

Le concept de masse en physique : quelques pistes à propos des conceptions et des obstacles

Damien Givry

▶ **To cite this version:**

Damien Givry. Le concept de masse en physique : quelques pistes à propos des conceptions et des obstacles. Didaskalia (Paris), 2003, 22, pp.41-67. hal-00797613

HAL Id: hal-00797613
https://hal.science/hal-00797613

Submitted on 6 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Le concept de masse en physique : quelques pistes à propos des conceptions et des obstacles

The concept of mass in physics : some elements about conceptions and obstacles

Damien GIVRY

Université Lyon 2
Laboratoire GRIC équipe COAST
5 avenue Pierre Mendès France, CP 11
69676 BRON Cedex, France.

Résumé

Ce travail propose de pointer certaines difficultés que rencontrent les élèves lors de l'enseignement du concept de masse en classe. Pour cela, il s'appuie sur l'approche historique de ce concept, ainsi que sur l'analyse des programmes, pour bâtir un questionnaire, proposé à des élèves allant de la classe de troisième au DEUG et à des enseignants de lycée. L'analyse de ce questionnaire a permis de mettre en évidence un certain nombre d'obstacles et de conceptions liés au concept de masse, ainsi que de pouvoir suivre leur évolution à travers les différents stades de l'enseignement.

Mots clés : *didactique de la physique, conception, obstacle, masse inerte, masse gravitationnelle.*

Abstract

This study deals with students' diffictulties during the learning of the concept of mass in school. In order to better understand these difficulties, we have studied the history of this concept and analysed curiccula. After this work, we have elaborated a questionnaire, that we proposed to students from the junior high school to the university and to high school teachers. Questionnaire analysis shows conceptions and obstacles concerning the concept of mass during the different stages of teaching and allows us to see their evolution.

Key words : *didactics of physics, conception, obstacle, inertial mass, gravitational mass.*

INTRODUCTION

La masse est une grandeur fondamentale de la physique, elle intervient aussi bien en mécanique classique que dans la théorie de la relativité, en physique nucléaire qu'en mécanique quantique. Cependant, l'apprentissage de ce concept est loin d'être évident et les élèves rencontrent de nombreuses difficultés lors de son enseignement en classe. Une partie des travaux en didactique réalisés sur ce sujet a porté sur les difficultés des élèves à faire la distinction entre le poids et la masse (Halbwachs & Bovet, 1980 ; Mullet, 1990 ; Galili, 1993 ; Aubert, 1994). Une autre étude a souligné l'ambiguïté que peut engendrer la différence entre le concept de masse inerte et celui de masse gravitationnelle (Heurtaux, 1978 ; Halbwachs & Bovet, 1983), ce qui a amené à se demander sur lequel de ces deux concepts s'appuyaient les élèves lorsqu'ils définissaient la masse (Doménech *et al.*, 1993). Notre travail s'inscrit dans la continuité de ceux traitant de la différence entre masse inerte et masse gravitationnelle. Cependant, il se centre sur les représentations des élèves au sujet de la masse inerte et s'intéresse plus particulièrement à l'évolution des obstacles et des conceptions des élèves de la classe de troisième à la deuxième année de DEUG[1].

Dans un premier temps, nous ferons une approche historique du concept de masse, que nous limiterons volontairement aux parties concernant notre étude, afin de repérer, à travers les grands changements conceptuels, d'éventuels obstacles épistémologiques. Dans un second temps, nous effectuerons, par le biais de la transposition didactique, une analyse de certains manuels et des programmes relatifs au concept de masse. À partir de ce travail préalable, nous formulerons des hypothèses de recherche et nous définirons le cadre théorique dans lequel nous allons les tester. Nous décrirons la méthodologie que nous avons mise en place pour cette étude et nous finirons par la présentation de nos résultats.

1. APPROCHE HISTORIQUE DU CONCEPT DE MASSE

1.1. Galilée, la loi de chute des corps conquise contre l'opinion générale

Au Moyen-Âge, l'enseignement de la philosophie et plus particulièrement des sciences se faisait dans des écoles scolastiques. Ces écoles (inspirées par la philosophie d'Aristote) considéraient le poids (*pondus*) comme une propriété des objets lourds. C'est Galilée (1564-1642) qui, en établissant la loi sur la chute des corps, a supprimé la distinction entre les objets lourds qui avaient un poids et les objets légers qui n'en avaient pas. Ce faisant, Galilée va se heurter à des pseudo-théories admises par les grands courants de pensée de l'époque. Deux types d'explications faisaient alors barrage : « *l'explication qualitative et cosmologique du mouvement de chute comme retour des graves (comprenez les corps lourds) à leur lieu naturel* », ainsi qu'une « *hypothèse empirique et quasi-mathématique, qui ne manque pas d'une certaine vraisemblance bien qu'elle soit fausse, suivant laquelle la vitesse de la chute est déterminée par le poids du corps* » (Merleau-Ponty, 1974, p. 22). C'est Galilée qui établit par l'expérience que tous les corps qui tombent de la même hauteur acquièrent la même accélération. Il précise notamment que « *la chute ne dépend pas du poids* » et que « *l'action de la résistance du milieu (le frottement) est relativement plus grande dans la chute des petits corps.* » (Merleau-Ponty, 1974, p. 22) c'est-à-dire que les frottements dépendent de la taille des objets. Cependant, Galilée ne concevait pas la gravité comme extérieure au corps. Il concevait néanmoins « *l'idée d'une résistance interne au changement de mouvement* » (Lecourt, 1999, p. 613), qu'il exprima à l'aide du principe de l'inertie pour le mouvement dans le plan horizontal. Ce principe, bien que généralisable (valable dans toutes les directions, sur la Terre comme dans l'espace), ne fut envisagé qu'horizontalement par Galilée, car c'était, selon lui, « *le seul réalisable expérimentalement à la surface de la Terre* » (Lecourt, 1999, p. 613). De plus ce principe n'était pas envisageable dans le cosmos, car, pour lui, « *la ligne cosmique la plus naturelle* » était « *le cercle et non la droite* » et « *par conséquent le mouvement rectiligne et uniforme* » n'était « *qu'une abstraction, valable comme approximation locale* » (Lecourt, 1999, p. 613).

À la même époque, Descartes (1596-1650), en s'appuyant sur ce principe, définit, dans son livre « *Méditation métaphysique* » (1641), la quantité de mouvement (p) comme étant le produit de la vitesse (v) par la quantité de matière (m) : $p = m \cdot v$. Le terme « quantité de matière » était d'ailleurs utilisé dès le XIVe siècle, avec l'idée de sa conservation dans tous les changements, de plus, Richard Swineshead († 1355) envisageait la

possibilité de sa mesure mathématique par le produit de la densité et du volume.

1.2. Newton, la gravité est extérieure au corps

Mais c'est Newton (1642-1727) qui, le premier, établit une distinction nette entre la masse et le poids, en concevant la gravité comme une sollicitation extérieure. C'est sur la base de ce changement conceptuel révolutionnaire que repose la Mécanique classique. Dans ses Principia Mathématica (Principes mathématiques de la philosophie naturelle, 1687), il définit la masse comme la « quantité de matière » donnée par la « réunion de la densité et du volume » (sous-entendu le produit des deux). Il établit, à l'aide d'expériences sur des pendules, la proportionnalité entre le poids (P) et la masse (m) à une hauteur donnée, ce qui se traduit par l'équation :

$$P = m \cdot g$$

g étant l'intensité du champ de pesanteur, indépendante de la forme, de la nature et de la masse du corps. En voyant la gravité comme extérieure au corps et la masse comme une quantité invariable, il apparaît que le poids varie en fonction de la distance au centre de la Terre.

