de travaux de didactique auprès des enseignants.

Remerciements : Nous remercions tout particulièrement les enseignants qui ont accepté de faire passer ces questionnaires pendant leurs cours, R. Chalot, L. Chaumont, N. Daudet, F. Geniet, F. et P.- A. Labolle, M. Manna, V. Perrard, B. Riotte et G. Vidal, ainsi que les membres du LDSP qui se sont impliqués dans l'élaboration de ce questionnaire, en particulier G. Rebmann pour nos nombreuses discussions. Enfin nous tenons à remercier J. Caylet qui est à l'origine des questions p1 et p2 sur les démarches expérimentales, et H. Merle pour ses nombreuses relectures.

BIBLIOGRAPHIE

BESSON U. (2001). *Une approche mésoscopique pour l'enseignement de la statique des fluides*, Thèse de doctorat, université Paris 7.

CHAUCHAT H. (1985). *L'enquête en psycho-sociologie*. Paris, PUF.

CLEMENT J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 50, n° 1, p. 66-71.

DE KETELE J.-M. (1980). *Observer pour éduquer*. Berne, Francfort, Peter Lang.

ENDERSTEIN L. G. & SPARGO P. E. (1996). Beliefs regarding force and motion: a longitudinal and cross-cultural study of South African school pupils. *International Journal of Science Education*, vol. 18, n° 4, p. 479-492.

ENGEL CLOUGH E. & DRIVER R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, vol. 70, n° 4, p. 473-496.

- FAWAZ A. & VIENNOT L. (1986). Image optique et vision, enquête en classe de 1^{re} au Liban. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 686, p. 1125-1147.
- FINEGOLD M. & GORSKY P. (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: a search for consistency. *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 1, p. 97-113.
- GIVRY D. (2003). Le concept de masse en physique : quelques pistes à propos des conceptions et des obstacles. *Didaskalia*, n° 22, p. 41-67.
- GHIGLIONE R., MATALON B. (1977). *Les enquêtes sociologiques : théories et pratique*. Paris, Armand Colin.
- HALLOUN I. A. & HESTENES D. (1985). The initial knowledge of college physics students. *American Journal of Physics*, vol. 53, n° 11, p. 1043-1055.
- HESTENES D. & WELLS M. (1992). A mechanics baseline tests. *The physics teacher*, vol. 30, p. 159-166.
- HESTENES D., WELLS M. & SWACKHAMER G. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, vol. 30, p. 141-158.
- KARIOTOGLU P., KOUMARAS P. & PSILLOS D. (1995). Différenciation conceptuelle : un enseignement d'hydrostatique, fondé sur le développement et la contradiction des conceptions des élèves. *Didaskalia*, n° 7, p. 63-90.
- LABUDE P., REIF F. & QUINN L. (1988). Facilitation of scientific concept learning by interpretation procedures and diagnosis. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 1, p. 81-98.
- MILLAR R. & HAMES V. (2001). Using diagnostic assessment to improve students' learning: some preliminary findings from work to develop and test diagnostic tools. In D. Psillos & al., (Eds). *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society* (p 141-143). Thessaloniki, Greece : Art of text publications.
- NOIZET G. & CAVERNI J.-P. (1978). *Psychologie de l'évaluation scolaire*. Paris, PUF.
- OCDE (2004). *Apprendre aujourd'hui, réussir demain. Premiers résultats de PISA 2003*. Paris, Les éditions de l'OCDE.
- PALMER D. (1997). The effect of context on students' reasoning about forces. *International Journal of Science Education*, vol. 19, n° 6, p. 681-696.
- PALMER D. (2001). Investigating the relationship between students' multiple conceptions of action and reaction in cases of static equilibrium. *Research in Science and Technological Education*, vol. 19, n° 2, p. 193-204.
- STEINBERG S., BROWN D. E. & CLEMENT J. (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 3, p. 265-273.
- TAMIR P. (1989). Some issues related to the use of justifications to multiple-choice answers. *Journal of Biological Education*, vol. 23, p. 285-292.
- TAMIR P. (1990). Justifying the selection of answers in multiple choice items. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 5, p. 563-573.
- TAO P.-T. & GUNSTONE, R. F. (1999). The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 36, n° 7, p. 859-882.
- TERRY, C., JONES, G. & HURFORD, W. (1985). Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. *Physics Education*, vol. 20, p. 162-165.
- TREAGUST D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 2, p. 159-169.
- VIARD, J. (1990-91). Essai d'élaboration d'une stratégie didactique, *petit x*, n° 25, p. 59-94.
- VIENNOT L. (1977). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Thèse de doctorat d'État, université Paris 7.

