

■ COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

Reports of innovations

Étude de l'apprentissage du phénomène physique de la chute des corps en classe de 3^e française

Phenomenon of falling in French grade 9

**Untersuchung über das Erlernen des physikalischen
Vorgangs vom freien Fall der Körper
in einer französischen 3^e-Klasse (9.Klasse)**

**Estudio del aprendizaje del fenómeno físico
de la caída de los cuerpos en clase de cuarto
de la ESO de la enseñanza francesa**

Élise Baldy et Françoise Aubert

LIRDEF - ERES

IUFM de l'académie de Montpellier

2, place Marcel-Godechot

BP 4152 - 34092 Montpellier cedex 05

elise.baldy@montpellier.iufm.fr

Résumé

L'enseignement des notions de poids et de masse en classe de troisième se fait, suivant les programmes scolaires officiels de sciences physiques de la classe de troisième, indépendamment du phénomène physique de la chute des corps. Le constat des enseignants est que les élèves ont du mal à distinguer ces deux notions. En effet, nous pensons qu'une conception erronée du phénomène physique auquel se rattachent ces concepts est un obstacle à leur compréhension. Nous proposons une séquence d'enseignement qui vise à faire évoluer les conceptions des élèves relatives à la chute des corps dans le cadre d'un apprentissage par résolution de problème basé sur leurs conceptions initiales.

Mots Clés : chute des corps, conceptions, poids, masse, constructivisme

Abstract

France's Ministry of Education syllabus for the subject of Physics states that the teaching of the notions of weight and mass to 14-15 year olds is to be carried out independently of the phenomenon of object displacement due to gravity. Teachers have nevertheless noticed that pupils encounter difficulties in distinguishing between the two. We thus question the pertinence of this approach to these physical phenomena and concepts as they would seem to represent an obstacle to pupil comprehension. This study proposes a teaching sequence which aims at changing how pupils understand these phenomena by having them learn using problem-solving methods and using their first reactions.

Key words: displacement of objects due to gravity, understanding, weight, mass, constructivism.

Zusammenfassung:

Die Begriffe von „Gewicht“ und „Masse“ werden gemäß den offiziellen Lehrplänen in Physik für die 3^e-Klasse (9.Klasse) den Schülern dieser Klasse unabhängig vom physikalischen Vorgang des freien Falls der Körper beigebracht. Dabei stellen die Lehrer fest, dass die Schüler diese zwei Begriffe nur mit Mühe voneinander unterscheiden können. In der Tat denken wir, dass eine irriige Auffassung des physikalischen Vorgangs, mit dem diese Begriffe in Verbindung stehen, ein Hindernis ist, um sie zu verstehen. Wir schlagen eine Unterrichtssequenz vor, die darauf hinzielt, die Auffassungen der Schüler über den freien Fall der Körper zu verändern, indem die Kenntnisse durch eine auf den ursprünglichen Auffassungen der Schüler basierende Problemlösung vermittelt werden.

Schlüsselwörter: freier Fall der Körper, Auffassungen, Gewicht, Masse, Konstruktivismus.

Resumen

La enseñanza de las nociones de peso y de masa en clase de 4° en el sistema francés se hace, según los programas escolares oficiales de ciencias físicas de dicha clase, independientemente del fenómeno físico de la caída de los cuerpos. La comprobación de los docentes es que los alumnos experimentan dificultades para distinguir estas dos nociones. En efecto creemos que una concepción errónea del fenómeno físico con el cual se relacionan estos conceptos es un obstáculo a su comprensión. Proponemos pues una secuencia de enseñanza que tiene como meta hacer evolucionar las concepciones de los alumnos relativas a la caída de los cuerpos en el ámbito de un aprendizaje por resolución de un problema basado en sus concepciones iniciales.

Palabras clave : *Caída de los cuerpos, concepciones, peso, masa, constructivismo.*

INTRODUCTION

Les conceptions initiales du phénomène physique de la chute des corps des élèves de troisième sont très éloignées des concepts scientifiques. Par exemple, les conceptions selon lesquelles « les objets flottent sur la Lune » ou « l'atmosphère est responsable de la chute des corps » sont très fréquentes chez les élèves des classes de troisième française (Aubert, 1994 et Baldy, 2002) ainsi que chez les élèves à l'étranger (Palmer, 2001 et Mildenhall et Williams, 2001). Or, nous pensons que les notions de poids, de masse et d'intensité de la pesanteur ne peuvent avoir de sens que si elles sont rattachées au champ conceptuel des phénomènes physiques qu'elles modélisent, notamment le phénomène de la chute des corps.

Si nous comparons (annexe 1) les programmes de 1993 de sciences physiques pour la classe de troisième et ceux actuellement en vigueur (1998), on perçoit, entre les deux une évolution dans l'enseignement des concepts de poids et de masse sous l'influence, pensons nous, de recherches en didactique.

La formulation thématique (Exemple d'interaction à distance : le poids) du premier programme sous-tend une conception plutôt inductiviste des apprentissages alors que celle du second, interrogative (Quelle relation existe-t-il entre le poids et la masse ?) est plus favorable à une démarche hypothético-déductive. Cependant, dans l'un comme dans l'autre, l'étude du phénomène physique de la chute des corps ainsi que la prise en compte des conceptions initiales des élèves ne sont pas explicitement suggérées.

Par ailleurs, nous avons analysé un ensemble d'ouvrages scolaires de physique et chimie de la classe de troisième des collections suivantes : Durandeu (1994), Carré (1994), Durandeu (1999), Archimède (1999). Il apparaît que :

- toutes les leçons commencent par la définition de la masse et du poids (masse : quantité de matière, grandeur invariable, exprimée en kilogramme ; poids : 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 ;
- les ouvrages parlent de la variation de g en fonction du lieu et de l'altitude sur la Terre, et seuls deux livres, Archimède (1999) et Durandeu (1999), indiquent que g varie en fonction de l'astre sur lequel on se trouve. L'exemple de la Lune est donné dans les deux cas.

