REPERES - IREM. N° 66 - janvier 2007

MATHEMATIQUES ET PHYSIQUE EN CLASSE DE TROISIEME : L'EXEMPLE DE LA PROPORTIONNALITE

Elise BALDY *, Jean-Michel DUSSEAU *
et Viviane DURAND-GUERRIER **

Résumé : *Cet article illustre, sur le cas de la proportionnalité, quelques unes des questions posées aux enseignants et aux élèves en raison des liens tant implicites qu'explicites existant entre les mathématiques et la physique en classe de troisième. Partant des programmes et de leurs mises en œuvre par quelques enseignants, nous insistons sur les difficultés rencontrées par les élèves pour reconnaître et utiliser ces liens.*

Introduction

En mathématiques, les travaux de Comin (2002) sur l'enseignement de la proportionnalité dans la scolarité obligatoire montrent que les connaissances sur la proportionnalité et la fonction linéaire cohabitent chez les élèves tout en restant indépendantes, cela en raison de l'évolution des cursus, et notamment de la réduction de l'importance du travail sur les grandeurs, lesquelles ont fait, depuis, leur réapparition dans les programmes de l'école élémentaire et du collège. Comin rappelle également que les enquêtes à l'école primaire montrent que les difficultés des élèves semblent plus liées à l'imprécision des termes employés dans la classe qu'à des problèmes d'apprentissage. Comme la proportionnalité est mobilisée explicitement dans plusieurs disciplines, il apparaît nécessaire de prendre en compte les articulations entre les besoins issus des différents champs concernés.

En sciences physiques, ceci est particulièrement évident puisque la notion de proportionnalité est centrale dans de très nombreux contextes. En classe de troisième, les programmes officiels de 1998 (en vigueur lors de notre étude) mentionnent à deux reprises une référence explicite aux mathématiques (en italique et entre crochets). Dans le chapitre « Mouvements et forces « à propos de la relation entre le poids et la masse d'un objet, il est indiqué : « *[Mathématiques : proportionnalité]* » et dans le chapitre «Electricité et vie quotidienne», à propos de la loi d'Ohm, on trouve : « *[Mathématiques : proportionnalité, équation d'une droite]* ».

*LIRDEF. IUFM de l'académie de Montpellier, BP 4152
2 place M. Godechot
34092 Montpellier Cedex 05

**LIRDHIST. Université Claude Bernard
La Pagode 43 boulevard du 11 novembre 1918
69622 VILLEURBANNE Cedex

En mathématiques, la présentation du programme (1998) rappelle que : « *Les objectifs généraux de l'enseignement des mathématiques, décrits pour les classes antérieures demeurent tout naturellement valables pour la classe de troisième : apprendre à relier des observations à des représentations, à relier ces représentations à une activité mathématique et à des concepts.* » Ces objectifs généraux incluent l'outil mathématique : « *les méthodes mathématiques s'appliquent à la résolution de problèmes courants. Elles ont cependant leur autonomie propre qui leur permet d'intervenir dans des domaines aussi divers que les sciences physiques, les sciences de la vie et de la terre, la technologie, la géographie… L'enseignement tend à développer la prise de conscience de cette autonomie par les élèves et à montrer que l'éventail des utilisations est très largement ouvert.* »

Ainsi les mathématiques se présentent dans les programmes de 1998 du collège comme pouvant irriguer un grand nombre de disciplines, alors que la physique précise les concepts mathématiques spécifiques dont elle a besoin.

L'enseignement mathématique de la proportionnalité.

Nous analysons la place de la proportionnalité dans les programmes de mathématiques du collège (1998).

En classe de sixième, l'objectif de l'apprentissage de la proportionnalité en mathématiques est de permettre aux élèves d'en percevoir « *différents traitements* », notamment dans le cadre des pourcentages, des statistiques et des situations dans lesquelles deux grandeurs sont proportionnelles comme dans les échelles, les tarifs… Seul l'aspect analogique de la proportionnalité, selon les termes de Hersant (2005) est envisagé, c'est-à-dire la mise en évidence d'un rapport scalaire entre grandeurs de même nature. La proportionnalité est présentée comme un moyen de modélisation en reliant des observations du réel à des représentations.

