Acquisition de P = mg en classe de troisième. Compréhension du phénomène physique et manipulation de la formule

BALDY Elise, doctorante EDIIS (Ecole Doctorale : Informatique et Information pour la Société, Lyon I), Laboratoire LIRDEF, IUFM de l'académie de Montpellier, France.

Introduction

Ce travail porte sur l'apprentissage de la notion de gravitation par des élèves de troisième. Normalement, après enseignement, les élèves doivent avoir compris le phénomène physique et savoir manipuler la formule P = mg reliant le poids et la masse. L'expérience de nombreux enseignants suggère que ces objectifs ne sont pas atteints et que les élèves ne savent pas effectuer des applications numériques. Nous tentons de comprendre les raisons de ces difficultés en établissant des relations entre la capacité à manipuler la formule et les autres capacités des élèves en physique et en mathématiques.

Cadre théorique

La maîtrise de la formule P = mg s'appuie sur la compréhension de son sens physique (reconnaissance des concepts et de leurs relations en liaison avec le phénomène) et la capacité à la manipuler. Le phénomène physique, dont il est question ici, est celui de la gravitation et de son effet sur les corps : les corps tombent car ils sont attirés vers la Terre (ou vers le centre d'un astre). En classe de troisième, cette force d'attraction est nommée poids. Si comme le dit Galilée, " le livre de la nature est écrit en langage mathématique…", il faut comprendre ce langage. Dans le cas étudié, les élèves peuvent, en outre, rencontrer un obstacle sémantique : le même symbole "g" renvoie à l'unité de gramme et à intensité de la pesanteur, d'autant plus que ces deux signifiés appartiennent au même champ conceptuel.

Manipuler une formule signifie être capable de l'utiliser et de la transformer correctement de manière à résoudre des applications numériques. Cette compétence est proche de la manipulation algébrique de y = ax. Cependant, on ne raisonne pas de la même manière sur une notion suivant le cadre de rationalité (Lerouge, 2000) auquel on la rattache : mathématique ou physique, par exemple. Le calcul algébrique appartient *a priori* au cadre mathématique alors que le contexte de l'exercice induit l'utilisation d'un cadre physique. Pour Develay et Meirieu (1992), le transfert d'une connaissance d'une situation à une autre s'appuie sur sa décontextualisation. Cette dernière peut-être décrite comme une réélaboration abstraite dans un cadre commun, un "méta-cadre" (Baldy, 2003). Bassok et Holyoak (1996) ajoutent que la structure mathématique de la formule doit elle aussi être abstraite et stockée en mémoire.

Question de recherche

Notre objectif est de vérifier si les élèves savent ou non manipuler la formule et, dans la négative, de comprendre les raisons de leurs difficultés. Pour cela nous analysons les relations entre les compétences impliquées dans l'acquisition de $P = mg$. Nous notons : (P) la manipulation de cette formule, (φ) la compréhension du phénomène physique, (V) la capacité à verbaliser la formule, (Y) la capacité à manipuler $y = ax$ et (R) la reconnaissance de la proportionnalité entre le poids et la masse sous-tendant peut-être son transfert. Notons que ces compétences vont au-delà de celles indiquées dans le programme du BO n°10 du 15/10/98 (p. 131).

Méthodologie

L'expérimentation concerne 78 élèves de troisième d'un collège de la banlieue de Nîmes (30). La séquence d'enseignement que suivent les élèves se déroule sur trois séances. La première propose aux élèves de visionner des extraits d'une cassette montrant des cosmonautes marchant sur la Lune. Elle a pour objectif de faire évoluer les conceptions initiales des élèves. La deuxième présente le modèle du "plissement de l'espace-temps" en utilisant une "maquette édredon". Elle permet de comprendre la gravitation (les corps tombent car ils sont attirés vers la Terre) comme conséquence du plissement de l'espace-temps par la matière (à l'origine de "g" et de ses variations). La troisième propose aux élèves de construire expérimentalement la relation de proportionnalité entre le poids, la masse et l'intensité de la pesanteur ($P = mg$).