Cette analyse montre que les documents destinés à aider le professeur proposent un enseignement transmissif des notions de poids et de masse sans les rattacher au phénomène physique qu'ils modélisent, celui de la chute des corps, pourtant mal connu des élèves.

L'objectif de notre travail est de proposer une séquence d'enseignement permettant aux élèves de faire évoluer leurs conceptions initiales du phénomène physique de manière à ce que les concepts de poids, masse et intensité de la pesanteur prennent un sens physique. Nous nous plaçons donc dans une approche d'apprentissage par « situation-problème » au sens de Robardet (1989 et 1995) et Charnay (1987). Nous considérons que les conceptions initiales des élèves, intuitives (*intuitive conceptions* de Fischbein, 1987) ou alternatives (*alternative conceptions* de Palmer, 2001) ne sont pas « détruites » selon l'expression de Bachelard (1938) mais constituent des bases qui doivent évoluer.

1. LA SÉQUENCE D'ENSEIGNEMENT

La séquence d'enseignement que nous proposons se déroule dans une classe de niveau moyen de 21 élèves et est réalisée par le chercheur en présence du professeur habituel.

Déroutement de la séquence	Intentions d'apprentissage
<p>Séance 1 (durée 1 heure)</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>questionnaire</u> : conservation de la masse lors de transformations (<i>pré-test 1</i>) - <u>discussion</u> avec les élèves des différentes hypothèses - <u>expérience</u> : observation de l'invariance de la masse d'un flacon d'eau très chaude lors de son refroidissement malgré la diminution du volume - <u>définition</u> de la masse et prise de notes sur le cahier 	<p>Faire évoluer la notion de masse</p> <ul style="list-style-type: none"> - amener les élèves à réfléchir à un problème et à formuler des hypothèses - formuler correctement des hypothèses - tester les hypothèses à l'aide d'observations expérimentales - institutionnalisation de la nouvelle connaissance : la masse ne diminue pas lorsque le volume diminue lors du refroidissement
<p>Séance 2 (durée 1 heure)</p>	<p>Faire évoluer les conceptions des élèves concernant la chute des corps sur la Terre et sur la Lune</p>
<ul style="list-style-type: none"> - <u>questionnaire</u> : phénomènes se produisant pour un caillou que l'on lâche sur la Terre et sur la Lune (<i>pré-test 2</i>) - <u>discussion</u> avec les élèves des différentes hypothèses - <u>expérience</u> : chute d'un morceau de craie dans une cloche à vide - <u>discussion</u> avec les élèves concernant le phénomène de la chute des corps sur la Lune - <u>visionnage d'une vidéo</u> montrant des hommes marchant sur la Lune - <u>visionnage d'une vidéo</u> montrant des hommes dans ou hors d'une navette spatiale 	<ul style="list-style-type: none"> - amener les élèves à réfléchir à un problème et à formuler des hypothèses - formuler des hypothèses pour expliquer la chute des corps sur la Terre - réfuter l'hypothèse de la pression atmosphérique comme cause de la chute des corps - formuler des hypothèses - dépasser l'idée selon laquelle les corps flottent sur la Lune - montrer que les phénomènes sont différents sur la Lune et dans l'espace

Elle se déroule en trois étapes, durant trois séances de sciences physiques d'une heure, réparties sur trois semaines. Ces séances, présentées dans la figure 1, visent à :

1. faire évoluer les conceptions concernant la notion de masse,
2. faire évoluer les conceptions concernant le phénomène de la chute des corps,
3. institutionnaliser la notion de poids et sa relation avec la masse.

- <u>récapitulatif</u> , conclusion et prise de notes sur la cahier	- institutionnalisation de la nouvelle connaissance : la chute des corps est due à l'attraction d'un astre et non à la présence d'une atmosphère (le fait qu'il ne peut pas y avoir d'atmosphère sans attraction n'est pas abordé avec les élèves)
Séance 3 (durée 1 heure)	Définir le poids comme force d'attraction d'un astre
- <u>présentation</u> du modèle (annexe 2) de l'interaction entre les corps à distance - <u>définition</u> du poids comme le cas particulier de FA/B lorsque B est un corps massif et A un corps céleste - <u>questionnaire</u> (post-test) - <u>établissement</u> (par l'enseignant) de la relation $P = mg$ qui lie le poids à la masse	- généraliser la notion d'attraction à tous les corps et en particulier à tous les corps célestes - définir le poids (sur la Terre comme en tout point de l'espace) - utiliser la formule pour effectuer des applications numériques
Contrôle	Évaluer l'évolution des conceptions des élèves

Figure 1 • La séquence d'enseignement proposée.

Nous présentons brièvement les tests proposés aux élèves :

– *Le pré-test 1* (annexe 3) est proposé au début de la première séance d'enseignement. Il doit permettre d'inférer les conceptions initiales des élèves concernant la masse et sa conservation, lors de transformations.

– *Le pré-test 2* (annexe 4) est proposé au début de la deuxième séance d'enseignement. Il doit permettre d'inférer les conceptions des élèves concernant la chute des corps sur la Terre et sur la Lune. On cherche à savoir si les élèves attribuent la chute des corps sur la Terre à l'attraction terrestre, à l'atmosphère ou à une autre cause et s'ils pensent que les objets tombent ou flottent sur la Lune, ainsi que s'il existe une attraction lunaire.

– *Le post-test* (annexe 5) est proposé à la fin de la troisième séance d'enseignement, après la présentation du modèle. Il évalue la compréhension du modèle de l'interaction entre deux corps à distance. Notre objectif est de vérifier que les élèves ont compris ce modèle et sont capables de l'utiliser. Le questionnaire propose huit questions dans lesquelles varient la masse et la nature des corps ainsi que la distance qui les sépare. Les réponses nécessitent l'application directe du modèle.