Par la suite, Newton étend la gravitation à tous les corps et érige le principe de la gravitation universelle : « *tous les corps ont en propre un pouvoir de gravité, proportionnel aux quantités de matières que chacun d'eux contient* ». C'est-à-dire que la force de gravitation de chaque objet est proportionnelle à sa masse.

À partir de ce principe et en utilisant les lois de Kepler (1571-1630) sur le mouvement des planètes ainsi que la loi de Galilée sur la chute des corps, lois qui utilisent toutes les deux la proportionnalité entre « *les espaces parcourus et les carrés des durées* », Newton établit que la force d'attraction de gravitation universelle entre deux corps de masse respectivement m et m' séparés par une distance d est :

$$F = G\frac{m \cdot m'}{d^2}$$

(G : constante de gravitation universelle).

Cette relation sera confirmée expérimentalement par Cavendish (1731-1810) au XIXe siècle, qui, en pesant des petites masses à l'aide d'une balance de torsion, va retrouver la proportionnalité entre la force d'attraction et le produit des masses.

Newton définit aussi la force d'inertie propre à chaque corps, qu'il appelle *vis insita,* c'est-à-dire que « *le pouvoir de résister au changement d'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite est proportionnel à la masse du corps* » (Lecourt, 1999, p. 614), ce qui pourrait se résumer par : la masse inertielle s'oppose à la mise en mouvement ainsi qu'au changement de mouvement. La formulation du principe d'inertie selon Descartes repose essentiellement sur la conservation du mouvement et s'appuie sur des considérations géométriques. L'inertie n'est pas perçue comme une résistance au mouvement. Ce qui permit à Newton de donner une définition quantitative de la masse inertielle, ainsi qu'une formulation précise de la quantité de mouvement, qui allie le principe d'inertie et la loi de changement de mouvement : « *Le changement de la quantité de mouvement d'un corps provoqué par une force agissant sur lui est proportionnel à cette force en grandeur et en direction* » (Lecourt, 1999, p. 614). Newton l'appellera théorème du centre d'inertie, il se traduit par la relation mathématique suivante :

$$F \approx \Delta (m \cdot v)$$

(avec F la force, m la masse et v la vitesse). Que l'on trouvera le plus souvent dans la relation fondamentale de la dynamique sous la forme :

$$F = m \cdot a$$

(avec F la force, m la masse et a l'accélération). La masse apparaît comme le coefficient de proportionnalité entre la force et l'accélération, elle exprime le passage de la cinématique (propriétés du mouvement) à la dynamique (propriétés des forces). Ce qui permet, comme le souligne Newton, d'établir par cette relation l'équivalence de toutes les forces, quelle que soit leur nature (d'impulsion, de gravitation, électrique, etc.) Contrairement à ce que pensait Galilée, cette relation est universelle ; elle s'applique dans toutes les directions, aussi bien sur Terre que dans l'espace. Elle ne se limite pas à la direction horizontale.

Suite à la définition de la masse newtonienne, la physique et la chimie vont connaître un essor considérable. Néanmoins vers la fin du XIXe siècle, Mach (1838-1916) reprochait à cette définition d'être imprécise et il définit la masse par l'accélération (Mach, 1883, p. 210). Cette définition fut remise en cause par des expériences où la masse n'était plus conservée. C'est au début du XXe siècle, qu'Einstein (1879-1955), à travers la théorie de la relativité restreinte, relia la masse à l'énergie. Depuis, de nouveaux domaines, comme la mécanique quantique, se sont développés ; toutefois le concept de masse reste essentiel dans la physique moderne.

2. LES OBSTACLES ÉPISTÉMOLOGIQUES

Ce bref résumé sur l'évolution du concept de masse à travers les siècles, nous a permis d'observer une partie des grands changements conceptuels qu'il a subis. Ces changements se sont faits contre des théories déjà existantes ; c'est donc en termes d'obstacle qu'il faut voir, dans ce cas, l'avancée de la science. C'est en utilisant cette définition « Bachelardienne » de l'obstacle, que nous en avons identifié un certain nombre susceptibles de poser des difficultés lors de l'enseignement du concept de masse.

2.1. La gravité est interne aux objets

Ce mode de raisonnement revient à considérer seulement les actions du corps étudié sur l'extérieur. Ainsi on dira que si on lâche une pierre, elle tombe par terre, à cause de sa « lourdeur ». Alors qu'en mécanique classique, ce sont les forces extérieures à l'objet (ici la gravité) qui sont responsables du mouvement et non l'objet qui possède un capital (voire une volonté) lui permettant de retourner à sa position naturelle.

2.2. La vitesse de chute est proportionnelle au poids

Lorsqu'on lâche deux objets de poids différents et de même forme, instinctivement on pense que le plus lourd arrivera le premier au sol. Cependant, si on effectue cette expérience à une hauteur de deux mètres, la différence entre les instants des deux impacts sur le sol n'est pas perceptible à l'œil nu. Cette hypothèse, bien que datant du XVI[e] siècle, est toujours d'actualité. Or la vitesse de chute ne dépend pas du poids, mais des frottements de l'air sur l'objet. Cependant, cette idée est souvent prise comme une vérité établie, alors qu'elle est bâtie sur l'opinion courante. « *L'opinion pense mal ; elle ne pense pas : elle traduit des besoins en connaissances. En désignant les objets par leur utilité, elle s'interdit de les connaître. On ne peut rien fonder sur l'opinion : il faut d'abord la détruire. Elle est le premier obstacle à surmonter* » (Bachelard, 1937, p. 14).

2.3. Le principe d'inertie ne s'applique qu'horizontalement

Galilée considérait la masse comme une résistance au mouvement, ce qui rejoint la définition de Newton, mais il n'envisageait le principe d'inertie que dans un plan horizontal. Or ce principe est valable dans toutes les directions. Simplement, sur un plan horizontal, le poids d'un objet est compensé

par la réaction du support, ce qui donne une situation épurée, où, si l'on néglige les frottements, seule la masse inertielle intervient.

3. ANALYSE DES PROGRAMMES ET DES MANUELS : LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE

Nous nous proposons de regarder comment le concept de masse est présenté dans les programmes ainsi que dans certains manuels. Pour cela, nous étudierons sa transposition didactique, au sens d'Y. Chevallard (1985), ce qui devrait nous permettre d'appréhender les écarts entre le savoir de référence et le savoir à enseigner. Précisons que cette analyse n'est pas exhaustive et qu'elle ne traite que des parties que nous estimons clefs à l'introduction du concept de masse.

3.1. Savoir de référence

Pour étudier la transposition didactique du concept de masse, nous nous sommes appuyés sur deux ouvrages de mécanique, Landau & Lifchiftz (1975) et Reif (1995), pour définir un savoir de référence lié à ce concept. Pour la suite de cet article, nous adopterons les définitions des trois concepts qui suivent.

La masse gravitationnelle

Elle est liée à la gravitation : tous les objets s'attirent entre eux et la force d'attraction dépend de leurs masses. Par exemple, plus une pierre sera lourde et plus elle sera attirée par la Terre.

La masse inerte

Elle se définit comme une résistance à la mise en mouvement et au changement de mouvement. C'est-à-dire que plus un objet aura une masse importante et plus il sera difficile de le faire accélérer, ralentir ou changer de direction.

