

UNIVERSITE DE YAOUNDE 1

\*\*\*\*\*

CENTRE DE RECHERCHE ET DE  
FORMATION DOCTORALE EN  
SCIENCES HUMAINES, SOCIALES ET  
EDUCATIVES

\*\*\*\*\*

UNITE DE RECHERCHE ET DE  
FORMATION DOCTORALE EN  
SCIENCE DE L'EDUCATION ET DE  
L'INGENIERIE EDUCATIVE



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE 1

\*\*\*\*\*

POST COORDINATE SCHOOL FOR  
SOCIAL AND EDUCATIONAL  
SCIENCES

\*\*\*\*\*

DOCTORAL UNIT OF RESEARCH  
AND TRAINING IN SCIENCE OF  
EDUCATION AND EDUCATIONAL  
INGENEERING

**Enseignement/apprentissage de la Physique: les  
conceptions du poids d'un corps chez les apprenants  
du secondaire de l'enseignement secondaire général**

*Mémoire rédigé et présenté le 26 Juillet 2023 en vue de l'obtention du Diplôme de  
Master en sciences de l'éducation.*

**Spécialité : Didactique de Physique**

*Par*

**MANTO MBA Andrienne Victorine**

*Titulaire d'une licence en Physique*

**Matricule : 20V3508**



jury

Rang	Noms et grades	Universités
Président	<b>DONGO Etienne,</b> <i>Professeur</i>	UYI
Rapporteurs	<b>OWONO OWONO Luc Calvin,</b> <i>Professeur</i> <b>AYINA BOUNI,</b> <i>Maître de Conférences</i>	UYI
Examineur	<b>BICKELE Georges,</b> <i>Chargé de Cours</i>	UYI

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de son utilisation.

Par ailleurs, le Centre de Recherche et de Formation Doctorale en Sciences Humaines, Sociales et Éducatives de l'Université de Yaoundé I n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

## SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	i
DEDICACE .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
RÉSUMÉ.....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTE DES ABREVIATIONS .....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
INTRODUCTION GENERALE .....	1
Partie I : CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE .....	3
Chapitre 1 : PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE.....	5
Chapitre 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE ET ETAT DE LA QUESTION.....	10
Partie II : CADRE METHODOLOGIQUE ET OPERATOIRE .....	52
Chapitre 3 : METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE.....	53
CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	62
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	82
BIBLIOGRAPHIE .....	84
ANNEXES.....	87
TABLE DES MATIERES.....	91

**DEDICACE**

A mes parents.

## REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements vont à l'endroit :

- De mes directeurs de mémoire, Professeur OWONO OWONO Luc Calvin et Professeur AYINA BOUNI pour leurs précieux enseignements qui m'ont permis de mieux m'outiller dans le domaine de la didactique. Nos différents échanges m'ont davantage ouvert l'esprit et aidé à m'améliorer dans le domaine de la recherche.

-Du Dr Awomo Ateba Jérémie, qui a toujours été disponible pour suivre de près mes tâtonnements. Sa patience, ses encouragements et ses nombreux conseils ont été déterminants pour l'achèvement de ce travail.

-De tous les enseignants du département de Didactique, pour leurs enseignements qui m'ont permis de me familiariser avec la recherche en général et la didactique en particulier.

-Du Laboratoire de recherche Interdisciplinaire en Didactique, pour les opportunités d'échanges constructifs qui m'ont à chaque fois permis de mieux m'orienter et d'améliorer mon travail.

- De mon tendre époux, Monsieur Mangwa Nkouga Rial Martial, qui m'a toujours encouragée et soutenue, quand les difficultés de toutes natures auraient pu me faire baisser les bras.

-De ma famille, pour les encouragements, la compréhension et l'assistance qu'elle m'a toujours témoignée.

-De tous mes camarades de didactique de Physique, pour la bonne ambiance et les échanges constructifs.

## RÉSUMÉ

Le concept de poids d'un corps est fondamental en physique, vu qu'il est à la base du phénomène de chute des corps, phénomène souvent mal compris par les apprenants. Mais compte tenu de la non évidence de l'attraction gravitationnelle mise en jeu dans le phénomène de chute, il survient chez les apprenants des difficultés de conceptualisation du poids d'un corps. Ce travail propose de relever les conceptions après enseignement, des apprenants en classe de troisième (dont l'âge varie entre 13 et 16 ans) à propos du concept de poids d'un corps. Afin d'atteindre notre objectif, les données ont été collectées au moyen d'un questionnaire constitué de 17 questions pour la plupart semi-ouvertes, soumis à 95 apprenants en classe de troisième. Une analyse catégorielle de contenus s'appuyant essentiellement sur le schéma de la modélisation proposé par Martinand (1996) a été faite. Il en ressort que, après enseignement, les apprenants se montrent plus aptes à manipuler des modèles qu'à fournir des explications sur le phénomène d'attraction gravitationnelle. Leurs conceptions du poids restent erronées et s'appuient essentiellement sur la phénoménographie telle que définie par Martinand. Afin de favoriser la construction du concept de poids par les apprenants, nous suggérons aux inspecteurs pédagogiques d'associer un collectif de chercheurs en didactique à la conception des programmes en vue d'une prise en compte du volet épistémologique de ce concept. Par ailleurs, les enseignants devraient privilégier une démarche d'enseignement centrée sur la modélisation par les apprenants eux-mêmes de l'attraction gravitationnelle et non la présentation d'un modèle déjà construit.

**Mots clés :** Enseignement, apprentissage, conception, poids, modélisation, phénoménographie.

## **ABSTRACT**

The concept of the weight of a body is fundamental in physics, as it underlies the phenomenon on falling bodies, a phenomenon that is often poorly understood by learners. However, given the lack of evidence of the gravitational attraction involved in the phenomenon of falling, learners have difficulty conceptualizing the weight of a body. The aim of this study is to identify the post-instructional conceptions of ninth-grade learners (aged between 13 and 16) regarding the concept of the weight of a body. In order to achieve our objective, the data were collected by means of a questionnaire consisting of 17 mostly semi-open questions, submitted to 95 learners in the ninth grade. A categorical content analysis was carried out, based essentially on the modelling scheme proposed by Martinand (1996). The results showed that, after teaching, the learners were better able to manipulate models than to explain the phenomenon of gravitational attraction. Their conceptions of weight remain erroneous and are essentially based on phenomenography as defined by Martinand. In order to promote the construction of the concept of weight by learners, we think that it would be relevant for educational inspectors to involve a group of didactic researchers in the design of programs with a view to taking account of the epistemological aspect of this concept. Furthermore, teachers should favour a teaching approach centred on the learner's own modelling of gravitational attraction rather than the presentation of an already constructed model.

**Key words:** Teaching, learning, design, weight, modelling, phenomenography.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**A.P.C / E.S.V** : Approche Par Compétences avec Entrée par les Situations de Vie.

**D.E.U.G** : Diplôme d'Etudes Universitaires Générales.

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Situation permettant de vérifier l'hypothèse selon laquelle le concept de masse gravitationnelle est utilisé par les élèves à la place de celui de masse inerte .....	13
Figure 2: Evolution des conceptions des élèves avant et après enseignement .....	17
Figure 3: Concepts scientifiques et concepts quotidiens: une comparaison d'après Vygostky (1934/ 1997) Reproduit de Lhoste (2014,P123) .....	38
Figure 4: Le premier schéma de la Modélisation selon Martinand (1996) .....	48
Figure 5: Le second schéma de la modélisation selon Martinand (1996) .....	50

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1: Evolution des réponses en fonction des différents stades d'enseignement. ..</b>	<b>14</b>
Tableau 2: Répartition de l'échantillon.....	53
Tableau 3: Réponses des apprenants à la question n°1 .....	63
Tableau 4: Réponses des apprenants à la question n°2 .....	63
Tableau 5: Réponses des apprenants à la question N°3 .....	64
Tableau 6: Résultats de la question n°4 .....	65
Tableau 7: Résultats de la question n°5 .....	65
Tableau 8: Résultats de la question n°6 .....	66
Tableau 9: Résultats de la question n°7 .....	67
Tableau 10: Résultats de la question n°8 .....	67
Tableau 11: Résultats de la question n°9 .....	68
Tableau 12: Résultats de la question n°10.....	68
Tableau 13: Résultats de la question n°11.....	69
Tableau 14: Résultats de la question n°12.....	70
Tableau 15: Résultats de la question N° 13.....	70
Tableau 16: Résultats de la question N°14.....	72

## INTRODUCTION GENERALE

De nombreuses recherches en sciences de l'éducation et plus particulièrement en didactique ont depuis peu pris une nouvelle orientation. En effet, des études ont montré que face à un nouvel enseignement, les élèves possèdent déjà leurs propres idées leur permettant de comprendre et interpréter leur environnement. Giordan (2008) nomme ces idées sous le vocable de « conceptions » et précise que « *ces conceptions ont une certaine stabilité...si l'on n'en tient pas compte, ces conceptions se maintiennent et le savoir proposé glisse généralement à la surface des élèves sans même les imprégner.* » (Giordan A. , 2008, p. 1) Ceci dit, leur prise en compte est primordiale pour rendre l'enseignement plus efficace. C'est dans ce sens que nous nous intéressons aux conceptions des élèves à propos du poids d'un corps, concept qui occupe une place prépondérante en mécanique classique. Des études ont en outre révélé que l'apprentissage du concept de poids d'un corps pose des difficultés aux apprenants. A ce propos, Bovet et Halbwachs (1980), puis Givry (2003) montre que les apprenants ont des difficultés à faire la différence entre le poids et la masse. De plus, les travaux de Baldy et Aubert (2005) révèlent que les apprenants attribuent la chute des corps sur la Terre à la présence de l'atmosphère. A la suite de ces travaux, nous nous proposons de nous appesantir sur le concept de poids, afin de relever les différentes significations que les apprenants lui prêtent. Les apprenants dont il est question ici sont ceux qui ont déjà suivi un enseignement sur le concept de poids, donc il s'agit de conceptions après enseignement. Autrement dit, il est question de répondre à la question : quelles sont les conceptions du concept de poids d'un corps chez les apprenants de la classe de troisième ? L'hypothèse de recherche étant que les apprenants de la classe de troisième ont des conceptions alternatives sur le poids d'un corps.

Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, notre travail sera articulé autour des points suivants : nous commencerons par une présentation du cadre théorique de notre étude, dans laquelle il sera question de faire un état de la question sur le concept de poids d'un corps, à travers une revue de la littérature ; ensuite, nous présenterons de façon succincte la problématique de l'étude. Dans la deuxième partie, on fera d'une part une présentation du cadre méthodologique et opératoire de l'étude, en insistant sur la méthode de recherche (population cible, échantillon, outils de collecte des données), et les outils d'analyse des données. D'autre part, nous ferons la présentation et l'analyse des différents résultats saillants émergents de notre recherche ainsi que les implications didactiques et pédagogiques.

L'intérêt de cette étude est de permettre de relever les obstacles à la construction par les apprenants, du concept de poids d'un corps afin de pouvoir ultérieurement mettre sur pied une stratégie d'enseignement qui permette de les dépasser.

**Partie I : CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE**



## Chapitre 1 : PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE

### 1. Contexte et justification

Le développement des compétences scientifiques et technologiques devient de nos jours nécessaires à tous les citoyens et aux jeunes en particulier ; il devrait permettre de conduire les ruptures, les changements et les sauts qualitatifs dont l'économie camerounaise a besoin pour fonder son essor sur le savoir et l'innovation<sup>1</sup>. Dans cette perspective, et par ailleurs pour résoudre le problème du taux de chômage sans cesse croissant, le Cameroun décide d'adopter en 2012 une nouvelle approche pédagogique, l'Approche par Compétences avec Entrée par les Situations de Vie (A.P.C/ E.S.V), qui remplace désormais l'Approche par Objectifs. En outre, dans le contexte d'un Cameroun qui s'est fixé le cap de l'émergence à l'horizon 2035, *son enseignement secondaire est confronté à de nombreux défis, entre autres :*

- *Offrir dans un contexte marqué par une forte croissance des effectifs du cycle primaire, une formation de qualité à un maximum de jeunes camerounais ;*
- *Préparer ceux-ci grâce à des enseignements/apprentissages pertinents, à s'intégrer au monde et à affronter un marché du travail de plus en plus exigeant.*

Il s'agit donc de partir d'une école jadis consacrée à l'acquisition des connaissances très souvent décontextualisées à une école soucieuse d'outiller les apprenants afin qu'ils puissent faire face à des situations de vie réelles, complexes et diversifiées, une école qui prenne en compte les cultures et les savoirs locaux. Cette nouvelle approche pédagogique prescrit à l'enseignant de mettre l'apprenant au centre du processus enseignement -apprentissage, afin que ce dernier puisse construire lui-même ses connaissances. Dans ce sens, l'enseignant joue le rôle de facilitateur, il guide et oriente l'apprenant dans sa démarche. L'adoption de l'Approche par Compétences dans l'enseignement secondaire camerounais a impliqué une refonte des curricula scolaires ; c'est ainsi que le nouveau programme de Physique-Chimie-technologie des classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> voit le jour avec pour objectif principal de permettre à l'apprenant de développer des compétences lui permettant:

---

<sup>1</sup> Programmes d'études de 4<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> de l'Enseignement Secondaire Général : Physique-Chimie-Technologie, 2014 définis par l'arrêté N° 419/14/MINISEC/IGE DU 9 DEC 2014

- ✓ de communiquer à l'écrit et à l'oral sur des phénomènes scientifiques de son environnement ;
- ✓ de comprendre et d'expliquer les phénomènes naturels, de résoudre les problèmes que ces derniers posent dans ses domaines de vie ....

Il prescrit entre autres, l'enseignement du concept de « poids d'un corps » en classe de 4<sup>ème</sup>, (chez des élèves âgés de 13-15ans), savoir contenu dans le module 2 intitulé « Actions mécaniques et énergie électrique ».