VIENNOT L. (1989). Bilans de forces et loi des actions réciproques. Analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 716, p. 951-970.

VIENNOT L. (1996). *Raisonner en physique : La part du sens commun*. Paris, Bruxelles, De Boeck.

ANNEXE 1 : Questionnaires posés en octobre 2002

Le questionnaire A1 a été rempli par 95 étudiants et le questionnaire B1 par 113 étudiants.

Dans le questionnaire A1, les questions et les réponses proposées sont identiques à celles du questionnaire B1 mais les justifications sont demandées de façon « ouverte » : « Comment justifiez-vous votre réponse ? ».

QUESTIONNAIRE B1

Question m1 :

Si la vitesse d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,

- son accélération est nulle à cet instant
- son accélération ne peut pas être nulle
- on ne peut rien conclure sur son accélération
- je ne sais pas conclure sur son accélération

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle.
- La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps.
- La vitesse et l'accélération sont deux vecteurs indépendants.
- Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après car l'accélération est liée à la variation de la vitesse.
- Si la vitesse est nulle c'est que la résultante \vec{F} des forces est nulle et $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$.
- Autre :

Question m2 :

Au service, un joueur de tennis lance une balle en l'air, vers le haut. La balle monte en ralentissant.

Comment l'expliquez-vous ?

- Le joueur lui a donné une force vers le haut dont la valeur diminue au cours de l'ascension.
- Le joueur lui a donné une vitesse initiale vers le haut, mais le poids l'accélère vers le bas.
- Ce sont essentiellement les frottements de l'air qui la freinent.
- La force que lui a donnée le joueur finit par être compensée par le poids de la balle.
- Autre :

Question m3 :

Pierre de masse 100 kg et sa petite sœur Marie de masse 40 kg s'appuient dos à dos. Marie est déséquilibrée. Pensez-vous que c'est parce que la valeur de la force exercée par Pierre sur Marie est plus importante que celle exercée par Marie sur Pierre ?

- oui
- non
- on ne peut pas répondre avec ces données
- je ne sais pas

Question m4 :

Lorsqu'un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (cercle de rayon R) dans un référentiel donné,

- son accélération est nulle dans ce référentiel
- son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel
- la composante normale de son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel
- on ne peut rien conclure sur l'accélération dans ce référentiel
- je ne sais pas

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- La vitesse de tout mouvement uniforme est constante.
- Si R est constant alors le corps est à l'équilibre dans le repère tournant donc la force résultante \vec{F} est nulle et $a = \vec{a} = \vec{F}/m$.
- $a=v^2/R$ avec v et R constants.
- La vitesse de ce corps change de direction au cours du mouvement.
- Autre :

Question m5 :

Un personnage, à l'arrêt sur un tapis roulant en fonctionnement (à vitesse constante), lance une bille en plomb au dessus de sa tête. Où retombera cette bille ?

- Devant le lanceur.
- Derrière le lanceur.
- « Sur la tête » du lanceur.
- Je ne sais pas.