La proportionnalité est un fil conducteur dans les programmes des classes de cinquième et de quatrième, à travers la géométrie, les calculs numériques ainsi que l'organisation et la gestion des données. Elle est liée aux activités graphiques et aux prémices des études de fonctions. L'aspect analytique de la proportionnalité (Hersant, 2005), c'est-à-dire la mise en évidence de rapports de mesure entre des grandeurs de natures différentes, commence à être abordé. Les élèves devront être capables de reconnaître à partir d'un tableau que deux séries de nombres sont proportionnelles et notamment dans celui des abscisses et ordonnées d'une droite passant par l'origine. Le cas du calcul de vitesse sert souvent de support à cet exercice. Les élèves devront aussi être capables de calculer une quatrième proportionnelle. Les termes de coefficient de proportionnalité ou d'indice sont employés. La proportionnalité est aussi utilisée pour les changements d'unité, les échelles, les pourcentages, les calculs de volumes…

L'objectif du programme de la classe de troisième précise qu'en quittant le collège, les élèves auront « *acquis des savoirs en calcul numérique (outil proportionnel) et en calcul littéral* » (p. 77). La définition des fonctions linaires ainsi que celle du coefficient directeur « *s'appuie sur l'étude des situations de proportionnalité rencontrées dans les classes précédentes* » (p. 86). Il est fait référence à l'utilisation des tableaux de proportionnalité. La proportionnalité est aussi remarquée pour les accroissements de x et y dans les fonctions affines. D'une manière générale, le programme recommande « *d'utiliser la proportionnalité de valeurs ou d'accroissements* » (p. 88) dans les différents domaines où cela est possible : les relations entre grandeurs, les accroissements géométriques et d'en étudier le plus souvent possible la représentation graphique.

Nous avons interrogé lors d'entretiens oraux semi-directifs, d'une durée de 45 minutes environ, trois professeurs de mathématiques de collèges différents, enseignants dans plusieurs niveaux et volontaires pour participer à cette étude. L'objectif de ces entretiens est d'analyser la manière dont ils enseignent la proportionnalité. Nous leur demandons, tout d'abord, de quelle manière ils introduisent la proportionnalité et s'ils la considèrent comme un outil. Nous leur demandons, ensuite, de décrire les exemples sur lesquels ils s'appuient. Nous leur demandons, enfin, de répertorier les difficultés qu'ils ont repérées chez leurs élèves. L'analyse de ces entretiens montre que l'objectif des enseignants n'est pas explicitement de présenter la proportionnalité comme un outil utile aux autres disciplines, notamment les sciences physiques. Conscients de cette utilité, ils choisissent, cependant, généralement de traiter ce chapitre en début d'année. Ils constatent, en premier lieu, que les élèves n'arrivent pas à reconnaître dans les exercices qu'ils proposent que des grandeurs sont proportionnelles. Cette difficulté récurrente est soulignée aussi par Boisnard *et al.* (1994). Pour la surmonter, les enseignants se réfèrent à de nombreuses situations issues de la vie courante (achat de pommes, calcul de vitesses, sécurité routière en 5ème avec les calculs de distances de freinage…). De la sixième à la troisième, la résolution de ces exercices se fait usuellement par l'intermédiaire d'un tableau et du produit en croix. Cette difficulté à reconnaître la proportionnalité est aussi constatée dans la manipulation d'une formule ainsi que dans le retour à l'unité (1kg de pommes coûte…). En revanche, les élèves savent appliquer le produit en croix pour trouver une quatrième de proportionnalité ($3 \times X = 9 \times 2$). Les enseignants constatent aussi que les élèves rencontrent des difficultés dans le remplissage des tableaux. Selon eux, un tableau de quatre nombres est trop abstrait, ce qui les conduit à insister sur l'ajout d'une première colonne au tableau explicitant de quoi l'on parle :