Au terme de cet enseignement, l'apprenant devra être capable de :

- Définir et caractériser le poids d'un corps,
- Mesurer l'intensité du poids d'un objet à l'aide d'un dynamomètre,
- Déterminer expérimentalement l'intensité de la pesanteur en un lieu.

L'analyse de la transposition didactique de ce concept faite par le manuel scolaire de Physique Chimie Technologie 4<sup>ème</sup> (collection Dewatek), ouvrage sur lequel s'appuient les enseignants pour préparer et dispenser leurs enseignements et qui est également celui qui est prescrit aux apprenants comme support de cours et exercices de consolidation montre que :

- L'ouvrage met directement en relation le poids d'un corps et sa masse par la question : quelle est la relation entre le poids d'un corps et sa masse ? Cependant, on remarque que la définition de la masse n'est pas rappelée, ce qui suppose que les apprenants sont supposés avoir déjà construit le concept de masse.

- La leçon sur le poids y est introduite par des activités visant à amener les apprenants à se questionner sur la chute des corps au voisinage de la Terre. Autrement dit, la chute des corps est le phénomène physique sur lequel les auteurs se sont appuyés pour mettre en évidence le poids d'un corps. En ce sens, il est pertinent de se questionner sur le cas des corps déjà posés à la surface de la Terre, car cette approche pourrait laisser l'apprenant penser que la Terre n'exerce une attraction que sur des corps situés à une certaine distance d'elle, pour lesquels se manifesterait forcément l'effet de chute.

- Le poids d'un corps y est défini comme « *la force d'attraction que la Terre exerce sur ce corps. Il se note  $\vec{P}$ .* » Il s'agit d'une force à distance et répartie, dont le point d'application est le centre de gravité de l'objet considéré. Mais comment les apprenants conçoivent-ils le terme « force à distance » utilisé dans cette définition ?

- La direction du poids d'un corps est verticale et le sens du haut vers le bas ou descendant. Les auteurs précisent également que le poids d'un corps varie avec la latitude et l'altitude. Mais on remarque cependant qu'il n'y est mentionné nulle part le choix d'un référentiel pour la définition de ces caractéristiques, ce qui pourrait constituer un obstacle lorsqu'il s'agira de représenter le poids d'un corps situé au pôle Sud de la Terre dans le modèle qui considère la Terre comme sphérique légèrement aplatie.
- Il précise également que dans la vie courante, on a tendance à confondre la masse au poids puisqu'on lit souvent sur des boîtes de conserve poids net : 200g. Il ne propose cependant pas de définition concernant le concept de « masse ».

Les études ont par ailleurs montré que les apprenants rencontrent des difficultés dans l'apprentissage du concept de poids d'un corps, et l'assimilent parfois à d'autres concepts. Une partie des travaux en didactique réalisés sur ce sujet a porté sur les difficultés des élèves à faire la distinction entre le poids et la masse (Bovet & Halbwachs, 1980). Une autre étude a souligné l'ambiguïté que peut engendrer la différence entre le concept de masse inerte et celui de masse gravitationnelle (Givry, 2003). De plus, lors de la pratique de l'enseignement, on constate que bon nombre d'élèves des classes de seconde ont des difficultés lors de l'étude de l'équilibre des solides sur un plan incliné à représenter correctement le poids du corps étudié.

## 2. Problème de recherche

Le terme « poids » d'un corps entre très tôt dans le vocabulaire de l'enfant, même non scolarisé. En effet, dès la maternité, on place le nouveau-né sur une balance et on parle de prendre le « poids » de ce dernier. Ensuite dans les commerces, on parle du « poids » des marchandises que l'on mesure par des pesées à l'aide de balances, et que l'on exprime en grammes (ou par ses multiples et sous-multiples). Ainsi, avant tout enseignement, l'enfant s'est déjà construit un certain nombre de conceptions qui ne sont pas pour la plupart scientifiques. En effet, les conceptions initiales des apprenants sont très souvent liées à l'expérience ou à l'opinion. Mais comme le pense Bachelard « *L'opinion pense mal, elle ne pense pas. Elle traduit des besoins en connaissance. En désignant les objets par leur utilité, elle s'interdit de les connaître. On ne peut rien fonder sur l'opinion : il faut d'abord la détruire. Elle est le premier obstacle à surmonter.* » (Bachelard, 1938, p. 14). Ainsi, l'enseignement du concept de « poids » d'un corps se heurte aux conceptions initiales des apprenants qui peuvent dès lors s'ériger en obstacles. Par ailleurs, de nombreuses études ont relevé les caractéristiques des conceptions,

parmi lesquelles le caractère évolutif, fonctionnant par intégration successive d'éléments nouveaux et surtout la très grande résistance de l'appareil explicatif. En effet, elles montrent qu'il n'est pas aisé de déconstruire les représentations initiales des apprenants, surtout lorsque celles-ci s'opposent aux nouvelles à former. De ce fait, il y'a lieu de s'interroger sur les conceptions des apprenants ayant déjà suivi un enseignement sur le concept de « poids d'un corps ». Le problème qui se pose est donc celui des difficultés de conceptualisation du poids d'un corps par les apprenants du secondaire.

### **3. Questions de recherche**

Compte tenu non seulement du fait que les apprenants y compris ceux qui n'ont pas encore reçu un enseignement sur le poids d'un corps possèdent déjà leurs propres conceptions du poids d'un corps, mais aussi de la résistance de ces conceptions initiales, il est question d'identifier les conceptions des apprenants de la classe de troisième c'est-à-dire après enseignement. Autrement dit, il s'agit de répondre à la question : Quelles sont les conceptions des apprenants de la classe de troisième sur le poids d'un corps ? Cette question principale induit les questions secondaires suivantes :

- Quel rapport les apprenants établissent-ils entre le concept de poids et celui de masse ?
- Comment les apprenants ayant reçu un enseignement sur le concept de poids d'un corps interprètent-ils le phénomène de chute d'un corps ?
- Quelle place occupent les modèles dans la construction du concept de poids par les apprenants ?
- Quelle est la catégorie du référent empirique préférentiellement mobilisée par les apprenants pour le concept de poids ?

### **4. Hypothèses de recherche**

Notre hypothèse générale s'intitule comme suit : les apprenants de la classe de troisième ont des conceptions alternatives sur le concept de poids. Les hypothèses spécifiques qui en découlent sont les suivantes :

- Les apprenants confondent les concepts de poids et de masse.
- Les apprenants ont du mal à interpréter la chute des corps sur la Terre par le phénomène d'attraction même après enseignement.
- Les apprenants sont plus aptes à manipuler les modèles qu'à fournir des explications sur le phénomène d'attraction.

- La phénoménographie est la catégorie du référent empirique préférentiellement mobilisée par les apprenants pour le concept de masse.

## **5. Objectifs de l'étude**

Notre objectif principal est d'identifier les conceptions des apprenants de la classe de troisième sur le concept de poids d'un corps. Plus précisément, il s'agit de :

- Identifier le rapport que les apprenants établissent entre les concepts de poids et masse.
- Relever les différentes significations que les apprenants attribuent à la chute des corps sur la Terre.
- Identifier la place que les apprenants accordent aux modèles utilisés pour l'enseignement du concept de poids.
- Identifier la catégorie du référent empirique préférentiellement mobilisée par les apprenants pour le concept de poids.
- Relever les obstacles liés à la construction du concept de poids d'un corps.

## Chapitre 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE ET ETAT DE LA QUESTION

Cette partie est consacrée d'une part à la présentation des travaux antérieurs, puis à la définition des concepts fondamentaux de notre étude. Les théories qui nous serviront de référence pour l'analyse des données y sont également présentées.

### 1. Travaux antérieurs

Plusieurs auteurs se sont déjà intéressés au concept de poids, ils ont en particulier cherché à relever les difficultés liées à sa conceptualisation par les apprenants de différents niveaux.

#### 1.1. Les travaux de Bovet et Halbwachs (1980)

Bovet et Halbwachs (1980) se sont servis des données de la psychologie cognitive pour comprendre comment les enfants de 7 à 12 ans se construisent progressivement les concepts de masse et de poids. En effet, ils s'appuient sur les travaux de Piaget qui montrent que le système cognitif des enfants de 11-12 ans (des classes de sixième) n'est pas une structure définitivement établie, et qu'elle peut comporter des éclipses et des lacunes qui se manifesteront dans le processus d'apprentissage. Pour ce faire, ils donnent d'abord des indications sur l'état des notions de masse et de poids chez l'enfant de 5-6ans, puis 7-8ans et sur la dynamique de leur développement. Ils procèdent ensuite à une analyse critique de la notion de masse dans le programme français de sixième, et proposent enfin une démarche visant à mieux introduire le concept de poids chez les enfants de la sixième.

Les principaux résultats présentés dans cet article sont les suivants :

- Premièrement concernant l'état des notions de masse et de poids chez les enfants, ils montrent que vers 11 ans, l'enfant a acquis l'ensemble des conservations des trois indices liés à la quantité de matière au cours des fractionnements, des changements de forme, des transvasements, même si cette acquisition reste encore instable. Par ailleurs,

les auteurs précisent également qu'il existe chez les jeunes enfants, une confusion, voire une « indifférenciation » entre le poids-quantité<sup>2</sup> et le poids-action<sup>3</sup>. Pour le démontrer, ils se servent de plusieurs expériences faites à Genève et portant sur les jugements des enfants mis en présence d'un « plot » placé sur un plan incliné et lié, par un fil qui passe par la gorge d'une poulie à un « contrepoids », qui pend librement à l'extrémité du plan. Le contrepoids peut faire monter le plot, le laisser descendre ou le maintenir en équilibre. L'enfant doit prévoir ce qui se passera suivant les valeurs respectives des poids (mesurés au moyen d'une balance, donc des poids-quantité) du plot et du contrepoids. Ils remarquent que dans tous les cas, le facteur en action est considéré par les enfants comme le poids du plot, c'est-à-dire son poids-action, alors que pour le physicien, il s'agit de la composante oblique du poids, ou mieux, de la force agissante. Il en ressort que pour les enfants de 9 à 10 ans, le poids-quantité reste invariant, mais donne ou pèse de façon variable avec des actions ou des positions différentes.

- Deuxièmement, l'analyse critique du programme de la classe de sixième, montre que d'un point de vue de la psychologie cognitive, lors de l'apprentissage d'un concept, le système cognitif de l'enfant commence par construire et intégrer une notion de la quantité physique considérée sous forme d'une « intuition », puis cette notion va commencer à se coordonner avec d'autres notions et se développer sous une forme « prémétrique », c'est-à-dire une grandeur qui n'est pas strictement définie, mais donc il connaît les propriétés ( conservation et additivité lors des transformations physiques par exemple, pour le cas de la substance). Enfin, le système cognitif de l'enfant atteint la quantification métrique, lorsque ce dernier est capable de faire une représentation numérique et de soumettre cette notion au calcul ; la notion intuitive passe dans ce cas à un concept.

- Troisièmement, Bovet & Halbwachs (1980) proposent de distinguer « la physique du physicien » de la « physique de l'élève ». En effet, ils pensent que c'est une erreur pédagogique et même épistémologique de vouloir exiger aux élèves de n'employer que des formulations qui soient absolument correctes et conformes à la physique du physicien, car elle n'est nullement un système de référence unique et immuable ; la science fonctionnant à partir de modèles qui sont des représentations partielles et relatives de la réalité. Ils proposent pour ce faire d'appeler « pondéralité » l'intensité du poids d'un corps et la confondre à la masse, dans un modèle qu'ils appellent le modèle à  $g$  constant, puis d'introduire plus tard la relation  $P = mg$  sous sa forme

---

<sup>2</sup> Poids-quantité : désigne la masse, la propriété d'un corps

<sup>3</sup> Poids-action : renvoie au poids du corps, la manifestation d'effets dynamiques variés

vectorielle pour définir le poids et ainsi rejoindre le modèle de Newton. En outre ; compte tenu du fait que l'enfant de 11-12 ans a à peine acquis la conservation de la quantité de substance, acquisition qui reste encore fragile, la première tâche de l'enseignant de physique est de la stabiliser.

En conclusion, les auteurs pensent qu'il faut choisir un modèle qui soit cognitivement pertinent pour les enfants ayant le degré de développement considéré, tout en leur fournissant une structure explicative cohérente et efficace pour un domaine suffisamment vaste de phénomènes. De ce fait, ils proposent d'introduire la relation entre le poids et la masse aux élèves de la sixième dans la formulation suivante : le poids d'un corps est l'action (ou pourquoi pas une force) exercée par ce corps (ou sur ce corps). Cette action est verticale et dirigée vers le bas (ou vers le centre de la Terre). Elle est d'autant plus grande que la masse du corps est grande.

Nous relevons cependant que, ce travail pose une question fondamentale à laquelle il n'y'a aucune proposition de réponse : l'élève de sixième peut-il réellement comprendre les affirmations selon lesquelles le poids est une attraction à distance exercée par la Terre ? Ou le considère-t-il comme inhérent au corps avec la pensée animiste selon laquelle le corps pesant tend vers le bas parce qu'il veut tomber ? De plus, la définition du poids proposée ne précise pas le référentiel considéré mais pourtant stipule que ce poids est une action verticale dirigée vers le bas.

## **1.2. Les travaux de Givry (2003)**

Givry (2003) s'intéresse au concept de masse en physique, avec pour objectif de relever les difficultés que rencontrent les élèves lors de son enseignement en classe. En effet, l'auteur se centre sur les représentations des élèves au sujet de la masse inerte (qu'il définit comme une résistance à la mise en mouvement et au changement de mouvement) et s'intéresse plus particulièrement à l'évolution des obstacles et des conceptions des élèves de la classe de troisième à la classe de deuxième année DEUG<sup>4</sup>.

Afin d'atteindre cet objectif, il émet cinq hypothèses de recherche parmi lesquelles l'hypothèse selon laquelle : le concept de masse gravitationnelle est utilisé par les élèves à la place de celui de masse inerte.