Les frottements

Il y a deux types de frottements, les frottements secs qui correspondent au contact entre deux surfaces solides (par exemple une chaussure et le sol) et les frottements visqueux qui sont le résultat d'un contact entre une surface solide et un fluide (liquide ou gazeux), par exemple un ballon dans l'air.

Les frottements visqueux varient proportionnellement à la vitesse. En revanche, les frottements secs n'apparaissent que lors de la mise en mouvement d'un objet. Ils s'opposent à la mise en mouvement et varient dans le même sens que le poids. Plus un objet aura un poids important et plus il y aura de frottements. Par exemple, il y aura plus de frottements des roues sur le sol pour un camion chargé que pour un camion vide.

3.2. Analyse de la transposition entre le savoir de référence et le savoir à enseigner

Nous avons analysé le programme datant de 1998 (savoir à enseigner) :

– de la classe de troisième : c'est à ce moment que l'on introduit le concept de masse gravitationnelle et que l'on demande aux élèves « *quelle relation existe-t-il entre le poids et la masse d'un objet ?* » ;

– de première : on commence l'introduction de la masse inerte à travers le « *principe d'inertie mis en évidence par Galilée* », ainsi que « *les phénomènes de frottements* », on illustre sans formalisme « *les interactions à distance* » à travers « *la gravitation* » ;

– de terminale : le concept de poids est situé à l'intérieur d'une théorie plus large : « *la loi de la gravitation universelle* ». La masse inertielle est introduite par « *la relation fondamentale de la dynamique* ».

Nous avons aussi étudié un manuel de première (Bordas, 1998), ainsi qu'un manuel de terminale (Bordas, 1998), afin d'affiner notre analyse. En effet, il semblerait que les manuels se rapprochent beaucoup plus du savoir enseigné par les enseignants que les programmes.

3.3. Résultats de l'analyse

L'analyse des programmes de 1998 et des manuels, sous le regard de la transposition didactique, nous a permis de constater certains écarts entre le savoir de référence et le savoir à enseigner : le plus important est l'absence du concept de masse inertielle dans les programmes et les manuels. Bien que le principe d'inertie et la relation fondamentale de la dynamique y soient présents, la masse n'est jamais présentée comme une résistance à la mise en mouvement ou au changement de mouvement. Ce qui peut engendrer un certain nombre de difficultés :

– le concept de masse gravitationnelle risque d'être utilisé à la place du concept de masse inerte, (étant donné que seule la masse gravi-

tationnelle est définie). Il n'y a aucun moyen de faire la distinction entre ces deux concepts. On risque de voir apparaître des raisonnements où la masse inerte sera expliquée par la loi de la gravitation ;

– **la force de frottement est présentée comme la seule résistance au mouvement**, on risque de voir remplacer le concept de masse inertielle par les frottements, car ils s'opposent tous les deux au mouvement. Les frottements sont souvent perçus comme la seule explication à la difficulté de mettre en mouvement un objet lourd. Ils risquent de masquer les effets liés à l'inertie, c'est pourquoi nous faisons l'hypothèse que les frottements peuvent être un obstacle à l'acquisition du concept de masse inerte.

Nous avons aussi remarqué d'autres écarts :

– **la masse n'est jamais définie**, il est juste précisé qu'elle se mesure en kilogrammes ;

– **le concept d'inertie, lorsqu'il est utilisé implicitement, est quasiment toujours présenté horizontalement.** En effet, nous n'avons trouvé dans les manuels que des situations mettant en jeu des objets en mouvement horizontal (table à coussin d'air, voiture, etc.) pour illustrer la relation fondamentale de la dynamique.

L'analyse des programmes et des manuels nous a permis de mettre en évidence un certain nombre de difficultés que peuvent rencontrer les élèves lors de l'enseignement du concept de masse. Lors de cette analyse nous nous sommes contentés de pointer les endroits susceptibles de poser problème ; il nous faut maintenant formuler ces difficultés sous forme d'hypothèses, afin de pouvoir les tester. Mais avant, il nous faut définir le cadre théorique dans lequel nous nous sommes placés.

4. CADRE THÉORIQUE

Nous nous plaçons dans une approche constructiviste, où l'apprenant est « acteur » de la construction de son savoir et où l'apprentissage dépend des connaissances initiales des élèves (Piaget, 1969). Cependant, nous n'adoptons pas la séparation faite par Piaget entre la forme de pensée enfantine et les formes de la pensée mûre ; nous préférons nous référer à Vygotski, qui considère que « *le développement des concepts spontanés et celui des concepts scientifiques, sont, nous devons présumer, des processus étroitement liés qui exercent l'un sur l'autre une influence constante* » (Vygotski, 1985, p. 221).

Pour étudier les connaissances initiales des élèves, nous utiliserons des travaux en didactique des sciences, s'appuyant sur les définitions qui suivent.

Obstacle

Il ne s'agit pas de considérer des « *obstacles externes, comme la complexité et la fugacité des phénomènes* », mais « *c'est dans l'acte de connaître, intimement, qu'apparaissent, par une nécessité fonctionnelle, des lenteurs et des troubles* ». « *C'est là que nous décèlerons des causes d'inertie que nous appellerons des obstacles épistémologiques* ». « *Face au réel, ce qu'on croit savoir clairement offusque ce qu'on devrait savoir. Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés* ». « *Le réel n'est jamais* » ce qu'on pourrait croire, « *mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser* » (Bachelard, 1937, p. 14). On pourrait qualifier les obstacles épistémologiques de pseudo-connaissances qui empêchent la connaissance du réel, car c'est le fait de connaître et non celui d'ignorer qui s'oppose à la construction du rapport au savoir.

Contrat didactique

Le contrat didactique est l'ensemble « *des relations qui déterminent – explicitement pour une petite part, mais surtout implicitement – ce que chaque partenaire va avoir à charge de gérer et dont il sera, d'une manière ou d'une autre responsable devant l'autre.* » Ce qui veut dire que « *au cours d'une séance ayant pour objet l'enseignement à un élève d'une connaissance déterminée, l'élève interprète la situation qui lui est présentée, les questions qui lui sont posées, les informations qui lui sont fournies, les contraintes qui lui sont imposées, en fonction de ce que le maître reproduit, consciemment ou non, de façon répétitive dans sa pratique de l'enseignement. Nous nous intéressons plus particulièrement à ce qui, dans ces habitudes, est spécifique des connaissances enseignées* » (Brousseau, 1982, p. 61).

Conception

« *Une conception renvoie à des processus mentaux mis en oeuvre par celui qui agit, qui raisonne, qui apprend... Ces processus ne sont bien sûr pas directement observables. On ne peut que constater leurs manifestations au niveau des procédures mises en oeuvre par l'apprenant. Le chercheur, dans le but de donner du sens aux erreurs d'un élève, doit donc faire des inférences sur son fonctionnement mental.* » « On *peut dire que les conceptions ne sont pas une propriété des individus mais une construction du chercheur pour modéliser le fonctionnement cognitif de l'élève en vue d'interpréter les procédures observées dans les situations d'apprentissage.* » (Robardet & Guillaud, 1997, pp. 158-159).

Cette définition demande quelques précisions sur ce que l'on entend par erreur. En effet, nous ne nous plaçons pas dans le courant des misconceptions (Confrey, 1986 ; Novak, 1983), où l'analyse des réponses des élèves est faite en termes de conception juste ou fausse. Nous préférons ne pas porter de jugement et considérer une réponse, incorrecte du point de vue de la physique, comme une conception utilisée hors de son domaine de validité (Balacheff, 1999). De plus, nous ne pensons pas qu'une nouvelle conception en remplace une autre, mais que plusieurs conceptions cohabitent et sont mobilisées suivant le contexte (Duit, 1994). Lorsque deux conceptions sont en compétition l'une est progressivement abandonnée, au profit de l'autre qui apparaît comme plus pertinente dans un plus grand nombre de situations (Hewson & Lemberger, 1999). Dans cette étude, nous essayons de comprendre le raisonnement qu'utilisent les élèves dans un certain nombre de situations et nous ne nous limitons pas à savoir si ce raisonnement est juste ou faux du point de vue de la physique.