Nous tentons de répondre à la question : les symboles conservent-ils les propriétés des concepts ? Les élèves répondent à un questionnaire concernant le symbole "g" avant enseignement de la formule et un questionnaire relatif à $P = mg$ après son enseignement. Et nous analysons, après enseignement, les relations entre les compétences de chaque élève. Elles sont inférées des réponses à des questions formulées à partir d'hypothèses sur les conceptions des élèves. Nous effectuons le test statistique de la loi binomiale, les relations entre deux compétences ne sont pas dues au hasard pour $p < .05$.

Résultats

Les symboles conservent-ils les propriétés des concepts ?

Exemples de questions :

Que représente le symbole g ? Quelles sont ses propriétés ?

Faites une phrase pour traduire ce que signifie la formule P = mg.

Tableau 1 : compréhension de "g" pour les élèves (N = 78)

groupe 2	avant enseignement de la formule			après enseignement de la formule			
				phrase correcte		confusion de "g"	
	"g" signifie intensité de la pesanteur	"g" signifie gramme	sans réponse	le poids est égal à la masse fois l'intensité de la pesanteur	le poids est égal à la masse fois "g"	le poids est égal à la masse en grammes ou aux milligrammes	sans réponse
effectif	73	1	4	14	20	19	25

Avant l'introduction de la formule, les élèves associent "g" à l'intensité de la pesanteur. Après l'apprentissage de la formule, ils sont dix-neuf élèves à traduire "g" par gramme ou "mg" par milligrammes. Ce résultat paradoxal peut s'expliquer par le fait qu'avant enseignement la question porte uniquement sur "g", alors qu’après enseignement l’élève doit faire parler la formule, c’est-à-dire nommer les concepts et leur relation. On peut penser aussi que la présentation de la formule "trouble" la signification attribuée au symbole "g".

Relations entre les différentes compétences des élèves

Nous considérons que l’élève possède la compétence s’il manipule correctement la formule $P = mg$ dans au moins cinq applications numériques sur les sept proposées, P (+) (on notera P (-) dans le cas contraire) ; s’il comprend le phénomène physique dans quatre exercices (*exemple : un cosmonaute quitte ses bottes sur la Lune, que se passe-t-il ? Justifiez votre réponse*). Si l’élève répond que le cosmonaute et les bottes restent sur le sol de la Lune à cause de l’attraction lunaire, nous considérons qu’il a une conception des faits et de leurs causes proche du modèle scientifique enseigné (φ). S’il répond que le cosmonaute flotte car il n’y a pas d’atmosphère ou d’attraction et qu’il a quitté ses bottes spéciales nous considérons que l’élève n’a pas compris le phénomène de la gravitation ; s’il verbalise correctement ce que signifie la formule $P = mg$ (*le poids est égal à la masse fois "g", le poids est proportionnel à la masse…*) (V) ; s’il manipule correctement $y = ax$ lors de l’application numérique dans un contexte mathématique (Y) ; s’il reconnaît explicitement la relation de proportionnalité entre le poids et la masse dans au moins l’une des trois questions proposées (R).

A partir de ces catégories (P, φ, V, Y, R), nous établissons les profils de compétences de chaque élève :

Tableau 2 : profils de compétences des élèves (N=78).

n°	profils menant uniquement à P(+)	effectif
1	φ V Y R	7
2	φ Y R	2
3	V Y R	1

n°	profils menant uniquement à P(-)	effectif
4	φ Y	8
5	φ	16
6	φ V R	1
7	φ R	2
8	Y	1
9	Y R	2
10	R	1
11	0	13

n°	profils menant à P(+) ou P(-)	effectif P(+)	effectif P(-)
12	φ V	1	8
13	V	1	1
14	V R	1	1
15	φ V Y	3	8

Nous constatons que parmi les seize élèves qui manipulent correctement $P = mg$ (cases grisées), sept élèves possèdent toutes les compétences étudiées. Les autres ont des profils très divers. On constate que la majorité des élèves manipulant correctement $P = mg$ comprend le phénomène physique (φ, $p = .011$), verbalise correctement la formule (V, $p = .002$) ou manipulent la formule $y = ax$ (Y, $p = .011$). Notons que la majorité des élèves qui verbalisent correctement $P = mg$ (V) comprennent le phénomène physique (φ, $p < .05$).