nombre de kg de pommes :	3	9
prix des pommes en euros :	2	X

De plus, ils encouragent les élèves à remplir le tableau au fur et à mesure qu'ils lisent l'énoncé. Malgré ces efforts, ils constatent que les élèves n'associent pas de sens à leur calcul (si 3 kg de pommes coûtent 2 euros, trois fois plus de pommes doivent coûter trois fois plus cher) et se contentent d'appliquer la « recette » du produit en croix. Les enseignants notent que ce problème est général, les élèves ont plus de facilité à raisonner sur des suites de nombres que sur des situations réelles. *Ils ont d'énormes difficultés à traduire un énoncé en données numériques*. Cette difficulté est soulignée par Duval (1993) qui remarque que l'activité de conversion, c'est-à-dire le passage d'un registre sémiotique à un autre (ici du registre langagier au registre algébrique), est faiblement réussie par les élèves alors qu'elle est essentielle à la conceptualisation d'une notion.

En classe de troisième, le domaine de la proportionnalité s'étendant à l'étude des fonctions linéaires ($f(x) = ax$), les enseignants poussent les élèves à raisonner en terme de linéarité (si on multiplie le nombre de pommes par deux, on multiplie aussi le prix par deux) plutôt qu'avec le produit en croix. Ils constatent cependant que les élèves ne relient pas toujours la proportionnalité à des multiplications/divisions, mais au contraire qu'ils font des additions surtout dans les exercices de géométrie qui consistent souvent à agrandir des figures géométriques (si on ajoute 2 cm au petit côté, on ajoute 2 cm au grand côté). A ce niveau, les enseignants insistent sur la reconnaissance de la proportionnalité à partir de la représentation graphique d'une droite passant par l'origine. Ils utilisent pour cela différentes grandeurs quotients : vitesse, puissance, énergie… qui sont souvent des exemples tirés de la physique.

L'utilisation de la proportionnalité par les professeurs de physique en classe de troisième.

L'étude des programmes de 1998 montre que l'enseignement de la physique est lié à celui des mathématiques dès les classes de cinquième et quatrième. A ce niveau-là, l'enseignement de la physique est basé avant tout sur des raisonnements qualitatifs. Les programmes insistent plus sur la reconnaissance des outils mathématiques utilisés que sur leur manipulation. La proportionnalité est évoquée pour la composition de l'air, l'étude des solutions et de leur concentration, les changements d'unités… mais il n'est, à aucun moment, fait de lien explicite avec l'enseignement des mathématiques. Les notions d'intensité et de tension sont abordées, mais il n'est pas demandé aux élèves d'établir de lien de proportionnalité entre elles.

En classe de troisième, la proportionnalité est explicitement évoquée en lien avec les mathématiques à plusieurs reprises. Les élèves doivent être capables de « *distinguer le poids et la masse et de reconnaître et savoir utiliser la relation de proportionnalité entre ces grandeurs en un lieu donné* » (p. 165).

Ce lien est aussi explicité lors de l'étude de la loi d'Ohm et développé dans les documents d'accompagnement : les élèves doivent être capable d'identifier des grandeurs proportionnelles et des grandeurs qui ne le sont pas, ils doivent savoir exprimer la relation de proportionnalité de la façon suivante : la résistance du fil électrique est, entre autre, proportionnelle à sa longueur, la tension est proportionnelle à l'intensité, le rapport de proportionnalité U/I a même valeur que la résistance du résistor, la caractéristique est une droite passant par l'origine. Ces deux champs d'étude font aussi appel à des représentations graphiques. Les élèves doivent reconnaître une droite et savoir établir son équation. Ils seront confrontés à la proportionnalité sur d'autres points du programme, mais le lien n'est pas explicité. C'est le cas pour les calculs de vitesses et les calculs d'énergie électrique (E = P t).