– *Le contrôle* (annexe 6) évalue les connaissances des élèves à la fin de la séquence d'enseignement. À travers cinq exercices, il recouvre tous les domaines abordés lors des séances. Nous proposons aux élèves une grande variété de situations pour déceler, éventuellement, les différentes « facettes » de leurs conceptions.

Nous évaluons l'efficacité de la séquence en étudiant l'évolution des conceptions des élèves, relatives à la chute des corps, inférées à partir de leurs réponses aux différents questionnaires et au contrôle. Les pré-tests font partie intégrante de la séquence d'enseignement car ils permettent aux élèves de réfléchir à une question et de formuler des hypothèses. Le post-test permet au professeur de faire un bilan des connaissances des élèves à la fin de la séquence. Le contrôle est proposé une dizaine de jours après la troisième séance.

2. LES RÉSULTATS

Nous présentons l'évolution des conceptions des élèves concernant le phénomène de la chute des corps au cours de la séquence d'enseignement. Nous inférons les conceptions des élèves à partir des réponses obtenues aux questionnaires, avant enseignement, au pré-test pour les conceptions initiales et au post-test et au contrôle pour les conceptions après enseignement.

Nous classons les conceptions inférées dans six catégories :

– *Attraction généralisée* (notée par la suite AG) : ces élèves savent qu'il y a une attraction terrestre et lunaire et de manière générale une attraction sur tous les astres et que cette attraction persiste dans l'espace à grande distance des astres.

– *Attraction des planètes, en particulier de la Terre et de la Lune* (AP) : ces élèves pensent que les corps tombent sur la Terre et sur la Lune à cause de l'attraction terrestre et lunaire. Nous attribuons cette conception aux élèves qui répondent que les corps tombent sur la Terre et sur la Lune et lorsque le terme « attraction » apparaît dans leurs réponses. Pour eux, les corps flottent dans l'espace.

- *Attraction seulement Terrestre (AT)* : ces élèves pensent que l'attraction est un phénomène particulier réservé à la Terre, les autres astres, notamment la Lune, n'ont pas d'attraction. Ces élèves répondent que les corps flottent sur la Lune ou, explicitement, qu'il n'existe pas d'attraction lunaire.
- *Attraction sur la Terre et atmosphère sur la Lune (Aatmos)* : ces élèves ont une conception différente des causes de la chute des corps selon que le phénomène se produit sur la Terre ou sur la Lune. Sur la Terre, la chute des corps est due à l'attraction terrestre alors que sur la Lune les corps flottent car il n'y a pas d'atmosphère.
- *Atmosphère (atmos)* : ces élèves pensent que la chute des corps est liée à la présence d'une atmosphère. Ils répondent que les corps tombent sur la Terre à cause de la pression atmosphérique et qu'ils flottent sur la Lune car il n'y a pas d'air.
- *Aristote sur la Terre et atmosphère sur la Lune (ar/atmos)* : ces élèves ont, là aussi, une conception différente selon que le phénomène se produit sur la Terre ou sur la Lune. Ils ont une conception aristotélicienne de la chute des corps sur la Terre : les corps tombent car ils rejoignent la Terre qui est leur milieu d'origine. Les élèves répondent « le caillou tombe car il est lourd » ou « car on le lâche », « sur la Lune, les corps flottent car il n'y a pas d'atmosphère ».

		Après enseignement						
		AG	AP	AT	Aatmos	atmos	ar/atmos	
Avant enseignement	AG	2	0	0	0	0	0	2
	AP	0	0	0	0	0	0	0
	AT	0	9	2	0	0	0	11
	Aatmos	0	1	0	0	1	0	2
	atmos	0	1	2	0	0	0	3
	ar/atmos	0	1	2	0	0	0	3
		2	12	6	0	1	0	21
							Régression 1	4

Progression 16

Tableau 1 • Évolution des conceptions des élèves avant et après enseignement, les nombres dans les cases indiquent les effectifs (N = 21).

Le tableau 1 présente l'évolution des conceptions avant et après enseignement. On trouve en ligne les conceptions inférées des réponses des élèves avant enseignement (et leur effectif) et en colonne les conceptions des élèves inférées après enseignement (et leur effectif). Nous les avons classées de la plus complète et la plus correcte à la plus erronée.

Quelques remarques sur les conceptions initiales des élèves :

Nous constatons qu'avant enseignement, la conception la plus recevable (« AG ») ne concerne que deux élèves. La conception la plus partagée est celle selon laquelle la chute des corps due à une attraction est un phénomène réservé à la Terre. Les conceptions erronées (la chute des corps est liée à la présence d'une atmosphère et les corps tombent pour regagner leur lieu d'origine) sont partagées par peu d'élèves.

La plupart des élèves ont une conception correcte concernant la chute des corps sur la Terre (15 élèves (2 « AG », 11 « AT » et 2 « Aatmos ») pensent que la chute des corps est due à une attraction). On peut noter la variété du vocabulaire employé par ces élèves : *attiré vers* la Terre (8 élèves), *attiré par* la Terre (1 élève) ou tombe à *cause* de l'attraction terrestre (6 élèves). Les élèves de cet âge n'imaginent pas de mouvements sans force et réciproquement. Cependant, l'adverbe « vers » suggère que les élèves ne croient pas à une force « magique » qui agirait sur les corps.

Sur la Lune, en revanche, la quasi-totalité des élèves a une conception erronée (« AT », « Aatmos », « atmos » et « ar/atmos »). En effet, mis à part les deux élèves qui ont une approche correcte globale (« AG »), tous les élèves pensent que les corps flottent sur la Lune. Les onze élèves ayant la conception « AT », ont une conception correcte concernant la cause de la chute des corps (la chute des corps est due à une attraction), mais ils ne savent pas qu'il existe une attraction lunaire. Les autres ont une conception totalement erronée : la chute des corps est due à la présence d'une atmosphère, et ils savent qu'il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune.