---

<sup>4</sup> DEUG : Diplôme d'Etudes Universitaires Générales

Pour vérifier les hypothèses, les données ont été collectées au moyen d'un questionnaire constitué par cinq questions semi-ouvertes basées sur des situations familières ; chaque question renvoyant à une hypothèse de recherche.

Le questionnaire a été distribué à :

-30 élèves de la classe de troisième, auxquels le concept de masse inerte n'avait pas encore été présenté. (Stade avant enseignement)

-31 élèves de la classe de Terminale, après l'enseignement sur la mécanique. (Stade enseignement)

-40 élèves de DEUG, pour lesquels le concept était théoriquement assimilé (stade après enseignement)

-50 enseignants du lycée (Stade savoir des enseignants).

La question posée, correspondant à l'hypothèse « le concept de masse gravitationnelle est utilisé par les élèves à la place de celui de masse inerte » est illustrée par la figure 1.

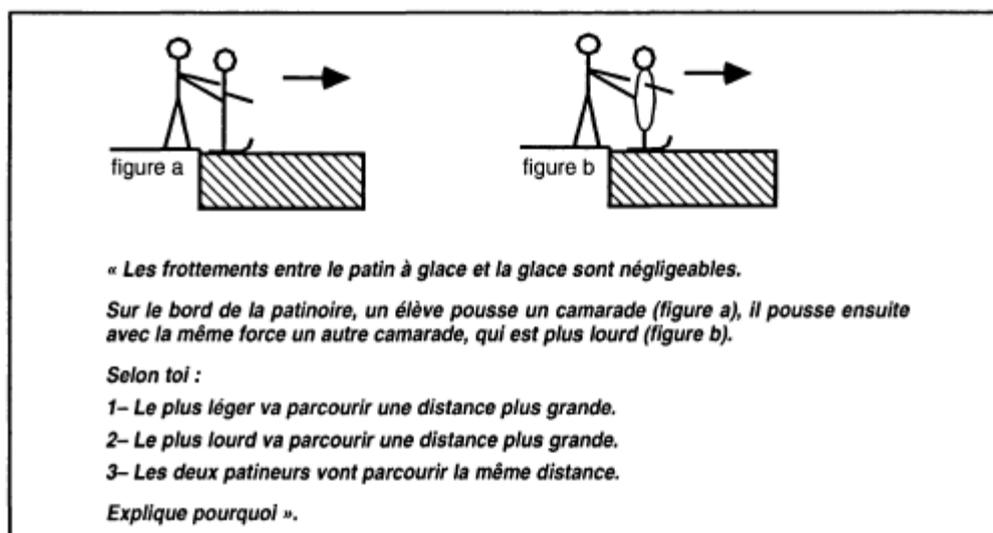


Figure 1: Situation permettant de vérifier l'hypothèse selon laquelle le concept de masse gravitationnelle est utilisé par les élèves à la place de celui de masse inerte

Afin d'exploiter les réponses des apprenants, l'auteur définit trois catégories :

-l'élan : idée selon laquelle plus un objet sera lourd et plus il ira vite. Il y classifie les réponses de type : « car la masse entraîne », « l'énergie emmagasinée est plus grande lors de la mise en mouvement d'un objet lourd »

-L'attraction terrestre : qui correspond à l'idée selon laquelle plus un objet est lourd et plus il est difficile à mettre en mouvement parce que l'attraction terrestre empêche le mouvement: « parce que la force d'attraction du camarade le plus lourd est forte et freine la vitesse. »

-L'inertie est ignorée : il s'agit des justifications selon lesquelles la masse inerte ne joue aucun rôle : « car même force, même vitesse. »

Les réponses classifiées sont contenues dans le tableau 1.

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

	<b>Troisième</b>	<b>Terminale</b>	<b>DEUG</b>	<b>Enseignant</b>
<b>Inertie ignorée</b>	0/30	13/31	3/9	1/8
<b>Inertie</b>	4/30	5/31	1/9	4/8
<b>Attraction terrestre</b>	1/30	1/31	0/9	0/8
<b>Elan</b>	6/30	2/31	3/9	0/8
<b>Constat d'évidence</b>	1/30	0/31	0/9	0/8
<b>Réponse analysée</b>	14/30	7/31	2/9	3/8
<b>Pas de réponse</b>	4/30	3/31	0/9	0/8

L'analyse de ce tableau montre que 3,33% des élèves de troisième et 3,22% des élèves de Terminale ont utilisé le raisonnement basé sur l'attraction terrestre c'est-à-dire que pour eux, un objet lancé sur une surface sans frottement verra sa vitesse diminuer dans le temps à cause de l'attraction que la Terre exerce sur cet objet. Par ailleurs, 41,93% des élèves de Terminale, 33,3% des élèves de DEUG et 12,5% des enseignants ont totalement ignoré le rôle joué par l'inertie dans cette situation. Ces deux aspects permettent à l'auteur de valider partiellement l'hypothèse de départ à savoir que « le concept de masse gravitationnelle risque être utilisé à la place du concept de masse inerte ».

Toutefois, nous notons que l'auteur ne propose pas de démarche visant à faire distinguer chez les élèves les concepts de masse et de poids.

### **1.3. Les travaux de Baldy et Aubert (2005)**

Baldy & Aubert (2005) s'intéressent à l'apprentissage du phénomène physique de chute des corps en classe de troisième française. En effet, dans ce travail les auteurs se donnent comme objectif de proposer une séquence d'enseignement qui vise à faire évoluer les conceptions des élèves relatives à la chute des corps. Pour cela, elles s'appuient sur un apprentissage par résolution de problème, basé sur les conceptions initiales des apprenants.

En effet, ces auteurs avancent comme hypothèse que les élèves ont des difficultés à construire les concepts de masse, poids et d'intensité de la pesanteur parce que ces derniers ne sont pas directement rattachés au phénomène physique qu'ils modélisent à savoir la chute des corps. De ce fait, les conceptions initiales des élèves des classes de troisième en rapport avec le phénomène physique de la chute des corps sont très éloignées des concepts scientifiques.

Afin d'atteindre cet objectif, les auteurs commencent par faire une étude comparative de la transposition didactique des concepts de poids et masse dans les programmes français de 1993 et ceux de 2005, puis dans certains ouvrages<sup>5</sup> utilisés par les enseignants. Il en ressort que, du point de vue des programmes, il y'a eu une évolution dans l'enseignement des concepts de poids et de masse. En effet, on part d'une formulation thématique (Exemple d'action à distance : le poids) qui implique une conception inductiviste des apprentissages à une approche interrogative (Quelle relation existe-t-il entre le poids et la masse ?) plus favorable à une démarche hypothético-déductive. Baldy et Aubert (2005) notent également que de tous les ouvrages scolaires analysés (au nombre de 05), aucun ne propose de rattacher les concepts de poids et de masse au phénomène physique qu'ils modélisent, celui de la chute des corps.

Ensuite, elles conçoivent une séquence d'enseignement basée sur une approche d'apprentissage par « situation-problème ». Elle est constituée de trois séances d'une durée d'une heure chacune. Les trois séances sont constituées de questionnaires (pré-test 1, pré-test 2 et post-test), à l'intention des apprenants, de discussions avec ces derniers, d'expériences et enfin de récapitulatif et une prise de notes. Les objectifs visés par chaque séance sont respectivement d'amener les apprenants à faire évoluer leurs conceptions de la masse, leurs conceptions de la chute des corps sur la Terre et sur la Lune, et enfin de définir le poids comme la force d'attraction d'un astre.

Les tests ont été administrés à un échantillon de 21 apprenants de la classe de troisième et sont suivis d'un contrôle proposé une dizaine de jours après la troisième séance. Le contrôle vise à

---

<sup>5</sup> Durandea (1994) ; Carré (1994) ; Durandea (1995) ; Archimède (1999)

évaluer l'efficacité de la séquence, notamment en étudiant l'évolution des conceptions des élèves relatives à la chute des corps.

Afin d'analyser les résultats obtenus, les auteurs définissent 06 catégories pour classer les conceptions des apprenants :

-Attraction généralisée (AG) : les 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 la Terre et la Lune (AP) : cette catégorie correspond aux élèves qui pensent que les corps tombent sur la Terre et sur la Lune à cause de l'attraction terrestre et lunaire. Mais pour eux, les corps flottent dans l'espace.

-Attraction seulement terrestre (AT) : Cette catégorie regroupe les élèves qui pensent que l'attraction est un phénomène particulier réservé à la Terre, les autres astres, notamment la Lune n'ont pas d'attraction.

-Attraction sur la Terre et atmosphère sur la Lune (Aatmos) : pour cette catégorie, les élèves pensent que la chute des corps sur la Terre est due à l'attraction terrestre alors que sur la Lune, les corps flottent car il n'y'a pas d'atmosphère.

-Atmosphère (Atmos) : pour les élèves qui pensent que la chute d'un corps est liée à la présence d'une atmosphère. Pour ces derniers, les corps tombent sur la Terre à cause de la pression atmosphérique et flottent sur la Lune car il n'y'a pas d'air.

-Aristote sur la Terre et atmosphère sur la Lune (ar/atmos) : Pour ces élèves, les corps tombent sur la Terre car c'est leur milieu d'origine et ils flottent sur la Lune car il n'y'a pas d'atmosphère. Les résultats obtenus sont illustrés par la figure n°2.

		Après enseignement						
Avant enseignement		AG	AP	AT	Aatmos	atmos	ar/atmos	
	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

Progression 16

Régression 1  
4

*Figure 2: Evolution des conceptions des élèves avant et après enseignement*

Dans ce tableau, on retrouve en ligne les conceptions inférées de réponses des élèves avant enseignement et en colonne celles inférées des réponses après enseignement.

De ce tableau, on constate que :

-Avant enseignement, 14,28% (soit 3 élèves sur 21) des élèves justifie la chute des corps sur la Terre par la présence de l'atmosphère (atmos), tandis que la même proportion (14,28%) l'attribue à la propriété du retour des graves à la Terre (Selon Aristote), (ar/atmos).

-après enseignement, seulement 4,76% (1sur 21) des élèves pensent encore que l'atmosphère est responsable de la chute des corps sur la Terre et aucun apprenant ne donne une justification de type retour des graves.

Ces constats permettent aux auteurs de conclure que la séquence d'enseignement a eu une conséquence positive sur les conceptions des apprenants en ce qui concerne la chute des corps sur la Terre. Cependant, concernant la chute des corps sur la Lune, la séquence d'enseignement a permis aux apprenants de comprendre qu'il existe également une attraction lunaire mais les justifications données par ces derniers pour expliquer la chute des objets sur la Lune ne sont pas toujours correctes. Ce qui amène les auteurs à conclure que soit 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.

Cependant, il est important de relever que les auteurs s'accordent sur une atteinte partielle de leur objectif vu qu'on note une évolution positive des conceptions chez 76,19% des élèves (16 sur 21) pour les catégories AP et AT. Mais seulement 9,52% des élèves (soit 2 sur 21) parviennent à une conceptualisation généralisée de l'attraction des planètes en tout point de l'espace, les autres élèves ayant plutôt une compréhension d'une attraction limitée à la proximité des planètes. Elles le justifient par le fait que la notion d'interaction à distance est difficilement comprise mais ne proposent pas de démarche susceptible d'améliorer sa compréhension par les apprenants.

#### **1.4. Les travaux de Maron (2017)**

Dans le souci de faciliter la compréhension du concept de gravité par les apprenants, (Maron, 2017) propose une séquence d'enseignement de la théorie newtonienne basée sur une approche historique et épistémologique de ce concept. Il s'agit plus précisément de proposer une démarche de nature à justifier les concepts et les formules qui interviennent dans la théorie de gravitation telle que conçue par Newton. En particulier, l'accent est mis sur la notion d'attraction terrestre « *très souvent admise, bien qu'elle ne soit pas évidente par elle-même* », en lien avec la chute libre des corps. (Maron, 2017, p. i) De plus, le cheminement ayant conduit Newton à relier la révolution des planètes, de la Lune et la chute sur Terre est davantage explicité.

Afin d'atteindre cet objectif, la méthodologie utilisée est la suivante :

- Identifier les idées des élèves sur les forces et le mouvement d'une part, et sur la gravitation d'autre part. Ces idées relevant pour la plupart du sens commun, permettent à Maron de déceler les problèmes d'apprentissage.

- Ensuite proposer des solutions, en s'appuyant sur l'analyse de contenu et l'étude historique et épistémologique du concept. Les solutions proposées doivent cependant avoir pour point de départ les idées du sens commun. En effet,

Il s'agit, lors de l'introduction d'une nouvelle idée, de chercher à ce que la progression des étapes qui permettent d'y arriver soient systématiquement, dans la mesure du possible ancrée à des faits ou significations partagés par le sens commun. C'est-à-dire en particulier rattachée au sens des mots dans leur usage le plus courant ou le plus intuitif, partagé par la grande majorité,

indépendamment de la connaissance du vocabulaire scientifique. (Maron, 2017, p. 16)

Maron justifie cette approche par le fait que, fondamentalement, nous vivons dans le même monde que nos apprenants. Il s'appuie pour cela sur les propos de Popper (1999) :

La science, la philosophie, la pensée rationnelle, toutes doivent partir du sens commun. Non pas, peut-être, que le sens commun soit un point de départ solide : le terme sens commun que j'utilise ici est fort vague ; mais parce qu'il traduit une chose vague et changeante, les instincts ou opinions de certains hommes, souvent adéquats et vrais et souvent aussi inadéquats et faux. Comment une chose aussi vague que le sens commun peut-elle nous fournir un point de départ ? Je répondrai : parce que nous ne voulons ni n'essayons de construire comme le tentèrent Descartes ou Spinoza, ou Lockes, Berkeley ou Kant, un système solide sur ces fondations. Chacune de nos multiples affirmations de sens commun qu'on pourrait encore appeler notre connaissance d'arrière-plan sur laquelle nous nous basons peut être mise en question et critiquée à tout instant ; souvent de telles affirmations sont critiquées avec succès et rejetées comme celle-ci par exemple, que la terre est plate. Dans un tel cas, ou bien le sens commun est modifié par la correction, ou bien il est dépassé et remplacé par une théorie, qui, peut, pour un temps plus ou moins long, paraître plus ou moins délirante à certains. Si la compréhension d'une telle théorie suppose trop d'instruction, elle peut même ne jamais parvenir à être intégrée par le sens commun. Mais alors, on peut exiger que nous tentions de nous rapprocher au plus près de l'idéal : toute science et toute philosophie, n'est autre que du sens commun éclairé. Nous partons donc d'un point fort vague, et nous construisons sur des fondations peu sûres. Mais nous pouvons progresser : nous pouvons quelquefois, suite à une critique, constater que nous nous trompions : nous pouvons apprendre de nos erreurs, du fait que nous nous rendons compte de ce que nous avons commis une erreur. (Popper, 1999)

Ces propos sont d'autant plus pertinents qu'ils mettent en exergue le caractère provisoire des connaissances, qui tendent à être modifiés ou remplacés au fil des découvertes. Cet aspect est donc approprié dans la démarche de reconstruction de la théorie newtonienne envisagée par Maron (2017).