Nous avons mené trois entretiens oraux semi-directifs, d'une durée de 45 minutes environ, auprès de trois enseignants de collège sur la base de la question : comment traitez-vous en physique les phénomènes qui font intervenir une situation de proportionnalité ? Et notamment la proportionnalité entre le poids et la masse ? Ces entretiens mettent en évidence une présentation relativement stéréotypée de la relation entre la masse et le poids d'un corps. Les enseignants abordent cette question de la même manière que les ouvrages scolaires (par exemple, Durandeau (1994), Carré (1994), Durandeau (1999), Archimède (1999)). La leçon commence par les définitions de la masse et du poids. La masse représente la quantité de matière d'un corps. Le poids est rapproché de la notion de force (si bien qu'en toute rigueur, la relation devrait mobiliser un point de vue vectoriel). Il s'agit de la force d'attraction que la Terre exerce sur un objet, exprimée en Newton. La relation P = mg est introduite par une observation : on mesure à l'aide d'un dynamomètre le poids de différentes masses marquées, on note dans un tableau les résultats obtenus, on trace le graphique indiquant l'évolution du poids en fonction de la masse, on constate que les quotients P/m sont sensiblement égaux, on en déduit le rapport de proportionnalité g (intensité de la pesanteur). Aidés par leur enseignant et en leur rappelant ce qu'ils ont vu en mathématiques, les élèves sont capables d'établir la formule P = mg à partir de la représentation graphique. Mais les enseignants considèrent que les élèves ne font pas spontanément le lien entre une formule du type y = ax et le calcul algébrique, qu'ils ont vu en mathématique, et P = mg. On peut penser qu'une part de cette difficulté résulte de la différence de structure entre P = mg et y = ax : a est une constante alors que m et g peuvent varier selon les situations. En effet, on peut calculer le poids de différentes masses sur un astre pour lequel g reste fixe ou le poids d'une même masse sur différents astres du fait de la variation de g. En classe, la relation P = mg est construite à partir de la première situation. On remarque alors que les coefficients de proportionnalité n'occupent pas la même position dans les formules. Le tableau de valeurs et le graphique montrent que les deux grandeurs en jeu sont proportionnelles, aux erreurs de mesures près, et l'on peut en tirer la valeur du coefficient de proportionnalité. Enfin, certains enseignants de physique passent par l'intermédiaire du produit en croix pour transformer la formule en montrant l'équivalence entre P/m = g et P/m = g/1.

Et les élèves ?

Nos recherches portent sur l'apprentissage et l'utilisation de la formule P = mg en classe de physique par les élèves de troisième. Nous nous interrogeons sur la manière dont les élèves prennent en compte la relation de proportionnalité entre le poids et la masse. Nos résultats s'appuient sur les réponses de 102 élèves, de cinq classes de troisième du même collège et ayant la même enseignante, à des questionnaires proposés dans un contexte mathématique ou un contexte physique, avant et après enseignement de la formule. Dans le contexte mathématique, les élèves doivent repérer une relation de proportionnalité dans deux situations : entre deux séries de nombres et sur le graphique d'une fonction linaire, puis effectuer un calcul numérique : sachant que y = ax, calcule la valeur de a si y = 78 et x = 6. Dans le contexte physique, avant enseignement les élèves doivent définir le poids, la masse et la relation qu'il y a entre les deux s'ils la connaissent. Après enseignement, les élèves doivent verbaliser la formule P = mg et lui associer la représentation graphique correcte parmi quatre propositions et justifier ce choix, puis résoudre plusieurs exercices que nous décrirons plus loin.