On remarque que quatre conceptions (« AG », « AP », « AT » et « atmos ») sont applicables à toutes les situations (les élèves y ont recours quelle que soit la situation) et que deux conceptions (« Aatmos » et « ar/atmos ») sont mixtes (les élèves ont recours à des conceptions différentes suivant la situation).

Quelques remarques sur les conceptions des élèves après enseignement :

La conception généralisée (« AG ») est élaborée par deux élèves. La conception la plus partagée (12 élèves) est celle selon laquelle la chute des corps est due à l'attraction de la Terre ou de la Lune, et lorsqu'on s'en éloigne cette attraction devient nulle (« AP »). Six élèves pensent que la chute des corps due à une attraction est un phénomène exclusivement terrestre et donc que les corps flottent naturellement sur la Lune (« AT »). Certes, ces six élèves savent qu'un cosmonaute peut se déplacer normalement sur la Lune, sans voler, mais ils attribuent cette observation à des équipements spéciaux (des bottes aimantées, par exemple). Les trois conceptions erronées (chute

des corps liée à l'atmosphère ou conception aristotélicienne) ne sont plus ou très peu présentes. Lors du contrôle, des élèves semblant avoir une conception juste de la chute des corps, peuvent répondre à un exercice de manière erronée.

Évolution des conceptions des élèves au cours de la séquence d'enseignement :

La diagonale représente une absence d'évolution, les élèves ont la même conception avant et après enseignement. C'est le cas de quatre élèves : deux élèves ont une conception correcte et généralisée du phénomène de la chute des corps avant enseignement (« AG »), ils la conservent après la séquence d'enseignement et deux élèves ont une conception de la chute des corps limitée à la Terre avant enseignement (« AT »), ils la conservent aussi malgré la séquence.

Les effectifs au-dessus du trait représentent des régressions. Ce n'est le cas que d'un seul élève qui passe d'une conception « Aatmos » (la chute des corps est due à une attraction sur la Terre et les corps flottent sur la Lune car il n'y a pas d'atmosphère) à une conception « atmos » (la chute des corps est due à une atmosphère).

Les effectifs situés au-dessous du trait représentent des progressions. C'est le cas de 16 élèves. On constate que cette évolution positive n'atteint jamais la conception la plus correcte « AG » (les corps sont attirés en tout point de l'espace par les astres environnants). La majorité des élèves atteint cependant la conception « AP », selon laquelle la chute des corps est due à l'attraction des planètes. Neuf élèves passent d'une conception de l'attraction limitée à la Terre à une conception de l'attraction sur toutes les planètes.

On constate sur l'ensemble du tableau que seulement sept élèves n'atteignent pas cette conception « AP ».

3. DISCUSSION

Nous discutons d'abord les conceptions initiales des élèves puis, leur évolution. Nous essayons de répondre à deux questions : que deviennent les conceptions initiales ? Et comment la compréhension du phénomène de l'attraction se généralise-t-elle de la Terre à la Lune et à l'ensemble de l'Univers ?

Les conceptions de la chute des corps sur la Terre sont correctes pour plus de la moitié des élèves (15 sur 21) : la chute des corps est due à une attraction et il existe une attraction terrestre. Les conceptions de la chute des corps sur la Lune sont, pour la quasi-totalité des élèves, erronées :

19 élèves sur 21 pensent que les corps flottent sur la Lune. Cette réponse est sous-tendue par deux conceptions : la chute des corps est due à une attraction et il n'existe pas d'attraction lunaire (conception « AT », 11 élèves) ou la chute des corps est due à une atmosphère et il n'existe pas d'atmosphère autour de la Lune (« Aatmos », 2 élèves, « atmos », 3 élèves et « ar/atmos », 3 élèves).

Pourquoi cette différence entre la Terre et la Lune ? Sur la Terre, les conceptions se construisent à travers la vie quotidienne. Sur la Lune, les observations qui nourrissent les conceptions ne sont pas directement issues de l'expérience personnelle (lectures, photos, films) et sont rares (aucun homme n'a marché sur la Lune depuis 1972). En revanche, les élèves ont l'habitude de voir des images de cosmonautes en apesanteur dans leur fusée ou dans une station orbitale. On peut penser qu'ils ont généralisé ce qu'ils ont vu : dans l'espace (et l'intérieur d'une fusée est assimilé à l'espace), on flotte ; la Lune est dans l'espace donc sur la Lune, on flotte. Il apparaît que l'enseignement de la valeur de g sur la Lune a peu de chance d'être opératoire car incompatible avec les conceptions des élèves.

Nous voudrions insister aussi sur un lien possible entre les conceptions des élèves et les systèmes explicatifs qu'ils exploitent pour répondre aux questions que nous leur posons. Nos résultats suggèrent que les élèves peuvent disposer de *plusieurs systèmes explicatifs suivant que le phénomène se produit sur la Terre, la Lune ou le reste de l'Univers*. Ainsi, une conception peut être homogène, c'est-à-dire faire appel au même système explicatif quelque soit le lieu ou bien elle peut être mixte, c'est-à-dire comprendre plusieurs systèmes explicatifs. L'un ou l'autre de ces systèmes (appelés « facettes » par Minstrell, 1992) est activé en fonction des caractéristiques de la situation. Clément (1994) utilise le terme de « conception située » pour indiquer qu'une partie seulement de la conception est momentanément activée en relation avec une situation précise. La Terre est un cas particulier car c'est le seul corps céleste de l'Univers vers lequel les corps sont attirés. Sur la Lune ou dans l'espace, les corps flottent car ils sont dans le vide.