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

- C'est la résistance de l'air qui la freine.
- Pendant que la bille est en l'air, le tapis a avancé.
- Pendant que la bille est en l'air, elle n'est plus entraînée par le tapis.
- La bille a une vitesse initiale égale à celle du tapis et la résistance de l'air est négligeable.
- Autre :

Question m6 :

Un avion vole horizontalement à vitesse constante dans le référentiel terrestre supposé Galiléen. Les forces de frottement exercées sur l'avion sont assimilables à une seule force horizontale représentée ci-dessous :



La composante horizontale de la poussée des réacteurs est (en module) :

- plus grande que la force de frottement
- égale à la force de frottement
- inférieure à la force de frottement
- je ne sais pas

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

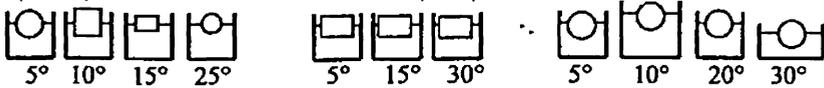
- Si elle n'est pas plus grande, l'avion ne peut pas avancer.
- Pour qu'il vole à vitesse constante, il faut que la somme des forces soit nulle.
- Si la résultante des forces était nulle, l'avion ferait du «sur-place ».
- Autre :

Question p1 :

Chacune des expériences suivantes permet-elle de répondre à la question :

« Un glaçon fond-il plus vite dans l'eau chaude que dans l'eau froide ? » ?

Répondre par oui ou non sous le schéma de chaque expérience.



Expérience A
 oui non

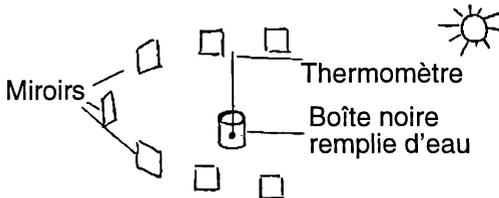
Expérience B
 oui non

Expérience C
 oui non

Les dessins représentent le début des expériences : des glaçons sont plongés dans de l'eau dont la température est indiquée au dessous du récipient.

Question p2 :

Les fours solaires comportent des jeux de miroirs. Des étudiants pensent que c'est pour « concentrer les rayons du soleil et chauffer plus » et ils réalisent l'expérience suivante :



La température de l'eau au départ était de 22°C, au bout de trente minutes ils relèvent une température de 27°C à l'intérieur du récipient. Cette expérience vérifie-t-elle l'hypothèse de départ ?

- Oui
- Non

Comment expliqueriez vous votre réponse ?

- Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ.
- Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs.
- Non, car la différence de température n'est pas assez importante.
- Non, car on n'a pas relevé la température de l'air ambiant.
- Autre :

Question p3 :

Quand on étudie expérimentalement l'évaporation de l'eau on constate que :

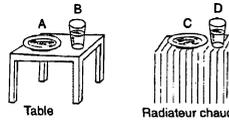
- L'évaporation est d'autant plus rapide que la surface au contact de l'air est grande.
- L'évaporation est d'autant plus rapide que la température est élevée.

On verse la même quantité d'eau dans deux assiettes identiques (étiquetées A et C) et dans deux verres étroits identiques (étiquetés B et D).

On les place de la manière suivante :

Assiette A et verre B sur une table dans la salle

Assiette C et verre D sur un radiateur chaud dans la salle



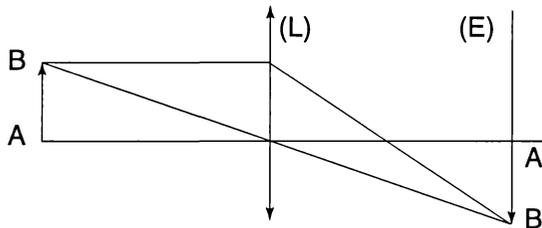
On veut savoir dans quel ordre les récipients vont se retrouver sans eau. Pour chaque récipient, entourer 1, 2, 3, 4 ou N si on ne peut pas répondre (ne rien entourer si vous ne savez pas répondre).