Nous constatons tout d'abord la difficulté des élèves à reconnaître des situations de proportionnalité dans un contexte mathématique. En effet, seulement 20% des élèves reconnaissent deux séries de nombres proportionnels et 40% des élèves reconnaissent la relation de proportionnalité entre y et x représentés graphiquement. Les résultats obtenus lors de cette enquête vont dans le sens de ceux obtenus par Comin (2002). L'enquête conduite, par cet auteur, auprès d'élèves de seconde en 1994 montre que les taux d'élèves qui établissent un lien entre proportionnalité et fonction linéaire varient de 40% à 57% selon les questions et que près d'un élève sur deux n'établit jamais ce lien. De plus, dans notre cas, seulement une poignée d'élèves est capable de retrouver la formule $y = 1{,}5x$ à partir d'un graphique représentant cette expression. En physique, aucun élève ne connaît la relation de proportionnalité entre le poids et la masse, avant enseignement, et ils sont environ 25% après enseignement. Il est important de souligner que la plupart de ces élèves reconnaissent la relation de proportionnalité à partir de la représentation graphique. Cette observation est confirmée par des entretiens individuels. Lorsque l'on interroge les élèves sur la propriété qui lie le poids et la masse, les élèves ne voient pas de quoi on parle. Il en est de même lorsque l'on s'appuie sur les formules $\mathrm{P} = \mathrm{m}g$ ou $y = \mathrm{a}x$. Mais la plupart d'entre eux comprennent que l'on parle de la proportionnalité lorsqu'on leur montre ou qu'on leur demande de dessiner une figuration graphique de la formule. Il semble que le dessin d'une droite passant par l'origine soit la représentation « prototypique » qu'ils se font de la proportionnalité. Ce résultat est compatible avec le fait que les enseignants de mathématiques insistent beaucoup sur la reconnaissance de situations de proportionnalité à partir de la représentation graphique d'une fonction linéaire ou d'une grandeur quotient. Ainsi le registre graphique constitue un pont entre les mathématiques et la physique puisqu'il est utilisé couramment par les deux disciplines.

Nous avons interrogé individuellement les élèves sur la signification de la proportionnalité : qu'est-ce que cela veut dire que le poids et la masse sont proportionnels ? Deux idées principales ressortent : deux grandeurs sont proportionnelles lorsqu'elles grandissent de la même manière (les élèves emploient des termes comme « *liées* », « *elles s'accordent* », « *elles se suivent* », « *elles sont indissociables* » ou « *elles sont en même quantité* ») et deux grandeurs sont proportionnelles si le retour à l'unité est constant (« *si quand je reviens à 1 pour chaque paire je trouve le même nombre* »).

Comme les programmes de mathématiques et de physique nous engagent à le faire, nous considérons la proportionnalité comme un outil que l'élève peut « utiliser » pour résoudre des exercices. Nous nous intéressons donc maintenant à l'utilisation de cette propriété et plus généralement à la manipulation de la formule $\mathrm{P} = \mathrm{m}g$. Pour cela nous nous appuyons sur quatre exercices qui ont été proposés aux élèves des cinq classes. Ces exercices comportent :

— des applications directes de la formule (calculer P ou calculer g), par exemple :

La masse d'un éléphant est de 1000 kg sur la Terre.
- Quelle est l'intensité de son poids sur la Terre ?

- Des astronautes amènent cet éléphant sur la Lune pour étudier son comportement. Quelle est l'intensité de son poids sur la Lune ?

- Quelle est sa masse sur la Lune ?

— et des calculs à effectuer à partir de tableaux de données (chercher une erreur dans des relevés de mesures ou compléter des cases vides), par exemple :

A l'aide d'un dynamomètre Pierre mesure le poids de plusieurs sacs de sable dont il connaît la masse. Les masses supérieures à 40kg ne peuvent plus être suspendues au dynamomètre (cases vides). Il a rangé ses résultats dans le tableau suivant :

m (kg)	12	7	10	40	15	53	23
P (N)	117.6	68.6	98	…	147	…	225.4

- Connais-tu un autre moyen pour obtenir le poids des sacs de plus de 40 kg ? Explique comment on peut faire (tu peux exposer plusieurs méthodes si tu en connais plus d'une). Ensuite tu complèteras le tableau.