5. FORMULATIONS DES HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

Nous avons formulé les hypothèses de recherche qui suivent.

1. Le concept de masse inerte n'est pas mobilisé par les élèves et il est peu mobilisé par les enseignants : nous considérons que ce concept peut être connu des élèves et qu'il est connu des enseignants. Cependant, nous pensons qu'il est possible que plusieurs conceptions cohabitent (nous considérons un concept comme une **conception** en accord avec le point de vue de la physique), nous pensons que dans ce cas le concept de masse inerte ne sera pas mobilisé.

2. La force de frottement est, pour les élèves, un obstacle à l'apprentissage du concept de masse inertielle : présenter la force de frottement comme la seule résistance au mouvement risque d'en faire un **obstacle** lié à l'enseignement.

3. Le concept de masse inerte n'est perçu, même de manière erronée, qu'horizontalement par les élèves : en ne présentant le concept de masse inerte que dans des situations horizontales, nous pensons que, par effet de **contrat**, les élèves risquent de penser que ce concept n'existe qu'horizontalement.

4. Le concept de masse gravitationnelle est utilisé, par les élèves, à la place de celui de masse inerte : en ne présentant que le concept de masse gravitationnelle, par effet de **contrat**, il est probable que les élèves utilisent ce concept dans toutes les situations.

5. Pour les élèves, la vitesse en chute libre est fonction du poids : cette pseudo-connaissance, admise dans le quotidien, risque de se poser en **obstacle** pour les situations de chute libre.

6. MÉTHODOLOGIE ET MISE EN PLACE DU QUESTIONNAIRE

Le questionnaire nous est apparu comme la solution la plus adaptée pour tester nos hypothèses sur un public allant de la troisième au DEUG. En effet, il offre l'avantage de pouvoir traiter un grand nombre de productions.

Questionnaire

Nous avons décidé de faire un questionnaire avec des questions semi-ouvertes, dans lesquelles nous présentons des situations familières, où les élèves doivent prédire et expliquer ce qu'il va se passer. L'anticipation des phénomènes nous a semblé un des moyens les plus efficaces pour obliger les élèves à expliciter leurs conceptions. Faire appel à des situations familières favorise la compréhension des questions, tout en limitant les réponses dans lesquelles les élèves récitent leurs cours sans donner d'explication.

Grille d'analyse

Afin de mettre au point une grille d'analyse, nous avons défini des catégories de réponses, grâce à une analyse *a priori*, que nous avons complétée après analyse *a posteriori* des questionnaires.

Mise en place

Ce questionnaire a été distribué à :

– des élèves de **troisième**, auxquels le concept de masse inerte n'avait pas encore été présenté (stade **avant enseignement**) ;

– des élèves de **terminale**, après l'enseignement sur la mécanique, qui correspond au moment où le concept de masse inerte est enseigné (stade **d'enseignement**) ;

– des élèves de 2ème année de **DEUG** (MIAS[2]), pour lesquels le concept était théoriquement assimilé (stade **après enseignement**) ;

– des **enseignants** de lycée, qui enseignent le concept de masse (stade **savoir des enseignants**).

Le choix de cette population devait nous permettre d'obtenir les différents raisonnements liés au concept de masse pour chacun des stades d'enseignement.

Précisons que pour :

– la classe de troisième, **30** questionnaires sur **30** ont été remplis,

– la classe de terminale, **31** questionnaires sur **31** ont été remplis,

– la classe de DEUG, **9** questionnaires sur **40** ont été remplis,

– les enseignants, **8** questionnaires sur **50** ont été remplis.

Nous présentons nos résultats, question par question, et montrons l'évolution des réponses pour les différents stades d'enseignement.

7. RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE

7.1. Question 1

Nous avons proposé une situation faisant intervenir le concept de masse inerte et celui de frottement, afin d'observer comment ces concepts sont mobilisés par les élèves et si l'un est privilégié par rapport à l'autre. Nous n'attendions pas que les élèves mobilisent les deux, car comme l'explique L. Viennot (1996), il est très dur, pour les élèves, d'envisager que, pour un effet donné, il puisse y avoir plusieurs causes et que ces causes soient simultanées.

Nous avons posé la question suivante :

« ***Dans un super marché, on pousse un caddie vide puis un caddie plein, comment expliques-tu que le caddie plein soit plus dur à mettre en mouvement que le caddie vide ?*** »

Réponse attendue : le caddie plein est plus dur à mettre en mouvement, car sa masse inerte **et** les frottements sont plus grands que pour le chariot vide, donc s'opposent d'avantage à la mise en mouvement.

Un effet : le caddie plein est plus dur à mettre en mouvement.

Deux causes : la masse (inerte) et les frottements sont plus importants.

Pour analyser les réponses à cette question, nous avons utilisé les trois catégories suivantes (tableau 1) :

– **le constat d'évidence :** ce sont des réponses que nous ne pouvons pas analyser en termes de concept, car elles se placent sur le plan de la description. Par exemple : « *Car le caddie plein est plus lourd* », « *parce*

*que c'est plus lourd (*logique*)* ». Dans ces réponses, nous ne pouvons savoir ni quelle signification les élèves donnent au mot lourd, ni s'ils le rattachent à un concept lié à la masse gravitationnelle. Ces réponses ne nous donnent pas assez d'information pour en tirer une conclusion au niveau conceptuel. En revanche, elles peuvent être interprétées en termes de causalité simple : l'effet (le caddie plein est plus dur à mettre en mouvement) est dû à la cause (le caddie est plein donc plus lourd) ;

– **les frottements :** ce sont des réponses qui font appel à des raisonnements liés aux frottements. Par exemple : « *car l'action du poids des choses achetées agit sur les roues, et exerce une pression* » (élève de troisième), « *les frottements avec le sol sont beaucoup plus importants lorsque le caddie est plein à cause du poids* » (élève de terminale), « *les frottements augmentent avec le poids* » (élève de 2ème année de DEUG).

– **l'inertie :** ce sont des réponses faisant appel à des raisonnements liés à l'inertie. Par exemple : « *le poids joue dans le sens inverse de la force* » (élèves de terminale), « *plus grande inertie, donc il faut donner plus de force au plus lourd* » (élève de 2ème année de DEUG).

	Troisième	Terminale	DEUG	Enseignant
Frottements	6/30	16/31	3/9	4/8
Inertie	0/30	3/31	3/9	3/8
Inertie + frottements	0/30	0/31	0/9	1/8
Constat d'évidence	22/30	6/31	1/9	0/8
Pas de réponse	2/30	5/31	2/9	0/8

Tableau 1 **: Évolution des réponses en fonction des différents stades d'enseignement**

Analyse du tableau

Les réponses liées aux frottements sont largement majoritaires. Bien que les élèves de troisième n'aient pas encore étudié les frottements en cours, ils commencent déjà à utiliser des raisonnements s'en rapprochant : ils parlent notamment de frottement et de pression sur les roues.