L'eau du récipient A va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient B va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient C va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient D va disparaître en	1	2	3	4	N

Question o1 :

Dans cet exercice vous pouvez donner plusieurs réponses et explications si nécessaire.

La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).



Que verra-t-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?

- L'image ne change pas.
- L'image va se redresser (↑).
- On aura sur l'écran la projection de AB.
- On n'aura pas d'image.
- Tout l'écran sera éclairé.
- Je ne sais pas.
- Autre

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

- L'image ne change pas car l'écran reste en place.
- Avec la lentille l'image était renversée (↓) donc sans la lentille l'image va se redresser (↑).

- AB ne sera pas déformé car le faisceau lumineux ne traverse que l'air.
- Comme la lentille est nécessaire pour former l'image, sans la lentille on n'aura pas d'image.
- L'écran sera uniformément éclairé, car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions.
- Autre

ANNEXE 2 : Questionnaires posés en octobre 2003

Dans le questionnaire A2, les justifications étaient demandées sous forme de « justifications ouvertes ».

Pour les questionnaires B2, C2 et D2, un certain nombre de justifications étaient proposées.

Le tableau ci-dessous liste, pour chaque question et chaque questionnaire, les justifications proposées, dans l'ordre dans lequel elles figurent dans le questionnaire, les nombres entre parenthèses correspondent aux effectifs.

Remarque : les effectifs varient suivant les questions pour le questionnaire A2 car dans deux sections les étudiants n'ont pas eu le temps de traiter les deux dernières questions (les pourcentages de non réponse sont supérieurs à 74 % alors que pour les autres questions ils ne dépassent pas 35 %) ; ce n'est pas le cas pour les questionnaires B2, C2 et D2 car ils sont plus rapides à remplir.

		Questionnaire A2	Questionnaire B2	Questionnaire C2	Questionnaire D2
Effectif		100 étudiants (sauf p3 et o1 : 57 étudiants)	95 étudiants	97 étudiants	101 étudiants
Justifications proposées	m1	/	abcde	abcde	abcd
	m2		abcde	acd	abcd
	m3		abcd	aefd	aghd
	m4		abc	adc	abdc
	m5		abcd	abcd	abcd
	m6		abc	abc	abc
	p1		Pas de justifications demandées		
	p2		abcde	abc	abce
	p3		Pas de justifications demandées		
	o1		abcd	efgh	abcd

Question m1

Si la vitesse d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,

- son accélération est nulle à cet instant
- son accélération ne peut pas être nulle
- on ne peut rien conclure sur son accélération
- je ne sais pas conclure sur son accélération

Liste de toutes les justifications proposées :

- Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle. (a)
- La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps. (b)
- Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après car l'accélération est liée à la variation de la vitesse. (c)
- Si la vitesse est nulle c'est que la résultante \vec{F} des forces est nulle et $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$.
- Si la vitesse est nulle, alors sa dérivée par rapport au temps est nulle donc l'accélération est nulle. (e)
- Autre :

Question m2

Au service, un joueur de tennis lance une balle en l'air, vers le haut. La balle monte en ralentissant.

Liste de toutes les justifications proposées :

- Le joueur lui a donné une force vers le haut dont la valeur diminue au cours de l'ascension. (a)
- L'énergie mécanique est constante. Comme l'énergie potentielle augmente, l'énergie cinétique et la vitesse diminuent. (b)

- Le joueur lui a donné une vitesse initiale vers le haut, mais le poids l'accélère vers le bas. (c)
 Ce sont essentiellement les frottements de l'air qui la freinent. (d)
 La force que lui a donnée le joueur finit par être compensée par le poids de la balle. (e)
 Autre :

Question m3

Pierre de masse 100 kg et sa petite sœur Marie de masse 40 kg s'appuient dos à dos. Marie est déséquilibrée. Pensez-vous que c'est parce que la valeur de la force exercée par Pierre sur Marie est plus importante que celle exercée par Marie sur Pierre ?