Dans ce dernier exemple, nous avons volontairement choisi de ne pas ranger les valeurs par ordre croissant, car il s'agit d'un tableau de mesures brutes et nous voulions éviter un effet de recherche de suite.

Nos résultats montrent tout d'abord que seulement 33% des élèves effectuent correctement ces calculs algébriques en physique alors qu'ils sont plus nombreux (52%) à y parvenir dans un contexte mathématique avec $y = ax$.

L'utilisation de la proportionnalité dans la résolution des exercices avec les tableaux de données peut être prise en compte à différents niveaux :

— une utilisation implicite qui consiste à vérifier la constance du quotient P/m sans pour autant faire référence à la proportionnalité ;

— une utilisation explicite qui consiste à dire : « *je regarde si toutes les valeurs du tableau sont proportionnelles* » et l'élève vérifie la constance de P/m ou effectue un produit en croix (X = (98 × 40) / 10, par exemple).

Comin (2002), quant à lui, met en évidence que les trois principales techniques utilisées sont le produit en croix (34%), le rapport fonctionnel (27,5%) et le rapport scalaire (11%). Il montre en outre que la diversité des techniques mobilisées semble favoriser la réussite.

Le tableau (ci-dessous) présente la répartition des différents niveaux d'utilisation de la proportionnalité que nous avons distingués. La procédure n'utilisant pas la relation de proportionnalité entre le poids et la masse est produite par 55 élèves. La quasi-totalité des élèves utilisant cette procédure (51/55) échoue dans la manipulation de P = m*g*. On remarque que 11 (2 + 9) élèves ont explicitement reconnu la relation de proportionnalité entre le poids et la masse dans les questions précédentes mais ne l'utilisent pas lors des exercices. Cette connaissance reste déclarative. Neuf élèves utilisent la relation de proportionnalité de manière implicite, dont deux avec succès. Ces élèves ont acquis une connaissance procédurale ou « en acte » de la proportionnalité, selon l'expression de Vergnaud (1987) : ils ne verbalisent pas la relation de proportionnalité entre le poids et la masse mais sont capables de l'utiliser comme une « connaissance outil » en vérifiant la constance des rapports P/m ou en calculant une quatrième proportionnelle.

La procédure s'appuyant sur un recours explicite à la proportionnalité, c'est-à-dire quand les termes « proportionnel » ou « proportionnalité » apparaissent dans la réponse, est mise en oeuvre par 38 élèves. Tous ces élèves n'ont pas explicitement dit reconnaître la proportionnalité entre le poids et la masse dans les questions précédentes. Vingt quatre de ces élèves utilisent la constance des rapports P/m, dont 18, soit la majorité (p = .011, selon la loi binomiale, la probabilité inférieure à .05

Procédure de résolution : utilisation de la proportionnalité	aucune		implicite		explicite (38)			
	55		9		P/m		produit en croix	
Echec ou Réussite	R	E	R	E	R	E	R	E
Effectifs	4	51	2	7	18	6	10	4
Effectifs des élèves ayant reconnu explicitement la proportionnalité dans les questions précédentes	2	9	1	1	12	5	3	1

Tableau 1 : Utilisation de la proportionnalité dans la résolution des exercices (N = 102).

indique que cet effet n'est probablement pas dû au hasard), de manière correcte et 14 élèves utilisent le produit en croix, dont 10 avec succès.

Si l'on considère la répartition des réussites et des échecs pour chaque procédure (4 et 51, 2 et 7, 28 et 10), le test du χ_2 indique que les élèves ne réussissent pas de la même manière selon la procédure de calcul mise en œuvre (χ_2 = 45,64, significatif à p = .05). Les élèves utilisant la proportionnalité de manière explicite réussissent mieux que les autres.