Bien plus encore, le cheminement allant du raisonnement du sens commun au raisonnement scientifique induit de considérer également une transformation du langage. En effet, par la même occasion, il s'agit de partir du langage courant pour un langage scientifique, par un processus d'acculturation. Maron se positionne dans la perspective où il n'y'a pas de rupture brusque entre le langage courant et le langage scientifique, mais une sorte de transformation. Il l'atteste d'ailleurs par ces propos de Brossard :

...De même, c'est en prenant appui sur les concepts quotidiens, que l'enseignant peut introduire auprès des élèves les concepts scientifiques et cela demeure vrai même lorsque les conceptions spontanées font obstacles (le cas le plus fréquent) à l'acquisition des concepts scientifiques. Les concepts spontanés vont donc être des supports pour l'appropriation des concepts scientifiques, mais des supports qui peuvent être tout à la fois des obstacles. (Brossard, 2008, pp. 76-77)

#### ➤ **A propos des forces en rapport avec le mouvement**

Maron (2017) reprend les idées des apprenants concernant les forces et le mouvement qui ont été catégorisées d'une part par Viennot (1978) et d'autre part par Halloun et Hestenes (1985). Il s'agit précisément des raisonnements suivants :

- Penser la force comme cause du mouvement, dans la direction de celui-ci, intuitivement associé à la vitesse. (Une force vers le haut pour un mouvement vers le haut). Ce raisonnement entraîne également le fait de penser qu'un mouvement à vitesse constante nécessite une force constante et un mouvement dont la vitesse augmente nécessite une force qui augmente.
- La tendance à aller chercher une cause dans le passé, quand les forces connues ne semblent pas compatibles avec le mouvement. Ainsi, comme le poids est dirigé vers le bas, il semble pour les apprenants, incompatible avec un mouvement vers le haut. Il faut alors chercher une autre explication : le mouvement vers le haut est dû à la force qu'a communiqué le lanceur à l'objet qui se déplace.
- Penser la force comme une quantité que possède un objet. Cette force peut être transmise, stockée et s'épuiser.

De ces idées premières des apprenants, nous allons nous appesantir davantage sur la deuxième parce qu'elle implique que, le poids comme force serait difficilement

conceptualisé par les apprenants dans la mesure où ils ne seront pas capables d'accepter son existence dans le cas d'un mouvement vertical vers le haut. Maron l'atteste d'ailleurs lorsqu'il affirme que « *un premier constat unanimement partagé est que ces tendances restent très présentes même après enseignement.* » (Maron, 2017, p. 64) Viennot partage également cette pensée : « *Savoirs appris et raisonnement naturel peuvent coexister, se réservant chacun des lieux d'exercices différents. Il en résulte beaucoup d'ennuis en cours d'apprentissage et une maîtrise incertaine en fin de compte.* » (Viennot, 1996, p. 13)

A partir des idées premières ainsi relevés, Maron (2017) identifie trois problèmes majeurs d'apprentissage. Il s'agit de :

- l'ambiguïté de la notion de causalité,
- la coexistence du sens commun et du sens physique,
- la non évidence de l'attraction terrestre.

Concernant le problème de la non évidence de l'attraction terrestre, l'auteur justifie cette difficulté par le fait que le plus souvent l'idée de l'attraction terrestre est présentée aux apprenants comme un fait, sans considérer qu'il s'agisse d'une interprétation très éloignée des observations quotidiennes.

#### ➤ **A propos de la gravitation**

Les principales idées du sens commun relatives à la gravitation chez des apprenants de différents niveaux scolaires ont été répertoriées par Kavanagh et Sneider (2006). Il s'agit des conceptions selon lesquelles :

- les objets en orbite n'ont pas de poids, donc la gravité ne les affecte pas ;
- Il n'y'a pas de gravité dans l'espace ;
- la gravité nécessite la présence de l'air ;
- la force de gravité diminue très rapidement quand l'altitude augmente.

De ces conceptions erronés Maron (2017) stipule que les problème d'apprentissage qui en résulte est la distinction entre les phénomènes sur la Terre et dans l'espace.

Le premier niveau de conception rencontré chez les élèves n'est pas très éloigné des conceptions pré-newtonienne selon lesquelles les lois de la nature étaient différentes pour le ciel et pour la terre. Il leur suffit alors d'énoncer que les astronautes sont « dans l'espace » et tout est dit. La gravitation universelle du cours de physique s'arrête aux portes de « l'Espace... » : on flotte parce qu'on est dans l'Espace. (Launer, 2014)

Les séquences d'enseignement proposées par Maron (2017) sont des propositions de présentation de contenus de manière essentiellement expositives avant d'être complétées par des activités proposées aux élèves dans l'intention d'analyser la portée de ces séquences d'enseignement. Les informations sur la perception de la séquence par les élèves ont été recueillies à trois temps différents : pendant le cours (à chaud), à la suite du cours via un questionnaire et à posteriori de la synthèse écrite du cours.

L'échantillon d'étude est constitué par les étudiants volontaires de première année université et les élèves volontaires de première ou terminale S ( qui n'ont pas la physique comme matière principale).

Il ressort des statistiques que les élèves affirment mieux comprendre les fondements de la théorie newtonnienne par l'approche utilisée. L'auteur conclut donc que l'enseignement par une approche historique et épistémologique du concept mis en jeu est favorable à une meilleure conceptualisation par les apprenants.

Les différents travaux sus-cités nous permettent de comprendre que les élèves qui peuplent les classes de troisième, âgés en moyenne de 13-15 ans ont sur le plan cognitif, déjà acquis les éléments nécessaires à la construction du concept de poids d'un corps, en particulier la conservation de la substance au cours de différentes transformations physiques.

Cependant, ils mentionnent le fait que les élèves français de 11-12 ans ont des difficultés à différencier le poids de la masse. Cette difficulté émerge également des travaux de (Givry, 2003) qui montrent que certains élèves des classes de troisième et de Terminale utilisent le concept de masse gravitationnelle à la place de celui de masse inertielle. Par ailleurs, s'intéressant à la chute des corps, Baldy et Aubert (2005) montrent que bon nombre d'élèves français de la classe de troisième justifient la chute des corps sur la Terre par la présence d'une atmosphère qui exercent une force sur ces derniers. Cette justification montre à suffisance que certaines conceptions des apprenants sur le poids d'un corps restent erronées. Notre travail s'inscrit dans le cadre du recueil des différentes conceptions du poids d'un corps chez les

apprenants camerounais des classes de troisième, afin de relever les obstacles liés à la construction de ce concept.

## **2. Etude historique et épistémologique du concept de poids d'un corps**

### **2.1. Aristote (384-322 av J-C.): La tendance naturelle des corps lourds.**

Depuis des millénaires, l'Homme inspiré soit par les besoins de la vie, soit par la curiosité explore le monde et met sur pied des instruments relativement sophistiqués. Chez l'Homme du néolithique, l'écriture n'existe pas encore, pourtant il est appelé à évaluer des quantités lors des trocs. On assiste ainsi à la naissance des premières balances pour évaluer les quantités des substances. A cette époque, les découvertes sont guidées par l'expérience première et la plupart des explications relèvent de l'animisme.

Dans l'antiquité, Aristote s'intéresse à la chute des corps et pense que ce phénomène est intimement lié à l'organisation du cosmos, à sa structure, à son ordre. En effet, pour ce dernier, la Terre est sphérique et occupe le centre de l'univers. (Deparis, 2011)<sup>6</sup>. Le monde est séparé en deux parties : le monde en deçà de l'orbite lunaire (sublunaire) et le monde au-delà de l'orbite lunaire (supralunaire). Le monde sublunaire est constitué de quatre éléments : la terre, l'eau, l'air et le feu, et tous les corps qui existent sont un mélange en proportions différentes de ces quatre éléments. Le monde supralunaire quant à lui est rempli d'un cinquième élément ou « quintessence » : l'éther.

Dans le domaine sublunaire, chaque élément possède un lieu naturel dans lequel il doit demeurer. De ce fait, la Terre occupe la position la plus basse, l'air est plus près du feu et l'eau plus près de la Terre. Chaque élément possède un mouvement naturel de translation rectiligne par lequel il regagne son lieu naturel lorsqu'il en a été séparé. Les lourds (la terre et l'eau) vont vers le centre de la Terre, et les légers (l'air et le feu) vont vers la périphérie du monde sublunaire. La Terre occupe le centre de l'univers, non par accident mais par nécessité, parce que le centre de l'univers est le lieu naturel des corps pesants : *« et si l'on déplaçait la Terre, et qu'on la mit là où est maintenant la Lune, chacune des parties qui composent la Terre ne se porterait pas vers la lune, mais elles se porteraient là où elles se portent maintenant (vers le centre de l'univers). »* (Durand, 1866)

---

<sup>6</sup> Consulté le 04 juillet 2022

Aristote conçoit le poids comme une propriété constitutive de certains corps (les lourds) qui leur permettent de regagner leur lieu naturel (la Terre), pour rétablir à chaque instant la disposition naturelle et l'ordre du monde. Ainsi, pour la pensée scolastique gouvernée par les enseignements d'Aristote, le poids est une qualité intrinsèque de la matière, laquelle est par nature attirée vers le bas parce que c'est son lieu de repos : mais c'est une propriété des seuls corps lourds susceptibles de chuter. (Paty, 1999). Les corps tombent avec une vitesse proportionnelle à leur masse ; plus un corps sera lourd et plus rapide sera sa chute.

Cette conception est celle qui prévaut durant plusieurs siècles jusqu'aux travaux de Newton, comme l'affirme Barthélemy (2004) :

*Avant Newton, « poids » pouvait servir à désigner une qualité (un grave est un corps doué de poids), le corps pesant lui-même (les poids d'une horloge), ainsi qu'une grandeur caractérisant ce dernier (le poids d'un corps se mesure en livres). La notion présentait un aspect statique : l'équilibre de la balance ; et un aspect dynamique : la propension à descendre. La gravité, ou pesanteur, était une qualité ; c'était le fait pour un corps d'être lourd. On la considérait volontiers comme la cause de la descente des corps la possédant. P.138*

Les concepts de poids, gravité et de pesanteur pouvaient être utilisés indifféremment pour justifier ou expliquer la chute des corps sur la Terre.

## **2.2. Nicolas Copernic (1473-1543) : les gravités planétaires**

Copernic bouleverse la vision du monde telle que proposée par Aristote. En effet, il réfute le géocentrisme et affirme que c'est le Soleil, bien plus gros et plus lumineux que la Terre qui occupe le centre de monde.

Compte tenu du fait que la théorie d'Aristote repose sur la position centrale de la Terre dans l'univers, s'il arrivait que la Terre ne coïncide plus avec le centre de l'univers, alors les corps lourds ne se déplaceraient plus vers elle. Copernic propose d'étendre la sphéricité de la Terre à tous les autres corps célestes. Il existe donc plusieurs gravités, vers le centre de chaque astre. Il conçoit la gravité comme la tendance d'une partie séparée d'une planète à rejoindre cette planète et à s'y réunir ; les parties terrestres tendent vers la Terre, les lunaires vers la Lune. Ainsi, si une partie de la Terre était transportée et placée dans le voisinage de la Lune, elle retomberait vers la Terre et non vers la Lune, pourtant plus proche. Notons que Copernic attribue cette attraction à une divinité. Copernic écrit d'ailleurs à ce sujet :

*Quant à moi, je considère que la gravité n'est rien d'autre qu'un certain désir naturel que la providence divine de l'artisan de toutes choses a implanté dans les parties pour qu'elles apportent la totalité dans l'unité en s'unissant en forme de globe. Il est vraisemblable que cette disposition se trouve aussi dans le Soleil, la lune et les autres brillantes planètes pour que, grâce à son action, elles persistent dans cette sphéricité qui les rend visibles, tout en accomplissant néanmoins de bien des manières leurs circuits. (Koyré, 1968)*

### **2.3. Johannes Kepler (1571-1630): l'attraction par un corps apparenté**

Kepler intègre l'idée d'Aristote selon laquelle le corps le plus lourd a tendance à se placer sous le moins lourd. Cependant, il rejette l'idée de légèreté émise par Aristote et selon laquelle les corps légers s'élèvent pour rejoindre leur milieu naturel. Il affirme que les mouvements vers le bas ou vers le haut ont une seule et même cause. En effet, contrairement à Aristote, il explique que certains corps montent, non pas parce qu'ils tendent à rejoindre leur milieu naturel, mais parce qu'ils sont chassés vers le haut par d'autres corps plus lourds. Il écrit à ce sujet :

*L'action du feu ne consiste pas à gagner la surface qui termine le Monde, mais à fuir le centre ; non pas le centre de l'univers, mais le centre de la Terre ; et ce centre non pas en tant que point, mais en tant qu'il est au milieu d'un corps, lequel corps est très opposé à la nature du feu, qui désire se dilater ; je dirai plus la flamme ne fuit pas, mais elle est chassée par l'air plus lourd comme une vessie gonflée le serait par l'eau. (Duhem, 2007, p. 187)*

Kepler revoit la conception aristotélicienne de la gravité et, partant de l'analogie à l'attraction magnétique, il considère la gravité comme une attraction par un corps apparenté. Il souligne donc le caractère actif de la gravité, qui n'est plus une tendance naturelle mais une attraction mutuelle entre deux corps semblables. Kepler soutient donc l'attraction mutuelle entre deux corps apparentés, et affirme que cette attraction est proportionnelle à la grandeur (masse) des corps respectifs.