- oui non on ne peut pas répondre avec ces données
 je ne sais pas

Liste de toutes les justifications proposées :

- La masse de Pierre est plus importante. (a)
 D'après le principe des actions réciproques, la force exercée par Pierre sur Marie et celle exercée par Marie sur Pierre sont égales. (b)
 D'après la formule $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, s'il y a déséquilibre, la force exercée par Pierre sur Marie et celle exercée par Marie sur Pierre sont différentes. (c)
 Le centre de gravité de Marie et celui de Pierre ne sont pas à la même hauteur. (d)
 D'après le principe des actions réciproques. (e)
 D'après la formule $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. (f)
 La force exercée par Pierre sur Marie et celle exercée par Marie sur Pierre sont égales. (g)
 S'il y a déséquilibre, la force exercée par Pierre sur Marie et celle exercée par Marie sur Pierre sont différentes. (h)
 Autre :

Question m4

Lorsqu'un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (cercle de rayon R) dans un référentiel donné,

- son accélération est nulle dans ce référentiel
 son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel
 la composante normale de son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel
 on ne peut rien conclure sur l'accélération dans ce référentiel
 je ne sais pas

Liste de toutes les justifications proposées :

- La vitesse de tout mouvement uniforme est constante. (a)
 $a = v^2/R$ avec v et R constants. (b)
 Si R est constant alors le corps est à l'équilibre dans le repère tournant donc la force résultante \vec{F} est nulle et $\vec{a} = \vec{F}/m$. (c)
 La vitesse de ce corps change de direction au cours du mouvement. (d)
 Autre :

Question m5

Un personnage, à l'arrêt sur un tapis roulant en fonctionnement (à vitesse constante), lance une bille en plomb au dessus de sa tête. Où retombera cette bille ?

- Devant le lanceur.
- Derrière le lanceur.
- « Sur la tête » du lanceur.
- Je ne sais pas.

Liste de toutes les justifications proposées :

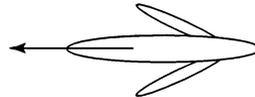
- C'est la résistance de l'air qui la freine. (a)
- Pendant que la bille est en l'air, le tapis a avancé. (b)
- Pendant que la bille est en l'air, elle n'est plus entraînée par le tapis. (c)
- La bille a une vitesse initiale égale à celle du tapis et la résistance de l'air est négligeable. (d)
- Autre :

Question m6

Un avion vole horizontalement à vitesse constante dans le référentiel terrestre supposé Galiléen. Les forces de frottement exercées sur l'avion sont assimilables à une seule force horizontale représentée ci-dessous :

La composante horizontale de la poussée des réacteurs est (en module) :

- plus grande que la force de frottement
- égale à la force de frottement
- inférieure à la force de frottement
- je ne sais pas



Liste de toutes les justifications proposées :

- Si elle n'est pas plus grande, l'avion ne peut pas avancer. (a)
- Pour qu'il vole à vitesse constante, il faut que la somme des forces soit nulle. (b)
- Si la résultante des forces était nulle, l'avion ferait du «sur-place». (c)
- Autre :

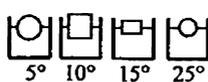
Question p1

Chacun des protocoles expérimentaux suivants permet-il de répondre à la question :

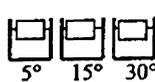
« Un glaçon fond-il plus vite dans l'eau chaude que dans l'eau froide ? »

Les dessins représentent le début des expériences : des glaçons sont plongés dans de l'eau dont la température est indiquée au dessous du récipient.

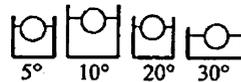
Répondre par oui ou non sous le schéma de chaque protocole expérimental.