Alors que le programme et les enseignants de physique insistent sur l'aspect proportionnel de la formule P = mg, des entretiens individuels menés auprès de 15 élèves mettent en évidence qu'ils ne pensent jamais à la relation de proportionnalité pour effectuer des calculs directs comme « quel est le poids d'un objet de masse m ? » avec la formule P = mg. Ils traitent, logiquement, ces questions de manière algébrique. Les résultats des questionnaires écrits ont montré que seulement 33% des élèves répondaient correctement à ce type de questions. Les entretiens nous permettent de déterminer deux causes prédominantes de cet échec dans les calculs : (1) les élèves ne savent pas transformer P = mg en m = P/g ou en g = P/m et (2) ils ne se rendent pas compte que P = mg n'a pas la même signification que P = m/g et utilisent indifféremment l'une ou l'autre pour résoudre un exercice. Un exemple flagrant du non sens de la formule utilisée est le suivant : on donne à un élève la masse d'un cartable (m = 3,4 kg) et on lui demande d'en calculer le poids sur la Terre. L'élève effectue le calcul : P = 3,4 × 9,8… On lui demande ensuite quelle est la masse de ce même cartable sur Jupiter (g_{jupiter} = 26 N/kg). Il calcule le poids en effectuant P = 3,4 × 26. On lui fait remarquer que ce qu'on lui demande ce n'est pas le poids mais la masse du cartable, il corrige alors simplement le symbole en écrivant : m = 3,4 × 26 ! sans remettre en cause son calcul. L'élève manipule la formule sans tenir compte du fait que toutes les expressions ne sont ni équivalentes ni permises. Un autre exemple montre que la formule n'a pas de sens pour les élèves : lorsqu'on leur demande de verbaliser ce que signifie la formule P = mg, environ un quart des élèves répond « le poids est égal à la masse en gramme » ou « le poids est égal au milligramme ». Les élèves ne sont pas gênés d'établir une relation entre une grandeur mesurée (le poids) et son unité (le milligramme).

Si au cours de l'histoire des sciences, l'utilisation de formules mathématiques a permis d'établir clairement des liens entre des grandeurs physiques et de les manipuler facilement, ce n'est pas le cas du point de vue de la didactique. Dans le déroulement historique, la formule est construite pour traduire un phénomène physique connu, il s'agit d'un aboutissement, même si l'écriture mathématique en permet une analyse plus profonde qui va au-delà de ce qui peut être directement observé. Alors que dans la transposition didactique, la formule P = mg est un point de départ. Sa manipulation correcte nécessite une double charge cognitive : celle du calcul algébrique (déjà présente dans la manipulation de $y = ax$ en mathématiques) et celle du sens physique des concepts et du phénomène en jeu. Pour beaucoup d'élèves cette double attention ne s'effectue pas car d'un côté, ils ne connaissent pas les règles du calcul algébrique et de l'autre, ils ne connaissent pas le phénomène physique de la gravitation, à juste titre puisque celui-ci n'a pas été étudié. Autrement dit, la mise en formule du phénomène physique ne s'accompagne pas pour les élèves de la construction de sens. Or, nous nous trouvons dans la situation la plus défavorable pour que les élèves comprennent cette formule. Dans l'établissement de la formule U = RI par exemple, il s'agit de nouvelles notions à apprendre et l'enseignement impose, de fait, dès le départ, une distinction entre la tension et l'intensité. Alors que dans le cas de P = mg les élèves confondent, depuis toujours, sans que cela pose de problème dans la vie courante, le poids et la masse. De plus, dans le choix actuel des programmes, la notion d'intensité de la pesanteur, notée g, n'a pas de sens physique. Elle est uniquement définie comme coefficient de proportionnalité et reste abstraite contrairement à la notion de résistance dans U = RI ou de temps dans v = dt. Si le poids et la masse ne sont pas distingués et si la notion d'intensité de la pesanteur n'est pas physiquement définie avant l'établissement de la formule P = mg, ce n'est pas la formule qui va permettre aux élèves de le faire.