*La gravité est une disposition corporelle réciproque entre des corps apparentés pour s'unir ou se conjoindre (à cet ordre des choses appartient aussi la faculté magnétique) en sorte que la terre tire la pierre beaucoup plus que la pierre ne tend vers la Terre. Les corps lourds (surtout si nous plaçons la Terre au centre*

*du monde) ne sont pas portés vers le centre du monde comme centre du monde, mais comme centre d'un corps apparenté, c'est-à-dire la Terre. C'est pourquoi où que la Terre soit placée, ou bien qu'elle se transporte par sa puissance animale, les corps lourds sont toujours portés vers elle. (Koyré, 1965, p. 211)*

Pour lui, la gravitation n'est donc pas universelle. Elle a lieu entre une pierre et la Terre, entre la Terre et la Lune mais pas entre la Terre et les autres planètes, ni entre les planètes et le Soleil, qui n'ont rien de semblables.

#### **2.4. Galilée (1564-1642) : de la gravité nous ne connaissons que le nom**

En observant à l'aide d'une lunette astronomique, Galilée découvre l'existence des satellites et démontre que tout ne tourne pas autour de la Terre. Il déconstruit ainsi toute la théorie d'Aristote sur la gravitation. En effet, Galilée rejette également la conception de Kepler de la gravité car pour lui, la Lune ne saurait être attirée par la Terre. En effet, admettre un tel fait c'est pour Galilée, admettre la présence d'un phénomène occulte (l'attraction), inconvenant pour un esprit rationnel. Il adhère cependant à l'idée de Copernic c'est-à-dire à l'attraction entre corps apparentés.

*Les parties de la Terre se meuvent non parce qu'elles tendent vers le centre du monde, mais pour se réunir avec leur tout, et que c'est pour cela qu'elles ont une inclinaison naturelle vers le centre du globe terrestre, en vertu de laquelle elles conspirent à former et à conserver ce globe(...) Si de ce que toutes les parties de la Terre s'accordent entre elles et conspirent pour former leur tout, il résulte qu'elles y concourent toutes avec une inclinaison égale, et qu'elles composent une sphère pour s'unir le plus possible entre elles, pourquoi ne devrions-nous pas alors croire aussi que, si la lune, le soleil et les autres corps du monde, ont eux également une forme ronde, c'est tout simplement parce que leur instinct concorde et que toutes les parties qui les composent concourent naturellement ? Qu'une de leurs parties, par une quelconque violence, soit séparée de son tout, n'est-il pas raisonnable de croire qu'elle y retourne spontanément en vertu d'un instinct nature ? (Galilée, 1992, p. 127)*

Galilée nous fait cependant remarquer que cette attraction est due à une vertu qui nous reste inaccessible, dont nous ne connaissons que le nom. Il ne cherche pas ce qu'est la gravité, il cherche quels sont ses effets. (Deparis, 2011)<sup>7</sup>

## **2.5. René Descartes (1596-1650) : La pression des tourbillons**

Descartes propose une nouvelle vision du cosmos. En effet, le monde imaginé par ce dernier est infini, sans vide, en constant mouvement et exclusivement composé de trois éléments. Le premier élément est l'élément le plus subtil, le plus pénétrant et le plus agité qui soit. Le deuxième et le troisième élément sont de plus en plus grossiers et de moins en moins rapides. Ainsi, les corps lumineux (Soleil et étoiles) sont uniquement composés du premier élément, les corps transparents (cieux) sont constitués des deux premiers, et les corps obscurs (Terre et planètes) des trois entièrement mêlés. Pour Descartes, le vide n'existe pas, dès qu'il y'a une étendue, il y'a nécessairement une substance qui la comble. De ce fait, l'espace entre le Soleil et les planètes est ainsi entièrement rempli des deux premiers éléments et organisé d'énormes tourbillons imbriqués les uns dans les autres. Le tourbillon principal est mis en mouvement par la rotation propre du soleil, qui en occupe le centre, et emporte les différentes planètes sur leurs orbites. Pour Descartes, rien ne peut se déplacer sans être poussé ou tiré ; pour connaître la loi d'un phénomène, il faut d'abord en comprendre la cause. Toute chose est régie par les seules lois du mouvement.

Tout comme Copernic et Kepler, Descartes affirme que la gravité est propre à chaque astre. Elle résulte d'une sorte de pression exercée sur les corps par la matière des tourbillons. Les corps réagissent en effet différemment à la force centrifuge du mouvement tourbillonnaire suivant leur composition. Plus ils contiennent des parts importantes du deuxième élément (l'air en contient plus que l'eau et l'eau plus que la terre), plus ils répondent facilement à la force centrifuge, chassant les autres corps vers le bas. Descartes expose sa théorie en ces termes :

*Je désire maintenant que vous considériez quelle est la pesanteur de cette Terre, c'est-à-dire la force qui unit toutes ces parties, et qui fait qu'elles tendent toutes vers son centre, chacune plus ou moins, selon qu'elles sont plus ou moins grosses et solides ; laquelle n'est autre, et ne consiste qu'en ce que les parties du petit ciel qui l'environne, tournant beaucoup plus vite que les siennes autour*

---

<sup>7</sup> Consulté le 04 juillet 2022

*de son centre, tendent aussi avec plus de force à s'en éloigner, et par conséquent les y repoussent.* (Verdet, 1993, pp. 406-407)

La gravité résulte donc d'un processus local de légèreté relative.

## **2.6. Robert Hooke (1635-1703) : l'intuition de la gravité universelle**

En 1666, Hooke, dans le souci d'expliquer les mouvements planétaires, et en particulier la trajectoire elliptique des planètes autour du Soleil, est contraint de supposer une propriété attractive du corps placé au centre. Il écrit à ce sujet :

Pour expliquer le mouvement elliptique des planètes, je ne peux imaginer aucune autre cause vraisemblable en dehors des deux que voici : la première peut résulter d'une densité inégale du milieu (éther) à travers lequel le corps planétaire va être mû...Mais la seconde cause de l'inflexion d'un mouvement droit en une courbe peut venir d'une propriété attractive du corps placé au centre, par quoi il s'efforce continuellement d'attirer ou de tirer vers lui-même. Car si l'on suppose un tel principe, on peut, semble-t-il, expliquer tous les phénomènes des planètes par le principe commun aux mouvements mécaniques. (Koyré, 1965, p. 216)

Par la suite, en 1670, il développe son idée de la propriété attractive des corps, fondée sur trois propositions :

- Tous les corps célestes, sans en excepter aucun, ont une attraction ou une gravitation vers leur propre centre, par laquelle, non seulement ils attirent leurs propres parties et les empêchent de s'écarter, comme nous le voyons pour la Terre, mais encore ils attirent tous les autres corps célestes qui sont dans la sphère de leur activité ; que, par conséquent, le Soleil et la Lune ont une influence sur le corps et le mouvement de la Terre, et la Terre une influence sur le Soleil et la Lune, mais aussi que Mercure, Venus, Mars et Saturne ont par leur force attractive une influence considérable sur le mouvement de la Terre, comme aussi l'attraction réciproque de la Terre a une influence considérable sur le mouvement de ces planètes.
- Tous les corps qui ont reçu un mouvement simple et direct continuent à se mouvoir en ligne droite, jusqu'à ce que par une autre force effective, ils en soient

détournés et forcés à décrire un cercle, une ellipse ou quel qu'autre courbe plus compliquée.

- Ces forces attractives sont d'autant plus puissantes dans leur action que le corps sur lequel elles agissent est plus près de leurs propres centres.

Hooke introduit ainsi les premières idées sur la gravitation universelle.

## **2.7. Isaac Newton (1642-1727) : la modélisation de la gravitation universelle**

Hooke ayant déjà émis l'idée d'une gravitation universelle, tout le mérite de Newton lui vient de ses démonstrations mathématiques et des conséquences qu'il en a tiré.

Partant du mouvement des planètes, Newton cherche à évaluer l'intensité de la force qui permet aux planètes de se maintenir sur leurs orbites. Se servant de la troisième loi de Kepler et de l'analyse du mouvement circulaire donné par Huygens en 1673, il découvre que la loi d'attraction des planètes est en  $\frac{1}{r^2}$  (r étant la distance au Soleil). Il démontre par la suite que la force qui retient la Lune sur son orbite est la même que celle qui fait tomber une pomme à la surface de la Terre. Cette démonstration conduit à l'unification de la mécanique terrestre et la mécanique céleste. Newton démontre ainsi, comme l'avait prédit Kepler que l'attraction de la Terre s'étend jusqu'à l'orbite lunaire. Il étend donc cette attraction à tout le système solaire en postulant que l'attraction est universelle : tous les corps célestes sans exception attirent leurs propres parties et s'attirent mutuellement. (Deparis, 2011)

Newton démontre également que l'attraction d'une sphère à sa surface est la même que si toute la masse était concentrée en son centre.

Par la suite, Newton, sur la base de considérations expérimentales, considère le poids non seulement comme un corps pesant mais aussi comme une force imprimée à un corps, d'où lui vient sa propension au mouvement vers le bas. En effet, Galilée (1564-1642) a adopté une approche hypothético-déductive qui consiste à partir de l'expérience pour ensuite formuler un ensemble de lois décrivant la chute des corps. Ce dernier s'inspire de trois expériences, pour montrer les limites de la conception d'Aristote concernant la chute des corps. Ces lois ont été formulées avant d'être expérimentées. Premièrement, l'expérience du clocher de Pise : En faisant des expériences répétées du haut du clocher de Pise Galilée montre que des corps de même matière, mais de poids (entendus comme masses) différents tombent avec la même vitesse.

Ensuite l'expérience du plan incliné : Galilée se sert des objets en mouvement sur un plan incliné pour montrer qu'un corps pesant se porte en bas avec autant de force qu'il en faudrait pour le tirer vers le haut, en d'autres termes, qu'il descend avec autant de force qu'il en faudrait pour le tirer vers le haut. Il démontre par la suite que le corps pesant descend suivant la verticale avec une force qui est plus grande que celle avec laquelle il descend sur un plan incliné, dans la proportion où la ligne de plus grande pente du plan est plus longue que la verticale.

Pour Galilée, la nature nous offre dans la chute des corps pesants une certaine espèce de mouvement accéléré et il émet le postulat suivant : Les vitesses acquises par un même mobile sur différents plans inclinés sont égales si la hauteur de ces plans est la même.

Enfin, l'expérience du pendule : Galilée, âgé d'environ 20ans, remarque qu'une lampe écartée de la verticale décrit toujours des arcs de différentes longueurs dans des temps toujours égaux. Galilée induit donc le postulat suivant : **en général, toute vitesse acquise en descendant un arc de cercle est égale à celle qui peut faire remonter au même mobile le même arc de cercle.**

La première expérience permet à Galilée de remettre en question la conception aristotélicienne selon laquelle plus un corps est lourd et plus rapide sera sa chute, notamment en montrant que dans le vide, des corps faits de la même matière qui tombent de la même hauteur acquièrent la même accélération.

Par ailleurs, en se basant sur l'expérience de la balance, Galilée conçoit l'idée d'une résistance interne au changement de mouvement. En effet, pour lui, le poids (entendu comme masse) du corps sur l'un des plateaux d'une balance, s'oppose à la sollicitation vers le haut qu'il subit de la part de l'autre. Cette idée le conduit à formuler le principe d'inertie pour le mouvement dans le plan horizontal. Cependant, même chez Galilée, le poids et par conséquent la gravité<sup>8</sup> reste une grandeur intrinsèque, caractéristique d'un corps.

A partir des expériences de Galilée qui montrent que la chute des corps n'est pas uniforme, Newton déduit donc qu'il doit exister une force qui régit cette chute. Cette force, le poids ne peut donc plus être considérée comme une grandeur servant à caractériser un corps. Il propose donc de distinguer le poids de la masse, la masse étant une grandeur intrinsèque, et le poids une sollicitation extérieure. Il définit la masse comme la « *quantité de matière* » donnée par « *la réunion de la densité et du volume* » (entendu comme le produit des deux) (Vilain, 1994)

---

<sup>8</sup> Pour Galilée, la gravité représente cette force qui permet à la Terre d'attirer les corps vers elle.

et formalise également le concept de force d'inertie), inhérente au corps et qui désigne le pouvoir de ce corps de résister au changement d'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite. Ce concept lui permet ainsi d'énoncer le principe d'inertie, préalablement introduit par Descartes uniquement dans une perspective géométrique, sans appel à l'inertie comme résistance au mouvement.

Pour Newton, la détermination de la masse peut se faire à partir du poids car des corps de même masse pris en un même lieu ont le même poids. A l'aide d'expériences sur des pendules, il établit la proportionnalité du poids ( $p$ ) et de la masse ( $m$ ) à une hauteur donnée. Partant de la constance de l'accélération due à la gravité, Newton a mené son expérimentation avec des pendules de mêmes poids, de même longueur mais constitués par des substances différentes (or, argent, plomb, verre, sable, sel, bois, eau et froment) pour montrer la constance de la période des oscillations. Il a abouti à la conclusion suivante : pour deux corps de masses  $m$  et  $m'$ , de poids respectifs  $P$  et  $P'$ ,  $\frac{P}{m} = \frac{P'}{m'}$  ;  $P = mg$ ,  $g$  étant l'accélération due à la gravité, indépendante de la forme, de la nature et de la masse du corps. La masse est donc invariable, mais le poids varie en fonction de la distance au centre d'attraction.