Protocole A
 oui non



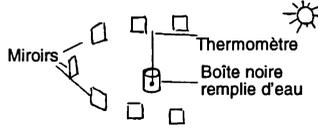
Protocole B
 oui non



Protocole C
 oui non

Question p2

Les fours solaires comportent des jeux de miroirs. Des étudiants savent que cela permet de concentrer les rayons du soleil et ils émettent l'hypothèse que c'est pour « chauffer plus ». Ils réalisent l'expérience suivante :



La température de l'eau au départ était de 22°C, au bout de trente minutes ils relèvent une température de 27°C à l'intérieur du récipient. Cette expérience vérifie-t-elle l'hypothèse de départ ?

Oui Non

Liste de toutes les justifications proposées :

- Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ. (a)
- Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs. (b)
- Non, car la différence de température n'est pas assez importante. (c)
- Non, car on n'a pas relevé la température de l'air ambiant. (d)
- Oui, car les rayons provenant des miroirs atteignent la boîte noire remplie d'eau. (e)
- Autre :

Question p3

Quand on étudie expérimentalement l'évaporation de l'eau on constate que :

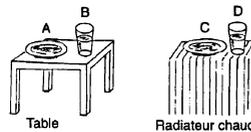
- L'évaporation est d'autant plus rapide que la surface au contact de l'air est grande.
- L'évaporation est d'autant plus rapide que la température est élevée

On verse la même quantité d'eau dans deux assiettes identiques (étiquetées A et C) et dans deux verres étroits identiques (étiquetés B et D).

On les place de la manière suivante :

Assiette A et verre B sur une table dans la salle

Assiette C et verre D sur un radiateur chaud dans la salle

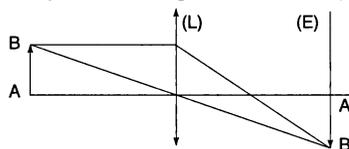


On veut savoir dans quel ordre les récipients vont se retrouver sans eau. Pour chaque récipient, entourer 1, 2, 3, 4 ou N si on ne peut pas répondre (ne rien entourer si vous ne savez pas répondre).

L'eau du récipient A va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient B va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient C va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient D va disparaître en	1	2	3	4	N

Question o1

La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).



Que verra-t-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?

- L'image ne change pas.
- L'image va se redresser (\uparrow).
- On n'aura pas d'image et tout l'écran sera éclairé.
- On aura sur l'écran la projection de AB.
- Je ne sais pas.
- Autre

Liste de toutes les justifications proposées :

- L'image ne change pas car l'écran reste en place. (a)
- On n'a pas d'image et tout l'écran est éclairé car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions lorsqu'elle ne traverse pas la lentille. (b)
- Avec la lentille l'image était renversée (\downarrow) donc sans la lentille l'image va se redresser (\uparrow). (c)
- AB ne sera pas déformé car le faisceau lumineux ne traverse que l'air. (d)
- L'écran reste en place. (e)
- La lumière issue de l'objet va dans toutes les directions lorsqu'elle ne traverse pas la lentille. (f)
- La lentille renversait l'image. (g)
- Le faisceau lumineux ne traverse que l'air. (h)
- Autre :

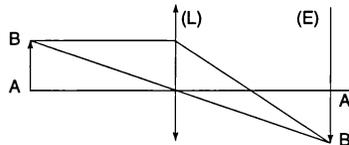
ANNEXE 3 : Questionnaires posés en mai 2004

Chaque questionnaire a été posé à 84 élèves de Terminale S de quatre lycées différents (quatre classes du lycée International de Strasbourg (67), une classe du lycée Mangin de Sarrebourg (57), une classe du lycée Chopin de Nancy (54) et une classe du lycée Les Pannevelles de Provins (77)).

QUESTIONNAIRE A3

Question d'optique (o1)

La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).



Que voit-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?