Après la séquence d'enseignement, *les conceptions ont évolué favorablement ou sont restées stables pour chacun des élèves, excepté un seul*. L'ensemble des élèves pense, à présent, que sur la Lune les corps tombent. Cependant, on constate que la justification de leur réponse n'est pas toujours correcte. On peut penser que *l'évolution d'une conception entièrement fautive vers une conception correcte se fait, chez certains élèves, en trois temps*. Dans un premier temps, les élèves ont une idée fautive des faits et de leurs justifications. Dans un deuxième temps, les faits sont assimilés, mais leur compréhension est en retard. Les élèves adaptent leur conception à leur nouvelle lecture de la réalité mais dans une mauvaise direction (les cosmonautes utilisent des équipements spéciaux pour garder les pieds au sol sur la Lune

ou les corps sont attirés vers la Terre car elle est aimantée). Dans un troisième temps, les élèves réussissent à ajuster leurs explications aux faits observés ou appris.

La discussion qui a lieu au cours de la deuxième séance montre que les élèves se demandent *d'où provient la force d'attraction*. Pour répondre à cette interrogation, nous avons présenté le modèle de l'interaction entre les corps : tous les corps massifs s'attirent entre eux par un phénomène différent de l'attraction entre des corps aimantés ou entre des corps électrisés. Mais on se rend compte que cette explication ne suffit pas. Certains élèves se demandent quelle est la nature de cette force « mystérieuse » qui attire les corps et que l'on représente par une flèche partant d'un point situé au centre de l'objet. On remarque que dans le post-test les élèves préfèrent utiliser l'expression à *cause* de l'attraction plutôt que *attiré vers* ou *attiré par*.

Lors du contrôle, des élèves qui répondent correctement à un grand nombre de questions, et semblent donc avoir une conception juste de la chute des corps, peuvent répondre à un exercice de manière erronée. Ce point nous amène à nous interroger sur *ce que deviennent les conceptions initiales des élèves* après enseignement. On peut formuler trois hypothèses : (1) les conceptions initiales des élèves, qui faisaient obstacle au sens de Bachelard (1938), ont été détruites et ne sont plus en concurrence avec les connaissances scientifiques ; (2) les nouvelles connaissances scientifiques ont pénétré les conceptions initiales pour les faire évoluer ; (3) les nouvelles connaissances cohabitent avec les conceptions initiales. Nous avons au départ l'hypothèse (2). Leur manifestation à l'occasion d'un exercice difficile suggère soit que l'évolution des conceptions initiales est instable et qu'il peut y avoir des retours en arrière soit que les conceptions initiales ne sont jamais totalement oubliées et peuvent être activées lorsque l'élève ne reconnaît pas, dans la situation, les éléments qui lui ont permis de construire ses nouvelles connaissances. Dans ce cas, l'élève disposerait d'un répertoire de conceptions, de niveaux de scientificité et de champs d'application différents, l'une ou l'autre s'imposant selon la situation.

La conception (« AP ») élaborée par un grand nombre d'élèves a un champ d'application limité : la chute des corps est due à l'attraction, il existe une attraction terrestre et une attraction lunaire mais ces attractions ont une limite spatiale, loin de la Terre ou de la Lune, elles n'existent plus. On peut penser que les élèves font une analogie avec la limite spatiale de l'atmosphère. L'attraction reste un phénomène localisé.

Nous proposons (figure 2) une évolution possible de la structure des systèmes explicatifs de chaque conception.

Avant enseignement (étape 1), la Terre est la seule planète où les corps tombent. Sur la Lune, dans la fusée ou dans le reste de l'Univers, les corps flottent (« AT »). Cette conception qui consiste à séparer la Terre du

« ciel » a été partagée par un grand nombre de savants jusqu'au Moyen Âge. Galilée fut le premier à considérer les phénomènes terrestres de la même manière que les phénomènes célestes (cf. par exemple Vigoureux, 1997).

Lors de l'étape 2, les élèves appliquent un système explicatif à la Terre (attraction) et un autre à la Lune. Le reste de l'Univers échappe à tout système explicatif. C'est le cas des élèves qui ont une conception « AT » et qui pensent que le cosmonaute repose sur la Lune grâce à un équipement spécial.

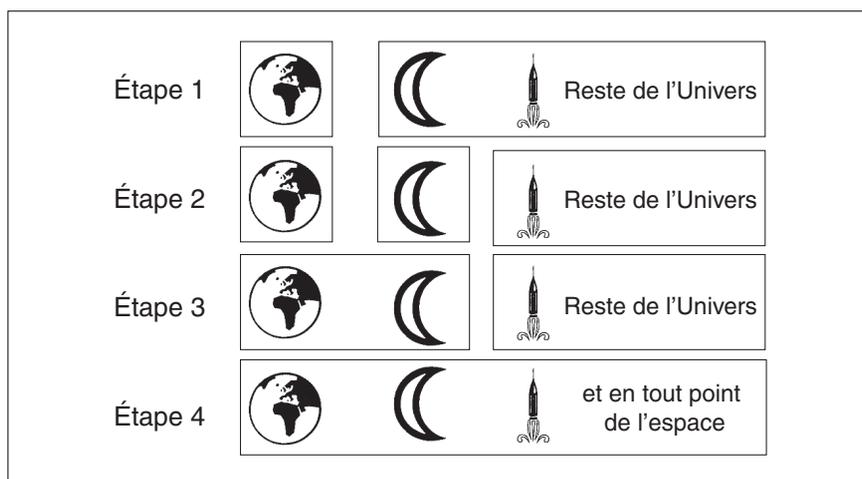


Figure 2 • Évolution de la structure des systèmes explicatifs des conceptions concernant la chute des corps.

Lors de l'étape 3, les élèves généralisent le cas de la Terre à la Lune et probablement sur toute autre planète (« AP »). Les conceptions naïves redeviennent opérantes lorsque les phénomènes se produisent dans l'espace (fusée en panne entre la Terre et la Lune).

Dans l'exercice de la fusée en un point éloigné de toute planète, la plupart des élèves ne parviennent pas à mettre à profit le système qu'ils utilisent de manière correcte pour la Terre et la Lune (étape 4). La conception selon laquelle la chute des corps est due à l'attraction n'est valable qu'à proximité d'une planète. On peut penser que la nature mystérieuse de cette attraction ne permet pas aux élèves de la généraliser en tout point de l'espace.