Si nous étudions les profils spécifiques à l’échec dans la manipulation de $P = mg$, globalement il manque la verbalisation (V) (on voit dans le tableau 2, que seul un sujet (profil n°6) la possède) et la manipulation de $y = ax$ (profils n°5, 6, 7, 10, 11). Treize élèves échouent à toutes les catégories de question (profil n°11).

Quatre profils correspondent soit à l’échec soit à la réussite de la manipulation de $P = mg$. Le profil n°12 correspondant plus fréquemment à l’échec, ne possède pas les compétences mathématiques (Y et R). Le profil n°15, possédant des compétences physiques (φ et V) et des compétences mathématiques (Y), correspond aussi bien à l’échec qu’à la réussite ($p =.113$). Notons que ces élèves ne reconnaissent pas la relation de proportionnalité entre le poids et la masse.

Discussion et conclusion

Après enseignement, **beaucoup d'élèves de troisième ne savent pas manipuler la formule P = mg** (62/78, soit 80%). L'objectif de notre recherche était d'en comprendre les raisons en étudiant les liens entre cette compétence et celles liées à la notion de gravitation ou au calcul algébrique.

Les résultats suggèrent que **la compréhension du phénomène physique et la capacité à verbaliser correctement la formule** favorisent la manipulation de P = mg. Notons que comprendre le phénomène n'implique pas comprendre la formule. En effet, **pour beaucoup d'élèves, la formule n'est pas clairement reliée aux connaissances conceptuelles** qu'elle exprime**.** Ils butent sur un obstacle sémantique et n'associent pas "g" au bon signifié. Cette incapacité peut être un obstacle à la manipulation de la formule.

Les compétences physiques, bien que nécessaires, suffisent rarement seules à la manipulation de P = mg. **La connaissance du calcul algébrique semble nécessaire**. Or, son transfert des mathématiques à la physique ne va pas de soi. D'après Mendelsohn (1998), le transfert ne peut s'effectuer que si l'élève reconnaît dans la tâche cible la même structure que celle de la tâche source stockée de manière abstraite en mémoire. On peut penser que les élèves manipulant correctement y = ax mais pas P = mg ne remarquent pas de similitude entre ces deux relations. On peut supposer qu'ils raisonnent en physiciens en focalisant leur attention sur le sens des symboles et n'extraient pas la structure algébrique de la formule. Nous pouvons penser que si ces élèves reconnaissaient la relation de proportionnalité cela les aiderait à transférer leurs connaissances. En effet, tous les profils menant uniquement à la réussite possèdent les deux compétences Y et R. Notons que les profils comportant uniquement des compétences mathématiques (Y ou R) ne mènent jamais à la réussite.

Il semble que les obstacles à la manipulation de P = mg soient de deux sortes : certains élèves ne possèdent pas les compétences nécessaires (algébriques, compréhension du phénomène physique), d'autres ne sont pas capables de les exploiter : ils ne relient pas P = mg au phénomène de la gravitation qu'ils connaissent ou ne transfèrent pas leurs connaissances mathématiques en physique. Des compétences à la fois en physique et en mathématiques sont nécessaires pour manipuler P = mg, encore faut-il être capable de les mobiliser.

Bibliographie

BALDY Elise, 2003, *Etude de la reconnaissance de la proportionnalité dans la relation entre le poids et la masse par les élèves de classes de troisième*, mémoire de DEA, Université Montpellier II et Lyon I

BASSOK Miriam et HOLYOAK Keith J., 1996, in : Alain LIEURY, *Manuel de psychologie de l'éducation et de la formation*, Paris, Dunod

DEVELAY Michel et MEIRIEU Philipe, 1992, *Emile reviens…ils sont devenus fous*, Paris, ESF éditeur

LEROUGE Alain, 2000 "Le culturel et le familier dans la conceptualisation de la droite en mathématique au collège : la notion de cadre de rationalité" *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, vol. 20, n°2, pp. 171-207

MENDELSOHN Patrick, 1998, in : Bernard REY *Les compétences transversales en question*, Paris, ESF éditeur