Compte tenu du fait que tous les corps possèdent une masse, ils ont donc en propre cette capacité de pouvoir s'attirer mutuellement. Newton étend donc la gravitation à tous les corps et érige le principe de gravitation universelle « *Tous les corps ont en propre un pouvoir de gravité, proportionnel aux quantités de matière que chacun d'eux contient* ». C'est-à-dire que la force de gravitation de chaque objet est proportionnel à sa masse. Entre deux corps de masses  $m$  et  $m'$  séparés par une distance  $d$ , elle est donnée par l'expression :

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

Où  $G$  représente la constante de gravitation universelle dont la valeur fut déterminée par Cavendish en 1798. La loi de gravitation universelle a permis de comprendre plusieurs phénomènes, à l'instar de : l'irrégularité et l'instabilité de l'orbite décrite par la Lune autour de la Terre, les marées océaniques, la forme légèrement aplatie de la Terre, la variation de la pesanteur avec la latitude et la variation de direction de l'axe de rotation de la Terre. Mais malgré ce succès, elle se heurte cependant à l'incapacité de Newton à pouvoir expliquer l'origine de la gravitation. En 1692, il écrit :

*Il est inconcevable que la matière brute inanimée, sans la médiation de quelque chose d'autre qui n'est pas matériel, puisse agir sur une autre matière et l'affecter sans contact mutuel, comme cela devrait si la gravitation, dans le sens*

*de Epicure, lui était essentielle et inhérente. Et cela est une raison pour laquelle je désirais que vous ne m'attribuez pas la gravité innée. Que la gravité soit innée, inhérente et essentielle à la matière, en sorte qu'un corps puisse agir sur un autre à distance à travers le vide, sans médiation d'autre chose, par quoi et à travers quoi leur action et force puisse être communiquées de l'un à l'autre est pour moi une absurdité dont je crois qu'aucun homme, ayant la faculté de raisonner de façon compétente dans les matières philosophiques, puisse jamais se rendre coupable. (Koyré, 2003, p. 166)*

Newton renonce à chercher ce qu'est la gravité, à spéculer sur sa vraie nature, pour regarder uniquement la manière dont elle agit et la loi mathématique qu'elle suit. Il cherche à découvrir le comment et non le pourquoi, à établir les lois et non les causes. Il s'exprime en ces termes :

*J'ai expliqué jusqu'ici les phénomènes célestes et ceux de la mer par la force de gravitation, mais je n'ai assigné nulle part la cause de la gravitation...Je n'ai pas pu encore parvenir à déduire des phénomènes la raison de ces propriétés de la gravité, et je n'imagine point d'hypothèse. (Newton, 1756, pp. 178-179)*

## **2.8. Christian Huygens (1629-1695) : l'explication mécanique de la gravité**

Tout comme Descartes, Huygens adhère à une explication mécaniste du monde, où tous les phénomènes sont régis par les lois du mouvement ; ce qui l'amène à réfuter la conception de la gravité selon Newton. En effet, selon lui, l'attraction newtonienne de particule à particule implique une action à distance à travers le vide qui n'est fondée sur aucun principe de mécanique, sur aucune règle de mouvement. Pour lui, accepter la qualité attractive de la matière c'est renoncer à une certaine forme d'explication du monde, c'est introduire des qualités mystérieuses là où chaque phénomène avait avec la physique de Descartes une cause précise, palpable, c'est accepter de ne s'intéresser qu'aux effets sans comprendre les causes.

Huygens propose une autre conception de la gravité. Pour lui, la gravité peut être conçue comme l'effet d'une action extérieure et expliquée en termes de mouvement. Il adhère partiellement à la conception cartésienne des tourbillons, et pour lui, les corps tombent sur la Terre parce qu'ils sont pressés et poussés par d'autres corps et plus précisément par le mouvement circulaire de la matière subtile. Il écrit :

*Il n'est pas difficile maintenant d'expliquer comment par ce mouvement la pesanteur est produite. Car si parmi la matière fluide, qui tourne dans l'espace que nous avons supposé, il se rencontre des parties beaucoup plus grosses que celles qui la composent, ou des corps faits d'un amas de petites particules accrochées ensemble, et que ces corps ne suivent pas le mouvement rapide de ladite matière fluide (l'éther), ils seront nécessairement poussés vers le centre du mouvement, et y formeront le centre du globe Terrestre...C'est donc en cela que consiste vraisemblablement la pesanteur des corps : laquelle on peut dire, que c'est l'effort que fait pousser en sa place les corps qui ne suivent pas ce mouvement. (Huygens, 1992, pp. 188-189)*

Huygens cependant suppose, tout comme Newton que la gravité est à la surface de la Terre proportionnelle au carré de la distance au centre mais ne dépend pas de la forme de la planète. Les conceptions de Huygens et Newton sont strictement équivalentes pour la mécanique céleste car toutes les deux postulent des lois en  $1/r^2$  loin du soleil et des planètes, mais elles divergent pour ce qui concerne la forme de la Terre et la loi de variation de la gravité à sa surface.

La conception de Huygens sera finalement rejetée, après que les travaux des successeurs de Newton à l'instar de Maupertuis, Voltaire, Bernouilli aient confirmé un bon nombre de résultats de Newton, en particulier la forme de la Terre.

## **2.9. Faraday et le champ de gravitation (1791-1867)**

Faraday ne conçoit pas la notion d'action à distance, qui lui paraît inacceptable. Il s'interroge sur comment une masse peut agir immédiatement là où elle n'est pas. Face à cette interrogation, il considère un corps, le Soleil par exemple, seul dans l'espace. Dans ce cas, il n'y a pas d'attraction. Mais lorsque l'« on » place la Terre à la distance qui est la sienne du soleil, il apparaît directement la force de gravitation telle que conçue par Newton. Faraday émet donc l'hypothèse que la force de gravitation doit nécessairement exister avant, et que la présence de la Terre ne fait que la mettre en évidence.

A partir des propriétés magnétiques des aimants et des courants électriques qu'il étudie, il montre qu'un aimant isolé modifie les propriétés de l'espace qui l'entoure. Pour décrire cette modification, il introduit la notion de champ magnétique, puis fait l'analogie avec les forces gravitationnelles pour définir le champ gravitationnel. En réalité, le Soleil isolé crée un champ gravitationnel en chaque point de l'espace, que la terre par sa présence permet de mettre en évidence. Inversement, la terre crée elle-même un champ gravitationnel qui agit sur le Soleil.

Faraday propose donc une autre interprétation de la gravitation : l'attraction gravitationnelle peut être décomposée en deux processus bien distincts, n'affectant qu'un seul corps à la fois ; un processus actif lorsque chaque corps émet un champ gravitationnel qui ne dépend que de ses caractéristiques physiques et un processus passif, lorsque chaque corps subit non pas une force créée par un autre corps éloigné, mais réagit à l'influence d'un champ et subit une force qui dépend uniquement des propriétés de l'espace où il se trouve. Le corps qui subit l'attraction peut donc ignorer l'existence du deuxième corps, il ne fait que réagir à des conditions locales, régnant dans une région limitée de l'espace. Faraday aborde ainsi une étape importante dans la théorie de la gravitation. En effet, pour Newton, la force d'attraction imaginée ne concernait que les deux points où la matière était présente, mais Faraday montre qu'en présence d'une masse, c'est l'espace tout entier qui est sujet au champ gravitationnel, de sorte que la présence d'une autre masse ne fait que le mettre en évidence.

Avec Faraday, le problème s'est donc déplacé. (Deparis, 2011)<sup>9</sup> Il ne s'agit plus de comprendre comment une masse peut agir à distance sur une autre mais comment les propriétés de l'espace peuvent être modifiées par la matière.

## **2.10. La théorie de la gravitation selon Einstein : la courbure de l'espace-temps (1879-1955)**

En développant la théorie de la relativité restreinte en 1905, Einstein montre que, contrairement à ce que pensait Newton, le temps et l'espace sont relatifs, et changent suivant le mouvement de l'observateur. En effet, pour Newton, une horloge garderait le même rythme, qu'elle soit au repos ou en mouvement. Mais Einstein montre à partir de son postulat selon lequel la vitesse de la lumière est constante dans tous les référentiels, que plus le mouvement de l'horloge est rapide et se rapproche de la vitesse de la lumière et plus cette dernière ralentit et s'arrête si elle parvient à se mouvoir à la vitesse de la lumière. Le temps et l'espace sont désormais interdépendants et constituent ce que Einstein appelle l'espace-temps.

Avec le développement de la relativité générale en 1915, Einstein cherche à répondre à l'interrogation suscitée par l'approche gravitationnelle de Faraday à savoir quel est le support du champ gravitationnel. Son point de départ est le fait que tous les corps lâchés tombent avec la même accélération ; ce qui implique que la masse gravitationnelle définie par Newton dans la formule  $F = mg$  soit la même que la masse inertielle définie dans la seconde loi du

---

<sup>9</sup> Consulté le 30 Juin 2022

mouvement  $F = m_i a$ . L'identité des masses inertielle et gravitationnelle permet à Einstein de définir le principe d'équivalence : « *il n'est pas possible de distinguer au moyen de phénomènes quels qu'ils soient, un référentiel inertielle avec un champ gravitationnel uniforme d'un référentiel accéléré sans champ de gravitation* ». (DeParis, 2011, p. 9)

Einstein (1921) propose, avec une description mathématique, de concevoir la gravitation, non plus comme une force mais comme une structure inertielle de l'espace-temps. Un champ de gravitation, dû à la présence d'une masse, courbe l'espace mais aussi le temps, de sorte qu'un corps qui subit l'influence de ce champ suit alors librement ce qui se rapproche le plus d'une ligne droite dans un espace-temps courbe (une géodésique de l'espace-temps). La trajectoire ne dépendant que de la structure de l'espace-temps, deux corps de masses différentes auront donc le même mouvement de chute libre. Allant dans le même sens que Faraday, Einstein complète donc la pensée de ce dernier ; un corps n'est pas attiré à distance par un autre corps, mais se déplace librement dans un espace-temps courbé par les champs de gravitation.

La théorie d'Einstein et celle d'Aristote se rejoignent sur un aspect, celui qui conçoit le mouvement des corps comme des mouvements naturels qui existent sans aucune action pour les produire. C'est la théorie la plus récente sur le phénomène de gravitation.

### **2.11. Acception actuelle des concepts de masse et poids d'un corps**

La distinction du poids de la masse par Newton a été l'une des avancées majeures de la découverte en physique, car elle a permis d'ériger le principe d'attraction universelle permettant d'expliquer non seulement le mouvement des corps au voisinage de la terre mais aussi celui des astres et autres planètes. Cependant, la définition de la masse comme quantité de matière donnée par le produit de la densité par le volume a été qualifiée d'imprécise, car faisant appel implicitement à d'autres grandeurs et à des principes de la physique qui eux-mêmes la supposent.

De nos jours, le concept de masse a beaucoup évolué. En effet, avec le développement de la mécanique relativiste, Einstein (1905) montre que la masse n'est plus une donnée rigoureusement constante, mais une énergie susceptible de varier en fonction de la vitesse du corps considéré. Cette énergie est mise en exergue dans le principe d'équivalence masse-énergie traduit par la formule  $E = \gamma m C^2$ . Einstein établit ainsi une relation entre la masse relativiste et la masse newtonienne :

$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ ,  $m_0$  est la masse propre ou masse au repos : elle représente la masse d'inertie au sens de Newton.

Cependant, en mécanique classique, le concept de masse garde cette propriété d'invariance, mais Paty (1999) précise qu'il convient de distinguer la masse pesante et la masse d'inertie qui sont deux grandeurs dont la signification physique est bien différente. La masse pesante étant mise en œuvre dans la loi d'attraction gravitationnelle et la masse d'inertie représentant un simple coefficient des accélérations.

La gravité est la force d'attraction qui s'exerce entre deux masses. Elle est la composante principale de la pesanteur. Le champ de pesanteur est le champ attractif qui s'exerce sur tout corps doté d'une masse sur la Terre (ou sur un autre astre). (Lévy, 1988, p. 601). En d'autres termes, la pesanteur est la force d'attraction d'un corps céleste sur un objet massif proche. Il prend en compte non seulement la gravité mais également la force axifuge induite par la rotation propre de l'axe sur lui-même. La pesanteur à la surface de la Terre varie. Elle dépend en outre des facteurs suivants :

- La rotation terrestre : la rotation terrestre sur elle-même entraîne une correction consistant à ajouter à l'accélération de la gravité une accélération d'entraînement axifuge, dirigée perpendiculairement à l'axe des pôles et de module  $a = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot d$  avec  $T = 86164,1$  s et  $d$  la distance en mètres entre l'objet et l'axe de rotation de la Terre.
- La non sphéricité de la Terre : à cause de l'aplatissement de la Terre, l'accélération de la gravité varie avec la latitude ; elle est plus forte aux pôles qu'à l'équateur.
- L'altitude : Pour une variation d'altitude  $h$ , petite devant le rayon de la Terre, la variation relative de l'accélération de la gravité vaut  $\frac{-2h}{R}$
- Les écarts de densité du sous-sol : ils entraînent des variations locales de la gravité, mais qui restent encore difficiles à modéliser.
- Les forces de marée, notamment dues à la lune et au Soleil.
- Le mouvement du corps dans le repère terrestre : si un corps est en mouvement, il subit une accélération complémentaire dite accélération de Coriolis.