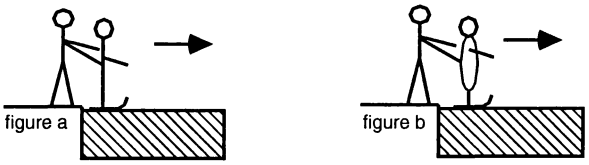
Les enseignants mobilisent plus le concept de frottements que d'inertie. C'est peut-être la raison pour laquelle nous constatons que les élèves de terminale font appel majoritairement aux frottements dans leurs réponses (16/31), contre 3/31 pour l'inertie.

Un seul enseignant répond à la question en utilisant les frottements et le concept de masse inerte. Il semblerait que les enseignants aient, comme les élèves (Viennot, 1996), des difficultés à mobiliser plusieurs concepts pour expliquer une situation donnée.

Enfin, les constats d'évidence, catégorie de réponses majoritaire en troisième diminuent fortement en terminale, jusqu'à devenir inexistants en DEUG. Ainsi, il semblerait que le système explicatif des élèves devient beaucoup plus poussé au fur et à mesure de l'enseignement, que les élèves se rattachent beaucoup moins aux traits de surface (ce qui est pareil ou différent au niveau perceptible) et qu'ils bâtissent de plus en plus leurs raisonnements sur des théories.

7.2. Question 2

Nous avons décidé de prendre une situation similaire à la question 1, mais nous avons supprimé les frottements. Ici, seule la masse inertielle intervient.



« Les frottements entre le patin à glace et la glace sont négligeables.

Sur le bord de la patinoire, un élève pousse un camarade (figure a), il pousse ensuite avec la même force un autre camarade, qui est plus lourd (figure b).

Selon toi :

1- Le plus léger va parcourir une distance plus grande.

2- Le plus lourd va parcourir une distance plus grande.

3- Les deux patineurs vont parcourir la même distance.

Explique pourquoi ».

Cette question comporte une ambiguïté ; en effet elle demande de comparer les distances parcourues, mais elle ne précise pas que cette comparaison doit se dérouler dans le « même laps de temps », sinon, compte tenu de l'absence de frottement, entre la glace et le patin et en négligeant les frottements dus à l'air, les deux patineurs ne devraient jamais s'arrêter. Pour palier cette imprécision, nous n'avons analysé que les réponses comportant des explications utilisant la vitesse ou comparant les distances dans un même laps de temps. De plus, nous n'avons pas voulu utiliser le mot force au sens de la physique (en précisant son intensité, son sens et sa direction), mais au sens de la vie quotidienne (pousser avec la même force = pousser pareil) afin d'éviter au maximum que les élèves récitent leur cours et donnent des formules, car nous n'aurions rien pu tirer de ce type d'explication.

Réponse attendue : la force de lancement étant identique, le plus léger sera plus facile à mettre en mouvement, car il a une masse inerte plus petite, donc il aura une vitesse plus importante et ira plus loin que le plus lourd dans le même laps de temps.

Nous avons défini trois nouvelles catégories (tableau 2) :

– **l'élan** : c'est l'idée selon laquelle plus un objet sera lourd et plus il ira vite, la masse jouant un rôle moteur qui entraîne les objets. Nous avons baptisé ce type de raisonnement la conception d'élan. Voici quelques réponses d'élèves : « *car la masse entraîne* », « *parce qu'avec sa lourdeur, il va avoir plus d'élan* » (élèves de troisième), « *l'énergie emmagasinée est plus grande lors de la mise en mouvement d'un objet lourd* » (élève de terminale), « *car la force d'inertie est proportionnelle à m* », « *car* $Ec = 1/2\ mv^2$ *est plus grande pour le plus lourd* » (élèves de DEUG).

Cette conception rejoint l'idée pré-galiléenne d'*impetus* : « *une certaine énergie motrice incorporelle était cédée au projectile par l'instrument du jet* » (Lecourt, 1999, p. 503). Cette idée, selon laquelle le mouvement est interprété à l'aide « *d'un capital de force* » qui entraîne les objets, a été retrouvée chez de nombreux élèves par Viennot (1978). Précisons que, dans cette situation, le « capital de force » est associé, par les élèves, uniquement à des idées faisant appel à la lourdeur ou à la masse ;

– **l'attraction terrestre :** c'est l'idée selon laquelle plus un objet est lourd et plus il est difficile à mettre en mouvement, parce que l'attraction terrestre empêche le mouvement. C'est comme s'il y avait un aimant au centre de la terre qui attirerait les objets et freinerait leur mise en mouvement. On retrouve le cas où la masse gravitationnelle est utilisée à la place de la masse inerte. Voici quelques réponses, où il est écrit que le patineur le plus léger parcourt une plus grande distance dans un même laps de temps : « *parce que la force d'attraction du camarade le plus lourd est plus forte et freine la vitesse* » (élève de troisième), « *le poids va vers le centre de la Terre, donc la Terre joue un rôle de résistance par rapport au poids* », « *à cause de l'attraction de la Terre qui est plus forte suivant la masse de l'objet* » (élèves de terminale) ;

– l'inertie est ignorée : il s'agit des justifications dans lesquelles la masse (inerte) ne joue aucun rôle. Les élèves répondent que, sans frottements, les deux patineurs parcourront la même distance : « *car même force, donc même vitesse* », « car *le poids n'a aucun lien avec la vitesse* » (élèves de terminale), « *comme P= m.g, pour les deux camarades la réaction du support et le poids s'annulent, de plus les frottements sont négligeables, donc ils vont parcourir la même distance* » (élève de DEUG), « *ils parcourent la même distance en des temps égaux* » (enseignant de lycée).

Nous avons gardé la catégorie **inertie** : « *le poids joue une force de résistance contre la force de l'élève* » (élève de terminale).

	Troisième	Terminale	DEUG	Enseignant
Inertie ignorée	0/30	13/31	3/9	1/8
Inertie	4/30	5/31	1/9	4/8
Attraction Terrestre	1/30	1/31	0/9	0/8
Élan	6/30	2/31	3/9	0/8
Constat d'évidence	1/30	0/31	0/9	0/8
Réponse non analysée	14/30	7/31	2/9	3/8
Pas de réponse	4/30	3/31	0/9	0/8

Tableau 2 : **Évolution des réponses en fonction des différents stades d'enseignement**

Analyse du tableau

Nous avons dû écarter la moitié des réponses des élèves de troisième et environ un tiers des réponses des autres classes, à cause du manque de précision de cette question. L'analyse dont nous rendons compte ne concerne plus la totalité des personnes interrogées.

Le concept d'inertie commence à être envisagé par les élèves de troisième : « *parce que le plus léger bouge facilement* », « *car son poids le ralentira moins* ». Bien qu'envisagée en troisième, l'inertie est très peu mobilisée en terminale et en DEUG. Beaucoup des réponses d'élèves de terminale et de DEUG mobilisent des idées à l'encontre du concept d'inertie [la masse (inerte) ne joue aucun rôle]. Nous avons même trouvé un enseignant qui, dans sa réponse, niait ce rôle. Cette situation nous permet de voir que le concept d'inertie est très peu mobilisé, ce qui nous conforte dans nos hypothèses de recherche. De plus, en comparant les réponses aux questions 1 et 2, nous trouvons que la majorité des élèves qui justifient la question 1 par les frottements ne mobilisent pas le concept d'inertie à la question 2.

Les élèves qui mobilisaient le concept de masse inerte dans la question 1 ne le mobilisent pas forcément dans la question 2. Ce qui nous amène à préciser que les raisonnements, que nous inférons aux réponses des élèves, sont forcément rattachés à la situation proposée. Ce n'est pas parce qu'un élève a utilisé la conception d'élan dans une situation qu'il l'utilisera de nouveau dans une autre situation.