4. CONCLUSION

Nous avons constaté au cours de notre travail que les conceptions initiales des élèves de troisième relatives à la chute des corps sur la Terre et

surtout sur la Lune sont éloignées des conceptions scientifiques. Les élèves n'imaginent pas que l'on puisse considérer de la même manière un phénomène se produisant sur la Terre et un phénomène se produisant dans un autre endroit de l'espace. Cette idée est renforcée par des informations extrascolaires souvent mal interprétées par les élèves (des cosmonautes en état d'apesanteur dans une station orbitale, par exemple). Or, nous pensons que les notions de poids, de masse et d'intensité de la pesanteur ne peuvent pas prendre de sens pour des élèves ne connaissant pas le phénomène physique que ces concepts modélisent. L'objectif de la séquence d'enseignement que nous avons présentée était de permettre aux conceptions des élèves d'évoluer. Elle propose un enseignement par résolution de problème dans lequel l'élève est actif et s'appuie sur ses conceptions initiales pour formuler des hypothèses et construire de nouvelles connaissances. Les résultats montrent que notre objectif est partiellement atteint, puisque nous constatons qu'après enseignement, la majorité des élèves a une meilleure conception de la chute des corps qu'avant enseignement. Le poids semble correctement conceptualisé comme une interaction entre corps massifs et non plus comme une propriété des objets ou comme une action spécifique de la Terre. De même, la notion d'interaction à distance semble acceptée tant que cette distance n'est pas trop grande. Ce sont autant de points favorables à une bonne compréhension des concepts de poids, masse et intensité de la pesanteur. Cependant, nous disons « partiellement atteint », car nous constatons deux limites. Premièrement, les élèves ne parviennent pas à une conception généralisée de l'attraction des planètes en tout point de l'espace. À la fin de l'enseignement, la plupart des élèves ont une conception d'une attraction limitée à la proximité des astres. Il semble que l'évolution d'une conception passe par plusieurs étapes au cours desquelles la conception correcte s'étend à un domaine de validité de plus en plus grand. La dernière étape qui consiste en une conceptualisation généralisée du phénomène n'est atteinte que par peu d'élève de troisième à la fin de cette séquence d'enseignement. Deuxièmement, nous constatons que lorsque les élèves sont confrontés à un exercice faisant intervenir une situation nouvelle, les conceptions initiales erronées refont surface. Nous avons formulé deux hypothèses pour expliquer cela : soit l'évolution des conceptions est fragile et il peut y avoir des retours en arrière, soit les conceptions initiales ne sont pas totalement effacées et peuvent être réutilisées lorsque l'élève se trouve face à une situation nouvelle. Il semble de plus, que l'explication de l'origine de l'attraction des planètes proposée aux élèves ne réponde pas complètement à leur attente. La notion d'interaction à distance est difficilement comprise.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT F. (1994). *Contribution à la distinction des concepts de masse et de poids en classe de troisième*. Mémoire (non publié) de DEA de didactique des disciplines scientifiques. Université Montpellier 2.
- BALDY É. (2002). *Construction des concepts de poids et de masse en classe de troisième*. Mémoire (non publié) de maîtrise. Université Montpellier 2.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : J. Vrin.
- CHARNAY R. (1987). Apprendre (par) la résolution de problème. *Grand N*, n° 42.
- CLEMENT P. (1994). In GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLEMENT P. *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang.
- FISCHBEIN E. (1987). *Intuition in Science and Mathematics: An Educational Approach*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.
- MILDENHALL P.T. & WILLIAMS J.S. (2001). Instability in student's use of intuitive and Newtonian models to predict motion: the critical effect of the parameters involved. *International journal of science education*, vol. 23, n° 6, p. 643-660.
- MINSTRELL J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg & H. Neiddener *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel, Germany: Institute of science education, p. 110-127.
- PALMER D. (2001). Student's alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity. *International journal of science education*, vol. 23, n° 7, p. 691-706.
- ROBARDET G. (1989). Utiliser des situations-problèmes pour enseigner les sciences physiques. *Petit x*, n° 23, p. 61-70.
- ROBARDET G. (1995). Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, n° 7, p. 129-143.
- VIGOUREUX J-M. (1997). *Les pommes de Newton*. Paris : Diderot Éditeur, Arts et sciences.

ANNEXE 1 : Présentation des programmes de 1993 et 1998 de sciences physiques pour la classe de troisième.

- Le programme¹ de 1993 avait pour contenus dans un paragraphe intitulé « Propulsion et freinage » : « [...] 1.2.1 - Présentation des effets dus aux forces. 1.2.2. - Action exercée sur un objet : force, modélisation : direction, sens, intensité, point d'application s'il peut être précisé. 1.2.3 - Exemple d'interaction à distance : le poids [...] ». Quant aux compétences attendus, il était mentionné « on attend que l'élève sache : [...] - que la force est modélisée par un vecteur. - l'unité de force, le newton, symbole N. [...] - distinguer masse et poids. - la relation liant le poids à la masse sur terre. »

- Le programme actuel² (1998) présente des « exemples d'activités » en relation avec des questions. Ainsi dans le paragraphe « Mouvement et forces », aux questions « Pourquoi le mouvement d'un objet est-il modifié ? Pourquoi un objet se déforme-t-il ? » les activités proposées sont :