Pour les besoins de pratique, la conférence générale des poids et mesures<sup>10</sup> a défini en 1901) une valeur moyenne de l'accélération de la pesanteur terrestre.  $g \cong 9,81$  m/s<sup>2</sup>. Cette valeur

---

<sup>10</sup> Troisième conférence générale des poids et mesures, Paris, 1901, CR

correspond à la pesanteur sur un ellipsoïde idéal approchant le niveau de la mer et à *45° de latitude*.

Le concept de poids quant à lui est resté pour l'essentiel une manifestation de la mystérieuse attraction universelle. Selon Lévy (1988) « *Le poids est la force de la pesanteur, d'origine gravitationnelle et inertielle, exercée par exemple par la Terre sur un corps massif, en raison uniquement du voisinage de la Terre.* » P 623. Cette force est la résultante des effets dus à la gravité et à la force d'inertie d'entraînement due à la rotation de la Terre sur elle-même. Le poids est la force de la pesanteur. Il s'agit d'une grandeur variable, car il dépend de la position du point par rapport au centre de la terre. Il s'exerce sur toutes les parties de corps (action répartie) et est représenté par un segment fléché ayant pour origine le centre de gravité du corps considéré, orienté vers le centre d'attraction. Sa longueur est proportionnelle à l'intensité du poids.

Lorsqu'on prend en compte d'autres forces telles que la poussée d'Archimède, les autres forces dues à la gravitation, ou d'autres forces d'inertie, on parle du poids apparent.

## **6. Définition de quelques concepts clés de l'étude**

### **6.1. Concepts**

En sciences, les concepts sont des représentations mentales générales et abstraites permettant d'organiser et de simplifier les perceptions et les connaissances. (Thouin, Réaliser une recherche en didactique, 1953). Les concepts peuvent être à la fois scientifiques (employés par les physiciens par exemple dans le domaine de la physique), scolaires (un concept scientifique qui se retrouve sous une forme simplifiée dans un programme de formation), et quotidiens (un concept de la vie courante). Ainsi, le sens d'un concept dépend de la sphère de pratique dans laquelle il est employé. En didactique, les concepts s'inscrivent dans un champ conceptuel et une trame conceptuelle. Selon Vergnaud (1981), le champ conceptuel est un ensemble de situations, de formes langagières et d'invariants opératoires qui donnent du sens à des concepts scolaires. Les trames conceptuelles ou réseaux notionnels sont des diagrammes formés de figures géométriques reliées par des segments de droite ou des flèches qui illustrent les liens entre les concepts.

La formulation des concepts peut se faire à plusieurs niveaux, (Develay, 1991) dépendant particulièrement du public cible. Cette formulation tient en outre compte des aspects langagiers (terminologie adaptée pour définir le concept à plusieurs niveaux), psychogénétiques

(développement cognitif de chaque niveau) et épistémologiques (forme élaborée de l'activité scientifique correspondant au niveau).

De part, leurs origines, on distingue les concepts scientifiques et les concepts quotidiens. En effet, Yann Lhoste (2014), en reprenant certains travaux de Michel Brossard (2008) sur Vygotsky note que « *Vygotsky va établir que les concepts quotidiens et les concepts scientifiques se différencient par leurs lieux de naissance, leurs modes de formation, leurs trajectoires et leurs destinées* » P73. Lhoste (2014) propose une catégorisation faite par Vygostky illustrée par la figure

	<i>Concepts quotidiens</i>	<i>Concepts scientifiques</i>
<b>Contexte de formation</b>	Expérience quotidienne de l'enfant (292, 371)	Situations formelles d'apprentissage. C'est dans ces situations que les élèves sont confrontés aux savoirs scientifiques historiquement produits (291)
<b>Mode de formation</b>	Ils sont liés à des opérations de pensée non conscientes, au sens où l'attention n'est pas portée sur ces opérations de pensée, pour organiser l'expérience quotidienne (317, 364-365)	Ils naissent en collaboration entre le professeur et l'élève. Le professeur assure le déplacement des questions spontanées des élèves vers un questionnement pertinent par rapport aux domaines scientifiques étudiés (290, 355-356, 364-365)
<b>Caractéristiques</b>	Ils ont une portée locale, ils sont en relation instable et partielle entre eux (275, 318)  Difficile de conduire un raisonnement (une inférence réglée nécessite de pouvoir subsumer un concept sous un autre concept) (319)	Les concepts scientifiques sont organisés en système. Ils constituent un ensemble organisé de concepts portant sur un contenu spécifique, collectivement élaborés, contrôlés, ... (318)  Comme ils sont organisés en système, ils permettent de conduire des raisonnements <sup>158</sup> (318-320, 381-383, 403)
<b>Trajectoire</b>	Les concepts quotidiens se développent (280, 371-373)	Les concepts scientifiques ne sont pas acquis en une seule fois. Ils se développent de façon « souterraine » (280, 293, 348, 371-373)

*Figure 3: Concepts scientifiques et concepts quotidiens: une comparaison d'après Vygostky (1934/ 1997) Reproduit de Lhoste (2014,P123)*

Ces principales caractéristiques montrent que, contrairement aux concepts scientifiques qui sont le résultat d'un processus conscient de construction, les concepts quotidiens quant à eux sont spontanés, s'élaborent de façon inconsciente et ne permettent pas de conduire un raisonnement.

Le sens attribué au concept dans ce travail est celui d'une représentation abstraite à propos d'un objet qui lui-même peut être abstrait ou concret, et qui permet d'en organiser les connaissances. Nous nous plaçons dans une perspective où les apprenants étant toujours influencés par l'environnement, les concepts scientifiques et quotidiens cohabitent dans leur esprit.

## 6.2. Conception

### 6.2.1. Définition

Le terme conception a été proposé en 1990 par André Giordan pour remplacer celui de représentation qui restait assez difficile à définir et entraînait des confusions inhérentes à son utilisation dans différents champs. En effet, les recherches en didactique ont montré que les réponses erronées des apprenants ne sont pas toujours issues des lacunes ponctuelles mais témoignent de la présence chez les sujets de modèles explicatifs bien stables et profondément enfouis chez ces derniers. Ces modèles explicatifs appelés conceptions influencent les habitudes, les idées et même les façons de se comporter des apprenants. Ainsi, avant d'aborder un enseignement, les apprenants ont déjà un ensemble d'idées, les conceptions initiales sur le savoir qui va être enseigné, ce qui va influencer leur façon de percevoir le nouvel enseignement. En outre, pour Giordan et De Vecchi (1987), « *un apprenant n'est nullement un sac vide que l'on peut "remplir de connaissances", et encore moins un objet de cire conservant en mémoire les empreintes qu'on y a moulées* » P66. Ils précisent que l'apprenant serait plutôt :

Un organisme "acteur" [...] construisant au cours de son histoire sociale, au contact de l'enseignement, mais bien plus encore à travers toutes les informations médiatisées et les expériences de la vie quotidienne, une structure conceptuelle dans laquelle s'insèrent et s'organisent les connaissances appropriées et les opérations mentales maîtrisées. Cet assemblage est à la fois une structure d'accueil permettant d'assimiler ou non les informations nouvelles et un outil à partir duquel chacun va déterminer ses conduites et négocier ses actions. (Giordan & De Vecchi, 1987, p. 66)

Il en ressort que les conceptions résultent d'un processus de construction, fortement influencé par l'environnement de l'apprenant.

A propos des conceptions, Giordan écrit:

Une conception correspond à la structure de pensée sous-jacente qui est à l'origine de ce que l'élève pense, dit, écrit, ou dessine. Une conception n'est jamais gratuite, c'est le fruit de l'expérience antérieure de l'apprenant (qu'il soit enfant ou adulte). C'est à la fois sa grille de lecture, d'interprétation et de prévision de la réalité...Il ne peut comprendre le monde qu'à travers elle. (Giordan A. , 2008, p. 1)

Ce qui signifie que, pour accéder aux conceptions de l'apprenant, il faut l'amener à fournir une explication de ce qu'il donne comme réponse car en réalité, cette réponse n'est que le résultat de sa façon d'interpréter le monde.

C'est dans cette logique que nous emploierons le terme conception, pour faire référence au modèle explicatif utilisé par un individu pour comprendre et interpréter les phénomènes de son environnement. C'est l'idée que se fait un individu par rapport à un concept. Nous rejoignons par ailleurs Pierre Clément (2010) qui pense que les conceptions d'un sujet par rapport à un concept précis sont inférées à partir de plusieurs conceptions situées tirées chacune du raisonnement de ce sujet dans plusieurs situations se référant au concept mis en jeu.

### **6.2.2. Fonctionnement d'une conception**

Giordan (2008) propose de considérer une conception comme un ensemble d'éléments en interaction. Il pose :  $conception = f(PCORS)$  :

P représente le problème. C'est l'ensemble des questions plus ou moins explicites qui provoquent la mise en œuvre de la conception.

C représente le cadre de référence : c'est l'ensemble des conceptions ou connaissances déjà maîtrisées sur lesquelles s'appuie le sujet pour construire une nouvelle conception.

O représente les opérations mentales : c'est l'ensemble des opérations intellectuelles permettant à l'apprenant de mettre en relation les différents éléments du cadre de référence pour produire et utiliser la nouvelle conception.

R représente le réseau sémantique : c'est l'organisation interactive mise en place à partir du cadre de référence et des opérations mentales. Il représente le processus par lequel la conception acquiert un sens bien spécifique.

S : est le signifiant. C'est l'ensemble des signes et symboles nécessaires à la production et l'explicitation de la conception.

Pour construire une conception, tout doit donc partir d'une interrogation (problème), par rapport à laquelle l'apprenant prend appui sur d'autres idées déjà admises par ce dernier (cadre de référence) pour construire son raisonnement (opérations mentales) afin de produire du sens (réseau sémantique) et l'exprimer d'une certaine façon (à l'aide de signifiants).

### **6.2.3. Conceptions scientifiques et conceptions alternatives**

### **6.2.4. Origines des conceptions alternatives**

Les conceptions d'un sujet ont des origines diverses. Cormier (2014) a essayé de répertorier quelques sources possibles, pouvant expliquer les raisonnements sur lesquels les individus s'appuient pour expliquer ou comprendre des phénomènes. Tout d'abord, l'observation naïve du monde qui nous entoure est l'élément principal à la base de nos conceptions. Il s'agit là des données brutes, que nous fournissent nos sens, et donc des connaissances empiriques non questionnées, que l'on prend pour acquises comme étant l'ordre de fonctionnement du monde.

Ensuite, on peut noter le langage courant : il est très souvent la source des conceptions alternatives. En effet, des termes utilisés quotidiennement (dans un but bien précis) ont parfois des connotations bien différentes lorsqu'ils sont retrouvés dans le domaine scientifique. Ainsi, donc ils peuvent générer à la suite d'un enseignement des confusions inhérentes à leurs utilisations et opposer des résistances au savoir scientifique. Par ailleurs, le développement des sciences reposant sur des remises en cause permanente des théories plus anciennes, ces dernières peuvent constituer des conceptions alternatives dans la mesure où les anciennes étant peut-être plus simples et fortement ancrées, sont toujours utilisées même pour des phénomènes dont elles ne rendent pas compte. On a par exemple le fait de considérer que dans l'atome, les électrons gravitent autour du noyau.

Enfin, une autre origine des conceptions alternatives est l'enseignement. En outre, lors de l'enseignement, l'enseignant peut utiliser des analogies afin de faciliter la compréhension chez les apprenants. Mais ces analogies, peuvent amener les apprenants à utiliser des concepts incorrectement, au-delà de leurs domaines d'applicabilité. Un exemple classique concerne l'analogie hydraulique vastement employée comme analogie au circuit électrique, où le débit de l'eau dans un petit tuyau est comparé au courant, où la différence de pression avant et après la pompe est comparée à la différence de potentiel... Cette analogie trouve sa limite lorsqu'on parle de la différence entre circuits en parallèle et circuits en série : si on sépare le courant hydraulique, le débit diminuera dans les deux branches, pourtant les deux ampoules montées en parallèle brillent avec la même intensité que si une ampoule était branchée dans un circuit simple. Dans ce cas, l'analogie hydraulique pourrait pousser les apprenants à faire un raisonnement incorrect.

Il est également important de remarquer l'influence de la culture populaire, des films, de certains documentaires sur les conceptions.

Toutes ces conceptions alternatives, le plus souvent construites avant l'enseignement constitueront des freins, voire des obstacles pour l'acquisition d'un savoir scientifique, d'où l'importance de s'intéresser au concept d'obstacle.

### 6.3. Obstacle

La notion d'obstacle a été introduite par Bachelard (1938). En effet, pour ce dernier l'activité scientifique consiste essentiellement en un dépassement d'obstacles, qu'il nomme sur le vocable d'obstacles épistémologiques. Ces obstacles épistémologiques sont donc le moteur de l'évolution de la connaissance, puisqu'ils constituent la rupture qui dynamise le progrès de la science.

*C'est dans l'acte même de connaître, intimement, qu'apparaissent par une sorte de nécessité fonctionnelle, des lenteurs et des troubles. C'est là que nous montrerons des causes de stagnation et même de régression, c'est là que nous décèlerons des causes d'inertie que nous appellerons des obstacles épistémologiques.* (Bachelard, 1938, p. 16)

Les sciences étant construites à partir de connaissances progressives qui, parfois s'opposent ou se complètent, les connaissances antérieures constituent désormais des obstacles épistémologiques. Un obstacle épistémologique renvoie donc à « *un modèle explicatif qui nuit à la compréhension d'un autre modèle explicatif plus adéquat* » (Thouin, 1985, p. 250).

Bachelard, en relève dix grands types :

- L'obstacle de l'expérience première : Il s'agit ici des connaissances empiriques non questionnées et directement admises comme telles. Un exemple est de considérer que le Soleil tourne autour de la Terre. En effet, compte tenu du fait que non seulement la rotation de la Terre ne nous est pas directement perceptible mais aussi que on a l'habitude d'observer le déplacement de l'ombre d'un objet fixe tout au long d'une journée ensoleillée, on conclut directement quant au mouvement rotatif du Soleil autour de la Terre, qui elle est fixe.
- L'obstacle verbal : Un œuf qui cuit adhère à la poêle en fonte parce que ses molécules forment une espèce de ventouse.