Enfin, les réponses faisant appel à la conception d'élan restent présentes de la troisième au DEUG. Précisons que, contrairement à la conception d'attraction terrestre, que nous avions envisagée dès l'analyse *a priori*, la conception d'élan a été découverte lors de l'analyse *a posteriori* des questionnaires.

7.3. Question 3

À travers cette question, nous souhaitions tester deux hypothèses : pour les élèves, la vitesse en chute libre est fonction du poids et le concept d'inertie n'est perçu, même de manière erronée, qu'horizontalement (tableau 3). Nous avons choisi l'énoncé suivant qui fait intervenir la masse gravitationnelle et la masse inerte verticalement :

> ***« Un homme tient une boule de pétanque et une balle de tennis dans ses mains, il les place à la même hauteur et les lâche en même temps.***
>
> ***Selon toi :***
>
> ***1- C'est la boule de pétanque qui va toucher le sol en premier.***
>
> ***2- C'est la balle de tennis qui va toucher le sol en premier.***
>
> ***3- Elles vont arriver en même temps.***
>
> ***Explique pourquoi ».***

Réponse attendue :

– la boule de pétanque étant plus lourde, elle sera plus attirée par la Terre (masse gravitationnelle), mais elle sera plus dure à mettre en mouvement (masse inerte),

– la balle de tennis sera moins attirée par la Terre, mais se mettra plus facilement en mouvement.

C'est pour cela que la boule de pétanque et la balle de tennis arrivent en même temps.

Pour éviter au maximum les réponses de type « cours » avec des formules, nous n'avons pas précisé s'il fallait négliger ou non les frottements de l'air sur les balles. En toute rigueur physique, il serait normal de prendre les frottements de l'air en compte et de considérer que la boule de pétanque arrivera très légèrement avant la balle de tennis. Cependant, à hauteur d'homme, la différence n'est pas perceptible à l'œil nu et ces deux objets arrivent en même temps.

Pour les réponses, nous avons eu deux élèves de troisième qui expliquent que la boule de pétanque arrive en premier « *parce que l'air retient plus la plus légère* », et il n'y a que deux enseignants qui ont utilisé des justifications liées aux frottements de l'air. Tous les autres élèves ne parlent pas d'air dans leurs explications, donc nous faisons l'hypothèse qu'ils n'en tiennent pas compte dans leurs réponses.

	Troisième	Terminale	DEUG	Enseignant
Boule de pétanque	**19/30**	**16/31**	**1/9**	**0/8**
Explications :				
Constat d'évidence	16/19	13/16	0/1	0/0
Frottements	2/19	0/16	0/1	0/0
Masse gravitationnelle	1/19	3/16	1/1	0/0
En même temps	**10/30**	**12/31**	**8/9**	**8/8**
Explications :				
Cours	3/10	6/12	8/9	8/8
Pas d'explication	7/10	6/12	0/9	0/8
Pas de réponse	**1/30**	**3/31**	**0/9**	**0/8**

Tableau 3 : **Évolution des réponses en fonction des différents stades d'enseignement**

Analyse du tableau

La majorité des élèves de troisième et de terminale répond que la boule de pétanque va arriver la première. Ce qui est surprenant c'est le grand nombre de réponses de type constat d'évidence et le peu de réponses utilisant la masse gravitationnelle. Pour les élèves de DEUG, la tendance s'inverse et la quasi-totalité pense que la boule de pétanque et la balle de tennis vont arriver en même temps. Ce renversement provient certainement de l'enseignement, car cette situation est souvent traitée en classe de terminale.

Nous avons obtenu deux types de justification :

– le constat d'évidence : « *car la boule de pétanque est plus lourde* » ;

– le type cours : « *la vitesse ne dépend pas de la masse* », « *le poids n'intervient pas dans cette expérience, seul le volume intervient* » (élèves de terminale) « *a=g donc c'est indépendant de la masse* », « *F=m.a, donc a=g* » (élèves de DEUG) ; dans les réponses de type cours nous n'obtenions pas assez d'information sur le concept de masse pour pouvoir en déduire quelque chose.

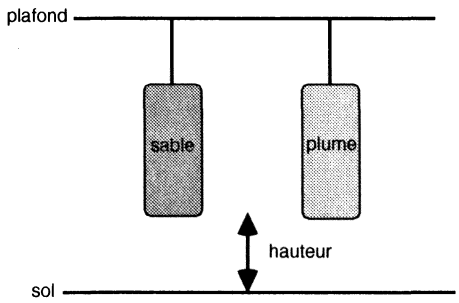
Cette question renforce l'hypothèse selon laquelle : « la vitesse de chute dépend du poids » pour les élèves de troisième et de terminale. En revanche, elle a tendance à l'invalider pour les élèves de DEUG et les enseignants.

En ce qui concerne l'hypothèse : « le concept d'inertie n'est perçu, même de manière erronée, qu'horizontalement par les élèves », nous ne pouvons pas trancher : certes le concept de masse inerte n'est jamais

mentionné par les élèves, mais le concept de masse gravitationnelle est très peu utilisé dans les réponses. Nous pouvons conclure seulement que les concepts de masse inerte et de masse gravitationnelle sont très peu mobilisés par les élèves.

7.4. Question 4

Cette question se propose de tester l'hypothèse : « le concept de masse inerte n'est perçu, même de manière erronée, qu'horizontalement par les élèves ». Dans cette situation, l'inertie agit horizontalement et la gravitation verticalement (tableau 4).



« Deux punching-balls sont suspendus au plafond, le premier est rempli de sable et le second est rempli de plumes. Un boxeur tape de toutes ses forces, dans le premier punching-ball, puis dans le second.

Selon toi :

1– C'est le punching-ball rempli de sable qui va monter le plus haut.

2– C'est le punching-ball rempli de plumes qui va monter le plus haut.

3– Ils vont monter à la même hauteur.

Explique pourquoi ».

Nous avons utilisé volontairement l'expression quotidienne « *taper de toutes ses forces* », à la place de l'expression physique avec « *une force de même intensité* », pour éviter que les élèves modélisent cette situation avec des formules mathématiques et pour favoriser l'explication dans un langage naturel.

Réponse attendue : le punching-ball rempli de plumes va monter plus haut que celui rempli de sable, car il a une masse moins importante donc il est plus facile à mettre en mouvement et lorsqu'il monte, il est moins attiré par la Terre. (Nous ne tenons pas compte des frottements de l'air sur le punching-ball).

	Troisième	Terminale	DEUG	Enseignant
Même hauteur	**8/30**	**4/31**	**0/9**	**1/8**
Plume plus haut	**20/30**	**25/31**	**8/9**	**6/8**
Explications :				
Constat d'évidence	12/20	11/25	1/8	0/6
Masse gravitationnelle	2/20	0/25	2/8	1/6
Masse inerte	0/20	7/25	0/8	2/6
Pas d'explication	6/20	7/25	5/8	3/6
Sable plus haut	**2/30**	**0/31**	**0/9**	**0/8**
Explication :				
Élan	2/2	0/0	0/0	0/0
Pas de réponse	**0/30**	**2/31**	**1/9**	**1/8**

Tableau 4 : **Évolution des réponses en fonction des différents stades d'enseignement**

Analyse du tableau

Plus de 3/4 des réponses indiquent que le punching-ball rempli de plumes va monter le plus haut et cela pour tous les niveaux d'enseignement. Il est intéressant de voir que l'on retrouve, comme pour la question 3, un nombre élevé de constats d'évidence et des réponses sans explication, ce qui montre que les élèves ont des difficultés à expliquer des situations où le concept de masse inerte et celui de masse gravitationnelle sont présents simultanément. De plus ces concepts sont mobilisés rarement dans les explications des élèves, sauf pour la classe de terminale où environ un quart l'utilise. Exemple : « *celui rempli de plumes monte plus haut car il est plus facile à mettre en mouvement* » (élève de terminale).