Conclusion

Notre étude suggère que les difficultés des élèves à manipuler correctement P = mg peuvent être imputées à la confusion entre grandeurs et unités, à l'absence de relation entre les symboles et les concepts qu'ils représentent ou le phénomène physique qu'ils modélisent, au non sens de la formule et à l'incompréhension des questions posées. En effet, bien souvent, les élèves qui échouent aux exercices sont bloqués avant même d'esquisser un calcul. La non reconnaissance et la mauvaise manipulation des outils mathématiques viennent aggraver ces difficultés, les élèves reconnaissant et utilisant correctement la proportionnalité dans les deux disciplines semblent les mieux armés pour les dépasser.

Malgré les injonctions des programmes et les efforts déployés par les enseignants pour permettre aux élèves de relier proportionnalité et fonction linéaire, on retrouve dans ce travail les difficultés mentionnées par Comin (2002) pour établir ce lien. En effet, la reconnaissance et l'utilisation de la proportionnalité sont déjà des tâches difficilement réalisables pour les élèves de troisième dans un contexte mathématique, elles ne peuvent être qu'encore plus complexes dans un contexte physique, le phénomène physique et les concepts en jeu étant mal compris des élèves et l'analyse des fonctions de plusieurs variables (Vergnaud, 1981) étant totalement absentes du curriculum mathématique à ce niveau.

Nos observations suggèrent que la représentation graphique de la relation de proportionnalité est susceptible de constituer un pont entre l'enseignement mathématique et physique. Elles nous invitent aussi à approfondir le statut et de le rôle des formules dans l'enseignement des sciences physiques et notamment, dans le cas particulier de la chute des corps, d'envisager un construction conjointe du sens physique et de l'aspect proportionnel de la formule P = mg.

Bibliographie

B0 n° 10 Hors série du 15 octobre 1998, pp. 106-114 (programmes de mathématiques) ; pp. 125-135 (Programmes Physique-Chimie).

Boisnard, D., Houdebine, J., Julo, J., Kerboeuf, M-P., et Merri, M. (1994). *La proportionnalité et ses problèmes*. Paris : Hachette.

Comin, G. (2002). L'enseignement de la proportionnalité à l'école et au collège. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, *22*(2/3), 135-182

Voir aussi, http://www.didmar.univ-rennes1.fr/seminaire/Actes/20012002/Comin.pdf

Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives de l'IREM de Strasbourg*, *5*, 37-65.

Hersant, M. (2005). La proportionnalité dans l'enseignement obligatoire en France, d'hier à aujourd'hui. *Repères IREM*, *59*, 5-41.

Vergnaud, G. (1981). L'enfant, la mathématique et la réalité. Berne: Peter Lang.

Vergnaud, G. (1987). Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant. In J. Piaget, P. Mounoud, & J.-P. Bronckart (Eds.), *Psychologie* (pp. 821-846). Paris : Gallimard.

BREVE MULTIMEDIA

Mathématice, une revue en ligne consacrée à l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques.

http://revue.sesamath.net

En septembre 2006 a paru le premier numéro de Mathématice, une revue en ligne collaborative conçue et réalisée à distance par l'association Sésamath. Elle se fixe comme but d'explorer et d'illustrer l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques. Chaque numéro comporte un dossier consacré à un aspect spécifique des TICE (calculatrices, géométrie dynamique, tableurs etc.) et des articles d'ordre général. Chaque article comporte un forum de discussion. Le site (http://revue.sesamath.net) précise les buts de la revue, ses collaborateurs et ses perspectives (rubrique « En savoir plus » de la page d'accueil). Les deux premiers numéros mettent en évidence l'apport considérable de la publication électronique pour certains textes. L'exemple de l'article « La géométrie dynamique à l'épreuve de l'homologie didactique[1] » est particulièrement éloquent. L'accès aux figures dynamiques est une incontestable plus-value, en comparaison de l'édition traditionnelle.

Les responsables de la revue remercient les collègues qui proposeront des articles de toute nature à propos des TICE. Ils apprécient les critiques et les suggestions nées de la lecture des articles (les forum sont ouverts à tous)

http://revue.sesamath.net/spip.php?article4