- L'image ne change pas.
- L'image se redresse (↑).
- On ne voit plus d'image.
- On voit sur l'écran la projection de AB.
- Je ne sais pas.

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- La lumière issue de l'objet va dans toutes les directions.
- Le faisceau lumineux ne traverse que l'air.
- L'écran reste en place.
- La lentille renversait l'image.
- Autre :

Question de mécanique (m1)

Si la vitesse d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,

- son accélération est nulle à cet instant
- son accélération ne peut pas être nulle
- on ne peut rien conclure sur son accélération
- je ne sais pas conclure sur son accélération

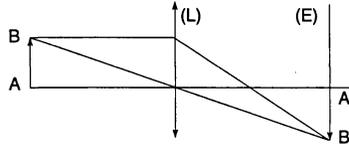
Comment justifiez-vous votre réponse ?

- Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle.
- La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps.
- Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après pour connaître l'accélération.
- Si la vitesse est nulle, la résultante des forces est nulle et l'accélération est nulle.
- Si la vitesse v est nulle, alors sa dérivée $dv/dt = 0$ et donc l'accélération est nulle.
- Autre :

QUESTIONNAIRE B3

Question d'optique (o1)

La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).



Que voit-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?

- L'image ne change pas.
- L'image se redresse (↑).
- On ne voit plus d'image.
- On voit sur l'écran la projection de AB.
- Je ne sais pas.

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- L'image ne change pas car l'écran reste en place.
- Avec la lentille l'image était renversée (↓) donc sans la lentille l'image se redresse (↑).
- On ne voit pas d'image car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions.
- AB se projette sur l'écran car le faisceau lumineux ne traverse que l'air.
- Autre :

Question de mécanique (m1)

Si la vitesse v d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,

- son accélération est nulle à cet instant
- son accélération ne peut pas être nulle
- on ne peut rien conclure sur son accélération
- je ne sais pas conclure sur son accélération

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle.
- La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps.
- Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après pour connaître l'accélération.

Si la vitesse v est nulle, la résultante des forces est nulle et l'accélération est nulle.

Autre :

ANNEXE 4 : Résultats des différents questionnaires

- Questionnaires A1 et B1 posés en octobre 2002 (lors de l'étude préliminaire)

		m1	m2 ¹	m3 ²	m4	m5	m6	p1 ³	p2	p3 ³	o1
Pourcentage de bonnes réponses justifiées	Questionnaire A1 (sans double QCM)	10	51	22	19	27	24	52	33	39	27
	Questionnaire B1 (avec double QCM)	31	36	17	36	18	29	47	30	35	47

- Questionnaires A2, B2, C2 et D2 posés en octobre 2003

		m1	m2 ¹	m3 ²	m4	m5	m6	p1 ³	p2	p3 ³	o1
Pourcentage de bonnes réponses justifiées	Questionnaire A2 (sans double QCM)	11	50	19	10	27	17	59	34	35	21
	Questionnaire B2 (avec double QCM)	23	44	21	15	33	22	46	30	28	44
	Questionnaire C2 (avec double QCM)	23	63	11	6	25	30	51	53	26	44
	Questionnaire D2 (avec double QCM)	26	60	7	16	26	20	50	46	30	48

- Questionnaires A3 et B3 posés en mai 2004

		m1	o1
Pourcentage de bonnes réponses justifiées	Questionnaire A3	19	21
	Questionnaire B3	36	46

NOTES

(1) Dans la question m2, il y a uniquement une justification demandée, le pourcentage donné est le pourcentage de bonnes justifications.

(2) Dans la question m3, il n'y a pas de justification demandée dans le questionnaire B1 (avec double QCM), les pourcentages donnés en 2002 sont les pourcentages de bonnes réponses (pourcentage de bonnes réponses justifiées du questionnaire A1 : 9 %).

(3) Dans les questions p1 et p3, il n'y a jamais de justification demandée, les pourcentages donnés sont les pourcentages de bonnes réponses.