La conception d'élan se retrouve, mais uniquement dans les réponses des élèves de troisième, pour justifier que le punching-ball de sable monte le plus haut.

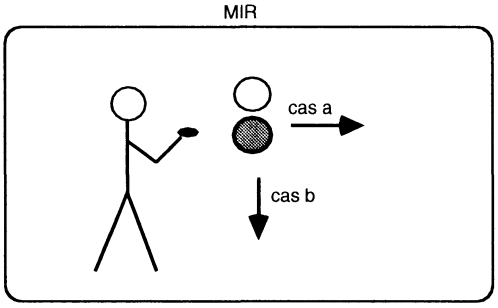
Le concept d'inertie est trop peu mobilisé pour nous permettre de trancher sur le fait que le concept de masse inerte n'est perçu, même de manière erronée, qu'horizontalement par les élèves. Nous pouvons juste constater qu'un quart des élèves de terminale le mobilise dans cette situation.

7.5. Question 5

Toujours dans l'idée de regarder quand le concept d'inertie est mobilisé par les élèves, nous avons cherché une situation où, **seul,** le concept de masse inerte interviendrait. Pour cela nous avons choisi une

situation se déroulant dans l'espace. Cette question n'est plus inspirée d'une situation familière : les élèves ne peuvent pas s'appuyer sur leur vécu pour y répondre.

MIR



« Un cosmonaute flotte dans la station MIR en état d'apesanteur. Il doit frapper avec la même force un ballon rempli d'air, puis un ballon rempli de sable. Selon toi, s'il frappe les deux ballons horizontalement (cas a) :

1-C'est le ballon rempli de sable qui va partir le plus vite.

2-C'est le ballon rempli d'air qui va partir le plus vite.

3-Ils vont partir pareil.

Explique pourquoi

Même question pour le cas b ».

Nous avons utilisé volontairement l'expression quotidienne « *frapper avec la même force* », à la place de l'expression physique avec « *une force de même intensité* », pour éviter que les élèves modélisent cette situation avec des formules mathématiques et pour favoriser l'explication de cette situation en langage naturel (tableaux 5a et 5b)

Réponse attendue : le ballon rempli d'air va partir plus vite, car sa masse est moins grande que celle du ballon rempli de sable donc il sera plus facile à mettre en mouvement. Cette question demande aux élèves d'étudier la situation juste après l'impact du ballon et nous n'attendions pas que les élèves prennent en compte les frottements de l'air sur les ballons.

	Troisième	Terminale	DEUG	Enseignant
Réponse 1 (sable)	10/30	0/31	0/9	1/8
Réponse 2 (air)	10/30	0/31	1/9	7/8
Réponse 3 (identique)	9/30	31/31	7/9	0/8
Pas de réponse	1/30	0/31	1/9	0/8

Tableau 5a : **Évolution des réponses à la question 5 (cas a) en fonction des différents stades d'enseignement**

Analyse du tableau

Il est impressionnant de voir que, pour la terminale, tous les élèves répondent que les deux ballons vont partir avec la même vitesse. Nous avons trouvé de nombreuses justifications du type : « *la masse n'a pas d'importance, car l'expérience se passe en apesanteur* », « *en apesanteur la masse n'a pas d'importance* ». De plus, la quasi-totalité des élèves de DEUG répond comme les terminales, avec le même type de justification.

	Troisième	Terminale	DEUG	Enseignant
Réponse 1 (sable)	17/30	0/31	0/9	1/8
Réponse 2 (air)	1/30	0/31	1/9	7/8
Réponse 3 (identique)	9/30	31/31	7/9	0/8
Pas de réponse	3/30	0/31	1/9	0/8

Tableau 5b : **Évolution des réponses à la question 5 (cas b) en fonction des différents stades d'enseignement**

En comparant les tableaux 5a et 5b, il apparaît que seules les réponses des élèves de troisième changent en fonction de la direction. De plus, on trouve un certain nombre de justifications faisant appel à la gravitation. Ce qui nous conforte dans l'idée que la notion selon laquelle toutes les directions sont équivalentes en apesanteur, n'est pas encore assimilée. En revanche cette notion nous semble bien maîtrisée par les classes de terminale et de DEUG (on retrouve les mêmes réponses dans les deux cas).

Dans cette situation il est clair que le concept de masse inerte, aussi bien verticalement qu'horizontalement, n'est pas mobilisé par les élèves. Il est rare de rencontrer, dans un questionnaire, un nombre aussi unanime de réponses non conformes du point de vue de la physique. Nous pensons que cela vaudrait la peine de faire une étude plus fine sur ce sujet notamment de creuser la signification du mot apesanteur, les propriétés que lui attribuent les élèves, ainsi que l'enseignement traitant de ce sujet.

CONCLUSION

En nous appuyant sur l'approche historique du concept de masse, ainsi que sur une analyse partielle des programmes, nous avons formulé des hypothèses de recherche, que nous avons testées, à l'aide d'un questionnaire, sur une population allant de la troisième au DEUG en passant par les enseignants. Nous tenons à préciser que le nombre de personnes étudiées ne peut constituer un échantillon représentatif, et les résultats que nous avons obtenus se limitent aux situations que nous avons proposées dans le

questionnaire. Cette étude montre certains types de raisonnement qu'utilisent les élèves dans les situations proposées.

Nous avons vu que, dans la « situation des caddies », mettant en jeu les frottements et la masse inerte, la majorité des élèves mobilise les frottements et que très peu utilisent le concept de masse inerte. De plus, si l'on supprime les frottements (« situation des patineurs sur glace »), la majorité des élèves raisonne comme si la masse (inerte) n'intervenait pas, ce qui nous amène à penser que, pour les élèves, seuls les frottements jouent un rôle dans ces situations. Ceci nous conforte dans l'idée que, dans ces deux situations, **la force de frottement peut être un obstacle à l'apprentissage du concept de masse inerte pour les élèves,** car elle est présentée comme la seule résistance à la mise en mouvement.

Dans la « situation des patineurs sur glace », nous avons vu apparaître le raisonnement selon lequel plus un objet est lourd et plus il est difficile à mettre en mouvement. Parce que l'attraction terrestre empêche le mouvement, nous avons baptisé ce raisonnement : **la conception d'attraction terrestre**. Il illustre assez bien le fait que **le concept de masse gravitationnelle est utilisé à la place de celui de masse inerte.** Cependant nous l'avons trouvé chez trop peu d'élèves pour que cette hypothèse soit confirmée dans cette situation.