« - à partir de situations mises en scène en classe ou de documents vidéo, inventorier les actions de contact (actions exercées par des solides, des liquides, des gaz) ou à distance (action magnétique, électrique, de gravitation, poids). - utiliser un dynamomètre », auxquelles sont associés les « contenus-notions » suivants : « Action exercée sur un objet (par un autre objet), effets observés : - modification du mouvement, - déformation. Modélisation d'une force localisée par un vecteur et un point d'application. Équilibre ou non équilibre d'un objet soumis à deux forces colinéaires. Les « compétences attendues » sont : « Identifier l'objet d'étude sur lequel s'exerce l'action, distinguer les différents effets de l'action. Mesurer une force avec un dynamomètre. Le newton (N), unité de force du Système International. Savoir représenter graphiquement une force. Être capable d'utiliser la condition d'équilibre d'un objet soumis à deux forces colinéaires. ». De même pour la question : « Quelle relation existe-t-il entre le poids et la masse ? », on trouve : « - utilisation d'un dynamomètre, d'une balance. - étude documentaire : le poids d'un objet sur la Terre et sur la Lune ». À cela sont associés les « contenus-notions » suivants : « Relation entre poids et masse d'un objet [*Mathématiques : proportionnalité*], g, intensité de la pesanteur (en $N \cdot kg^{-1}$) ». Les « compétences » sont « Distinguer masse et poids, connaître et savoir utiliser la relation de proportionnalité entre ces grandeurs en un lieu donné. » Il est indiqué dans les commentaires : « La loi des interactions réciproques (ou de l'action et de la réaction) est hors programme. »

(1) Programme de physique-chimie applicable dans les classes de troisième. BO n° 41 du 2 décembre 1993, p. 3721-3739. Paris : ministère de l'Éducation nationale.

(2) Programmes physique-chimie. BO n° 10 Hors-série du 15 octobre 1998, p. 125-135. Paris : ministère de l'Éducation nationale.

ANNEXE 2 : Modèle de l'interaction à distance entre deux corps présenté lors de la séance 3.

Interaction de deux corps à distance.

Ce phénomène est différent des phénomènes d'attraction entre aimants ou entre objets électrisés que vous avez déjà vu.

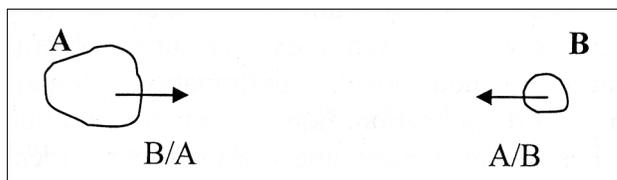
Dans ce cas, les objets s'attirent car ils sont formés de matière, c'est-à-dire car ils ont une masse.

Règle 1 :

Deux corps **A** et **B** quelconques exercent une attraction l'un sur l'autre.

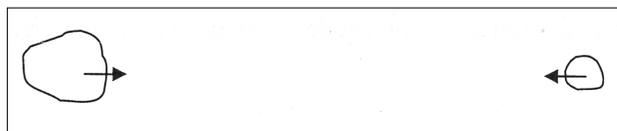
m_A est la masse de A et m_B est la masse de B.

$\vec{B/A}$ est l'action de B sur A ; $\vec{A/B}$ est l'action de A sur B.



Règle 2 :

Quand la distance entre A et B augmente, alors l'attraction diminue.



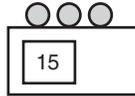
Quand la masse de A ou de B augmente, alors l'attraction augmente.



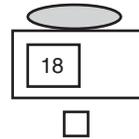
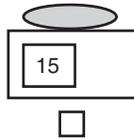
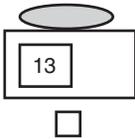
ANNEXE 3 : Pré-test 1 (les espaces réservés aux réponses des élèves ont été supprimés).

Situation 1 :

On place sur une balance numérique 3 morceaux de pâte à modeler. Un nombre s'inscrit sur le cadran.



On rassemble les 3 morceaux en un seul. Que se passe-t-il ?



- A.** Le nombre diminue. **B.** Le nombre ne change pas. **C.** Le nombre augmente.

Placez une croix dans la case choisie et expliquez par des phrases les raisons de votre choix .

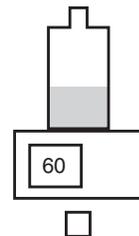
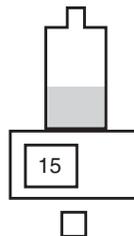
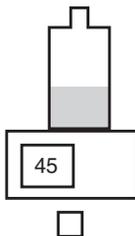
Situation 2 :

On chauffe un liquide contenu dans une bouteille, sans le faire bouillir.

On place la bouteille sur une balance numérique, un nombre s'inscrit sur le cadran.



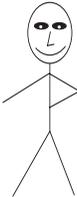
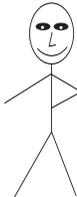
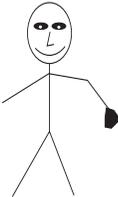
On laisse refroidir le liquide, son volume diminue pour retrouver sa valeur initiale. Que se passe-t-il ?



- A.** Le nombre diminue. **B.** Le nombre ne change pas. **C.** Le nombre augmente.

Placez une croix dans la case choisie et expliquez par des phrases les raisons de votre choix .

ANNEXE 4 : Pré-test 2.

	
 <p>L'homme repose debout sur la Terre. Comment l'expliques-tu ?</p>	 <p>L'homme est transporté sur la Lune. Qu'est-ce qui change ou ne change pas pour lui ? Comment l'expliques-tu ?</p>
	
 <p>L'homme tient un caillou à la main. Il le lâche, le caillou tombe. Comment l'expliques-tu ?</p>	 <p>L'homme se trouve sur la Lune avec le caillou. Il le lâche, le caillou tombe-t-il comme sur la Terre ? Si non pourquoi ? Si oui pourquoi ?</p>

ANNEXE 5 : Post-test.

Application du modèle de l'interaction entre deux solides.

Nous considérons la Terre, la Lune, le caillou, le véhicule et l'homme comme des solides.