Dans la situation « balle de tennis versus boule de pétanque », il apparaît que, pour la majorité des élèves de troisième et de terminale, la boule de pétanque va arriver en premier, en revanche la grande majorité des élèves de DEUG prédit que les deux boules arriveront en même temps. Ceci nous permet d'inférer que, pour la plupart des élèves de troisième et de terminale, **la vitesse en chute libre est fonction du poids.**

Nous avons aussi constaté qu'il était difficile, pour les élèves, de formuler des explications dans les questions faisant intervenir le concept de masse gravitationnelle et celui de masse inerte. De plus, nous avons pu voir que l'inertie n'était jamais mobilisée ni dans la direction verticale pour la « situation balle de tennis versus boule de pétanque », ni dans la « situation en apesanteur », et qu'elle était très peu mobilisée, sauf pour les élèves de terminale, dans la direction horizontale. Ceci nous conforte dans l'idée, que, pour ces situations, **le concept de masse inerte n'est perçu, même de manière erronée, qu'horizontalement par les élèves.**

À travers les situations mettant en jeu simultanément plusieurs concepts, la quasi-totalité des élèves n'utilise qu'un seul concept pour les interpréter. Dans ces situations, les élèves mobilisent très peu le concept de masse inerte horizontalement et jamais verticalement. De plus, ce concept est très peu mobilisé par les enseignants.

Dans les situations en apesanteur, où seul ce concept intervient pour la physique, il n'est mobilisé ni par les élèves de terminale ni par la quasi-totalité des élèves de DEUG, ce qui, pour cette situation, confirme que **le concept de masse inerte n'est pas mobilisé par les élèves**. En revanche il est **mobilisé** par presque **tous les enseignants**. Ce résultat mérite d'être creusé : comment ce sujet est-il introduit dans l'enseignement ? Quelle signification les élèves donnent-ils au mot apesanteur et quelles propriétés lui attribuent-ils ?

Enfin, les élèves peuvent concevoir l'inertie comme une force d'élan. En effet, nous avons vu apparaître, à plusieurs reprises, l'idée que le poids ou la masse d'un objet entraîne les objets et que plus ils seront lourds et plus ils iront vite. Nous avons baptisé ce raisonnement : **la conception d'élan.** Cette conception rejoint l'idée pré-galiléenne d'*impetus,* retrouvée chez plusieurs élèves par Viennot (1978, 1996), où le mouvement est interprété à l'aide « d'un capital de force » qui entraîne les objets. Cependant, la conception d'élan n'associe ce « capital de force » qu'à des idées concernant le poids ou à la masse des objets ; et les élèves ne considèrent l'influence de la masse qu'après la mise en mouvement d'un objet. En effet, ils ne tiennent compte ni du moment où il faut mettre l'objet en mouvement, ni du rôle que joue la masse dans la mise en mouvement de cet objet.

Ce travail a mis en évidence un certain nombre de difficultés susceptibles d'apparaître lors de l'apprentissage du concept de masse. Il reste néanmoins à bâtir un enseignement tenant compte de ces difficultés et à tester cet enseignement, cela fera probablement partie d'une recherche future.

NOTES

1 Le sigle DEUG signifie Diplôme d'Études Universitaires Générales.

2 MIAS signifie Mathématiques, Informatique et Applications aux Sciences.

BIBLIOGRAPHIE

AUBERT F. (1994). *Contribution à la distinction des concepts de masse et de poids en classe de troisième.* Mémoire de DEA, Université de Montpellier 2.

BACHELARD G. (1937). *La formation de l'esprit scientifique.* Paris, Vrin.

BALACHEFF N. (1999). Conception, Connaissance et Concept. *DidaTech*, n° 157, pp. 219-244.

BROUSSEAU G. (1998). *Théorie des situations didactiques.* Grenoble, La Pensée sauvage.

LECARDONNEL J.-P., ANFOSSO F., BOULAND A., CAUWET J., LARCHER C., MYRAMOND M. & PAUL J.-C. (1998). *Physique Première S.* Paris, Bordas.

LECARDONNEL J.-P., ANFOSSO F., BOULAND A., CAUWET J., LARCHER C., MYRAMOND M. & PAUL J.-C. (1998). *Physique Terminale S.* Paris, Bordas.

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1998). *Numéro 10. Programmes de Troisième.* Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1998). *Numéro 10. Programmes des lycées, Physique-chimie classe de Première.* Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1998). *Numéro 10. Programmes des lycées, Physique-chimie classe de Terminale.* Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.

CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique.* Grenoble, La Pensée sauvage.

CONFREY J. (1986), « *Misconceptions* » *across subject matters : changing the course from a constructivism perspective.* In the annual meeting of the American Educational Research Association.

DESCARTES R. (1641). *Méditation métaphysique.* Paris, Vrin.

DOMÉNECH A., CASASUS E. & DOMÉNECH M. (1993). The classical concept of mass : theoretical difficulties and students' définitions. *International journal of science éducation,* vol. 15, n° 2, pp. 163-173.

DUIT R. (1994). *Conceptual change approaches in science education.* Paper presented at the Symposium on Conceptual Change, Friedrich Schiller University of Jena, Germany.

EINSTEIN A. & INFELD L. (1983). *L'évolution des idées en physique.* Paris, Flammarion.

GALILI I. (1993). Weight and gravity : teachers' ambiguity and students' confusion about the concepts. *International journal of science éducation,* vol. 15, n° 2, pp. 149-162.

GUILLAUD J.-C. (1998). *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième.* Thèse, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, Laboratoire Interdisciplinaire de Didactique des Sciences Expérimentales.

HALBWACHS F. & BOVET M. (1980). Le poids et la masse en classe de sixième. *Revue Française de Pédagogie,* n° 53, pp. 4-18.

HALBWACHS F. & BOVET M. (1983). Sur le poids et la masse, la statique et la dynamique. *Revue Française de Pédagogie,* n° 63, pp. 119-127.

HEURTAUX J. (1978). À propos de « masse inerte et masse de gravité ». *Revue Française de Pédagogie,* n° 45, pp. 37-47.

HEWSON P.W. & LEMBERGER J. (1999). Status : the hallmark of conceptual learning An Example from Learning. *Invited paper for presentation at a Seminar to celebrate Rosalind Driver's contribution to research in science education, York,* pp. 1-24.

LANDAU & LIFCHIFTZ (1975). *Physique théorique, mécanique.* Moscou, MIR.

LECOURT D. (1999). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences.* Paris, PUF.

MACH E. (1883). *La mécanique, exposé historique et critique de son développement.* Paris, Éditions Jacque Gabay.

MERLEAU-PONTY J. (1974). *Leçons sur la genèse des théories physiques.* Paris, Vrin.

MULLET E. & GERVAIS H. (1990). Distinction between the concepts of weight and mass in high school students. *International journal of science éducation,* vol. 12, n° 2, pp. 217-226.

NEWTON I. (1687). *Principia Mathématica.* Paris, Blanchard, 1966.

NOVAK J.D. (1983). *Misconceptions in Science and Mathématics.* http : //www2.usc.edu/mlgr.html, Ithaca : Cornell University.

PIAGET J. (1969). *Psychologie et pédagogie.* Paris, Denoël.

REIF F. (1995). *Understanding basic mechanics.* Paris, Éditions Wiley.

ROBARDET G. (1995). Situations-problèmes et modélisation : l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia,* n° 7, pp. 129-143.

ROBARDET G. & GUILLAUD J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques.* Paris, PUF.

VIENNOT L. (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue Française de Pédagogie,* n° 45, pp. 16-24.

VIENNOT L. (1996). *Raisonner en physique.* Bruxelles, de Boeck.

VYGOTSKI L. S. (1985). *Pensée et langage.* Paris, Terrains / Éditions sociales.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Jean-Claude Guillaud et Guy Robardet pour avoir encadré ce travail de DEA, qui s'est déroulé au sein du Laboratoire Interdisciplinaire de Didactique des Sciences Expérimentales à Grenoble, ainsi que Bernadette Pateyron pour la pertinence de ses remarques, son soutien moral et orthographique.

Cet article a été reçu le 30 octobre 2001 et accepté le 15 décembre 2001.