Le solide A est la Terre :	Le solide A est la Lune :
<ul style="list-style-type: none">- La Terre attire-t-elle le caillou ? Comment l'expliques-tu ? - Comment expliques-tu qu'il soit plus facile de soulever un caillou que de soulever un homme ? <i>(vous ne devez pas utiliser les termes « lourd » et « léger »)</i> - Un avion est plus attiré par la Terre lorsqu'il est posé sur la piste que lorsqu'il se trouve à 10 000 mètres d'altitude, comment l'expliques-tu ?	<ul style="list-style-type: none">- La vidéo montre que, sur la Lune, un homme, une pierre ou un véhicule ne « volent » pas, comment l'expliques-tu ? - Sur la Lune, le véhicule touche mieux le sol que l'homme, comment l'expliques-tu ? - Sur la Lune, l'homme semble plus « léger » que sur la Terre, alors que sa masse est la même, comment l'expliques-tu ?

Sur la table se trouvent une gomme et un capuchon de stylo :

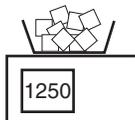
- La gomme attire le capuchon du stylo.
- Le capuchon attire la gomme.
- Comment expliques-tu que la gomme et le capuchon ne se déplacent pas l'un vers l'autre ?

- Si la gomme devient aussi grosse et massive que la Terre, que se passe-t-il ?

Le modèle dit que la Terre attire le caillou et que le caillou attire la Terre, alors comment expliques-tu que se soit le caillou qui se déplace vers la Terre et non l'inverse ?

ANNEXE 6 : Contrôle.

Exercice 1 :



- On sort des glaçons du frigo et on les place dans un récipient.
- On pose ce récipient sur la balance numérique, un nombre s'inscrit sur le cadran.
- Ce nombre est 1 250 (grammes).

Au bout de 2 heures, les glaçons ont complètement fondu et il n'y a pas eu d'évaporation.

On regarde le cadran. On observe que :

- Le nombre a diminué.
- Le nombre n'a pas changé.
- Le nombre a augmenté.

Placez une croix dans la case choisie.

A votre avis, quel nombre lit-on ?

Justifier votre réponse :

Exercice 2 :

Un cosmonaute se rend sur la Lune. Au lieu de se poser avec sa fusée, il décide de sauter avec un parachute. Que se produit-il à votre avis ?

- Il se pose sur la Lune comme il se poserait sur la Terre.
- Il s'écrase sur le sol de la Lune.
- Il descend doucement vers le sol de la Lune.
- Il flotte au-dessus de la Lune.

Placez une croix dans la case choisie et justifier votre réponse.

Le cosmonaute est maintenant sur la Lune, il enlève ses bottes. Que se passe-t-il ?

- Les bottes restent au sol et le cosmonaute aussi.
- Les bottes restent au sol et le cosmonaute flotte.
- Les bottes flottent et le cosmonaute aussi.
- Les bottes flottent et le cosmonaute reste au sol.

Placez une croix dans la case choisie et justifier votre réponse.

Exercice 3 :

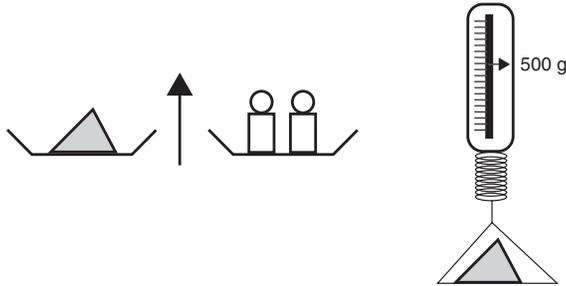
On se trouve dans le futur. Un village a été construit sur la Lune, on peut s'y rendre facilement, en particulier pour faire son marché.

Le marché a lieu le dimanche à M. et les mêmes marchands se retrouvent le mercredi sur la Lune.

Deux marchands Pierre et Nicolas vendent des épices.

Pierre utilise un appareil à pesée à 2 plateaux. Il pose une quantité de cumin sur un plateau et il équilibre l'autre plateau avec des masses marquées.

Nicolas utilise un dynamomètre gradué, par le fabricant sur Terre, en unité de masse.



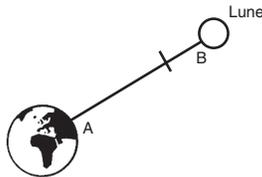
Vous voulez acheter 500 g de cumin à 16 euros le kg.

Sachant que les appareils de pesée offrent la même précision et que les prix de vente sont les mêmes sur la Terre que sur la Lune, choisissez parmi les propositions suivantes :

- Il est plus intéressant d'acheter chez Pierre à M.
- Il est plus intéressant d'acheter chez Pierre sur la Lune.
- Il est plus intéressant d'acheter chez Nicolas à M.
- Il est plus intéressant d'acheter chez Nicolas sur la Lune.
- Cela n'a aucune importance, c'est pareil partout.

Justifiez votre choix :

Exercice 4 :



Un vaisseau spatial effectue le trajet Terre-Lune. Ce trajet est représenté par la droite AB.

L'équipe au sol reçoit un appel de détresse, le vaisseau a une panne de réacteur et n'avance plus, il reste sur place.

Le vaisseau se trouve à l'endroit repéré par le tiré sur le schéma.

Ce phénomène ne peut se produire qu'à cet endroit précis. Expliquez pourquoi ?

Vous pouvez utiliser le schéma pour expliquer.

Exercice 5 :

1- La masse d'une voiture est de 1,2 tonnes sur la Terre.

Quelle est l'intensité de son poids sur la Terre ?

Quelle est l'intensité de son poids sur la Lune ?

2- Le poids d'un livre de physique est de 6,50 N dans la classe.

Quelle est sa masse sur la Terre ?

Quelle est sa masse sur la Lune ?

3- Un objet de masse 2 kg a un poids de 58 N sur une certaine planète.

Quelle est l'intensité de la pesanteur sur cette planète ?

Si vous pouviez aller sur cette planète, que ressentiriez-vous par rapport à ce que vous ressentez sur la Terre ? Quelles seraient les différences ?