- L'obstacle substantialiste : qui consiste à expliquer certains phénomènes en considérant l'agent mis en cause comme une substance. Un exemple développé par Bachelard est le fait d'expliquer ou de comprendre les transferts de chaleur en considérant la chaleur comme une substance capable de se déplacer des corps chauds vers les corps froids.
- L'obstacle de la connaissance générale : à la base de l'approche inductiviste, il consiste à partir de cas particuliers pour arriver à des généralisations qui ne sont pas toujours pertinents dans tous les contextes. La glace fond à cause de l'énergie
- L'obstacle de la connaissance unitaire : Il neige en hiver parce que c'est naturel
- L'obstacle de la connaissance pragmatique : Un phénomène non utile est inexistant
- L'obstacle animiste : Le mouvement de chute verticale est accéléré parce que l'objet a hâte de retrouver son milieu naturel.
- L'obstacle crée par le mythe de la digestion : Un malade guérit parce que son mal a été digéré.
- L'obstacle crée par le mythe du germe universel : la vie apparaît sur une île volcanique parce que toute pierre contient des germes de vie
- L'obstacle de la connaissance quantitative : une petite quantité d'eau à 10° mélangée à une grande quantité d'eau à 30° va donner de l'eau à 20°.

De façon générale, les obstacles épistémologiques sont issus de l'évolution des concepts et théories dans le processus de construction des sciences.

Dans le souci d'adapter le concept d'obstacle aux problèmes posés dans le cadre de l'enseignement, Brousseau (1989) considère trois types d'obstacles, à savoir l'obstacle épistémologique, l'obstacle ontogénétique et l'obstacle didactique. Il définit l'obstacle didactique comme est une représentation négative de la tâche d'apprentissage, induite par un apprentissage antérieur, et faisant entrave à un apprentissage nouveau. Il y'a obstacle lorsque les conceptions nouvelles contredisent les conceptions antérieures de l'apprenant. En effet, il montre que, si les choix pédagogiques de l'enseignant ou du système sont erronés, ces derniers vont fonctionner comme obstacles à l'apprentissage de nouvelles connaissances et induire l'élève en erreur.

L'obstacle ontogénétique quant à lui renvoie à des modèles spontanés qui apparaissent naturellement au cours du développement. Il est intimement lié au niveau de développement psychomoteur de l'apprenant et se manifeste lorsque le concept à apprendre n'est pas en

adéquation avec son développement psychomoteur. Dans ce cas, les nouvelles connaissances ne peuvent pas être assimilées.

Dans notre contexte, le terme obstacle est utilisé pour faire référence à une connaissance ou un savoir inapproprié dans un contexte donné, et qui empêche l'acquisition de nouvelles connaissances. En effet, allant dans le sens de Brousseau, nous considérons que l'obstacle qui est implicite à l'apprenant n'est ni une difficulté, ni un manque de connaissances, mais représente une conception exprimée dans un contexte non approprié. Cette conception procure des réponses « adaptées » dans un contexte particulier, mais hors de ce contexte, elle engendre des erreurs.

## **7. Théorie de référence**

### **7.1. Structure des Sciences Physiques**

Au 19<sup>ème</sup> siècle, la physique est définie comme l'étude des propriétés générales des corps et des lois qui tendent à modifier leur état sans modifier leur nature. Selon Larousse, c'est la science qui a pour objet d'apprécier l'action réciproque et sans décomposition des masses les unes sur les autres, et de classer les propriétés des corps plutôt que les corps eux-mêmes.

Autrement dit, la physique se donne pour objectif de décrire, de classer et de prévoir le comportement des corps constituant la nature. Mais le problème épistémologique qui en résulte est celui des « *relations entre la réalité physique et la connaissance que nous nous en formons.* » (Halbwachs, 1974). En effet, pour la théorie positiviste, principalement développée par Auguste Comte au 17<sup>ème</sup> siècle, la science n'a pas cette capacité à pouvoir expliquer ou prévoir des phénomènes, elle ne peut se contenter que de les recenser, de les rapprocher structurellement et de les rassembler dans l'énoncé des principes et des lois. En outre, toute connaissance des phénomènes physiques nous vient en dernière analyse de la perception sensible. Ceci dit, nous ne pouvons jamais atteindre que nos sensations et les liaisons que nous constatons entre elles. Pour le positivisme, un objet traduit simplement une coordination stable d'impressions de la vue, du toucher et éventuellement de l'ouïe. Un objet renvoie donc à un complexe de sensations. Il s'agit de partir des expériences sensibles, pour construire des lois et des principes, par idéalisation. La principale limite du positivisme trouve son fondement dans le fait que les lois étant induites des observations et des mesures, et les mesures étant toujours entachées d'erreurs, on aboutit à des lois approximatives, qui ne permettent qu'une description approchée des phénomènes physiques.

S'opposant au positivisme, le réalisme, développé par Planck, propose d'inclure en plus des données sensibles la contribution de la raison. Cette raison nous dit que si nous tournons le dos à une chose, elle continue d'exister. Planck met en avant deux idées majeures caractéristiques de l'épistémologie réaliste, la conscience d'une différence de nature entre les objets réels et les sensations qui nous les font connaître et d'autre part, la conscience du caractère inépuisable du monde réel, qui mêle à la vérité de notre connaissance toute l'erreur liée aux aspects encore inconnus de l'objet. En effet, il existe un troisième monde réel distinct et indépendant de notre pensée. Le monde étudié par le physicien est un troisième monde qui n'est ni le monde réel, ni le monde sensible. Ce monde, contrairement aux deux autres est une création consciente de l'esprit humain, faite dans un but déterminé, elle est donc sujette à des transformations et susceptible de modifications. Le physicien n'appréhende jamais directement rien du monde réel mais uniquement des informations qui lui parviennent par le monde sensible. Il bâtit alors un système de notions et de propositions dit image représentative physique de l'univers et s'efforce de donner à ce système une structure telle que, mis à la place du monde réel, il lui adresserait autant que possible des messages identiques.

Un autre point de vue qu'il nous semble important de considérer est celui de Halbwachs (1974). Partant de l'affirmation de Planck selon laquelle « *il existe un monde réel distinct et indépendant de notre pensée* », il se propose également d'examiner le lien qui existe entre ce monde réel tel qu'il est réellement et celui que nous percevons. Pour lui, la physique n'a pas la prétention de chercher la connaissance du monde réel dans son ensemble, elle considère certaines parties qu'elle délimite soit par une préparation expérimentale adéquate, soit par la pensée. Ces parties renvoient à ce qu'il appelle les « situations physiques », qui sont représentées par des systèmes de signes ou modèles. Il écrit à ce propos, « *Connaître une situation physique c'est la représenter par un modèle.* » (Halbwachs, 1974, p. 40). Pour l'auteur, il convient de distinguer de prime abord deux types de modèles :

- Les modèles descriptifs : qui sont ceux ayant une correspondance avec le monde sensible. Il s'agit par exemple d'une photographie, d'une image copie de la réalité telle que nous la percevons, ou d'un texte décrivant une situation physique.
- Les modèles-images : qui renvoient à des objets ou des structures qui ne sont pas directement perçues mais imaginées comme existant derrière les apparences. Par exemple, le fait de représenter un atome par une sphère ou de considérer le courant électrique comme constitué de particules en mouvement.

Halbwachs (1974) émet cependant des réserves quant à ces deux modèles dans la mesure où il précise que le risque avec les modèles descriptifs est qu'on est en général tenté de penser que, ces modèles, décrivant les choses telles qu'on les perçoit, les décrivent aussi telles qu'elles sont. En effet, pour lui, « *comme il y'a adhérence entre la situation, l'apparence perceptive et la transcription théorique, on est porté à identifier exactement la représentation et la réalité qu'elle représente.* » (P 42)

Au vue de ces différentes positions épistémologiques vis-à-vis de la science physique, on conclut donc que cette dernière serait une science de la modélisation. Son apprentissage suivrait de ce fait le même processus que la construction des modèles.

## **7.2. Les modèles et le processus de modélisation en sciences physiques**

Les modèles occupent une place centrale en sciences, ils permettent de partir du concret pour l'abstrait, c'est-à-dire de l'empirisme pour le formalisme. En effet pour Bachelard (1939), rendre géométrique la représentation, c'est-à-dire dessiner les phénomènes et ordonner en série les évènements décisifs d'une expérience, est la tâche première où s'affirme l'esprit scientifique. Mais l'esprit scientifique ne saurait s'arrêter à cette simple description géométrique ayant nécessairement un lien avec le monde sensible. Il va bien au delà, grâce au processus d'abstraction, pour atteindre le niveau le plus abstrait, qui cherche à répondre au pourquoi des phénomènes. Il élabore donc des théories qui sont souvent détachées de l'expérience première. C'est dans ce sens qu'interviennent les modèles, dont la diversité est fonction de multiples phénomènes dont ils peuvent rendre compte. En effet, « *le concept de modèle est un concept polysémique* » (Roy & Hasny, 2014, p. 351) Le sens qui lui est accordé dépend des auteurs qui l'utilisent. On peut cependant relever les différentes significations qui lui sont assignées, entre autres :

- Un modèle est une représentation simplifiée d'une entité du monde réel. (Bachelard, 1979)
- Différents modèles peuvent représenter un même référent et un même modèle peut représenter plusieurs référents. (Halloun, 2006).
- Un modèle est un objet intermédiaire entre la théorie et le phénomène dont la fonction est de représenter, d'expliquer et de prédire. (Bachelard, 1979)
- Un modèle est assujetti à des révisions.

La modélisation c'est-à-dire l'activité de construction des modèles, devient donc un élément fondamental de la démarche scientifique, en particulier en sciences physiques, car les modèles permettent de représenter sous forme simplifiée un système ou un phénomène afin de le décrire, de l'expliquer ou d'en prédire certains aspects.

Pour Martinand (1996), les modèles sont des éléments qui permettent de passer du concret à l'abstrait, de l'expérimental à la théorie. Ils ont trois caractéristiques essentielles : ils sont hypothétiques, modifiables et pertinents pour certains problèmes dans certains contextes. En effet, les modèles sont hypothétiques dans la mesure où ils sont proposés pour rendre compte d'un phénomène, mais leur validité dépend de leur capacité à expliquer ou à prédire ledit phénomène. Ils sont modifiables parce qu'on peut soit y intégrer de nouveaux éléments, soit en retrancher en fonction de nouvelles données empiriques ou épistémologiques. « *On peut effectuer provisoirement un arrêt sur modèle parce que celui-ci, certes encore hypothétique, a acquis un pouvoir de représentation général d'interprétation cohérente mais encore ouverte à de nouveaux bricolages* ». (Martinand j.-L. , 1996, p. 11) Les modèles sont pertinents pour certains problèmes dans certains contextes, en ce sens qu'un modèle seul ne peut pas rendre compte de tous les phénomènes, il a des limites de validité, qui se manifestent lorsqu'apparaissent des phénomènes dont il ne peut plus rendre compte.

Dans ce travail, nous prenons en compte tous les attributs du modèle tels que énoncés et nous nous soumettons à la catégorisation faite par Halbwachs (1974) à savoir que les modèles sont soit descriptifs, lorsqu'ils sont construits à partir des données empiriques, soit modèles-images lorsqu'ils n'ont pas de correspondance perceptible dans le monde sensible. A ce sujet, Piaget, propose de considérer le processus de construction d'un modèle comme une succession de deux mécanismes, une abstraction empirique (par laquelle certains concepts sont construits à partir des données directement observables) et une abstraction réfléchissante (construction des concepts plus abstraits, à partir de ceux issus de l'abstraction empirique). (Halbwachs, 1975)

### **7.3. Le processus de modélisation selon Martinand**

La construction et l'appropriation d'un concept scientifique correspondent à un processus complexe de structuration de relations inter et intra registres de connaissances. (Ganaras & Dumon, 2009). Cette structuration qui se fait graduellement en filiation et en rupture avec les connaissances disponibles nécessite selon Lemeignan et Weil-Barais (1993) l'articulation de trois registres : celui du champ expérimental du questionnement (objets, actions, événements, questions), celui des systèmes de représentations mentales (invariants conceptuels, relationnels

et opératoires) et celui des systèmes de représentations symboliques (langage, représentations graphiques et/ ou mathématiques). Il s'agit donc lors de l'appropriation d'un concept par un apprenant de pouvoir établir une relation dialectique entre l'expérience et la théorie, d'établir une concordance des faits avec la théorie. Notamment dans le domaine de la science physique, il est question d'être capable de se servir des modèles et théories pour expliquer et prédire les phénomènes de l'environnement.

La science physique étant une science de la modélisation, de nombreux auteurs se sont intéressés au processus de modélisation en général et aux démarches d'enseignement/apprentissage auxquelles recourent les enseignants pour amener les élèves à s'approprier les modèles scientifiques. Malgré la diversité de ces démarches, Joshua et Dupin (1989) les classent en deux grandes catégories, la démarche de modélisation inductiviste et la démarche de modélisation constructiviste. La première démarche s'inscrit dans une logique de transmission, c'est le rôle de l'enseignant, du manuel scolaire ou de tout autre agent externe qui est privilégié dans la présentation des modèles scientifiques à faire apprendre aux élèves. La deuxième démarche quant à elle permet l'engagement intellectuel des élèves dans le processus d'apprentissage et d'élaboration conceptuelle. S'inscrivant dans ce deuxième cas, Martinand (1986) distinguait, avec le problème de l'enseignement du concept d'élément chimique, deux registres de rapport au monde et au savoir. Il s'agit du registre de familiarisation pratique avec des objets, phénomènes et procédés, et le registre des élaborations intellectuelles. En 1996, il propose un premier schéma de la modélisation illustré par la figure n° 4.

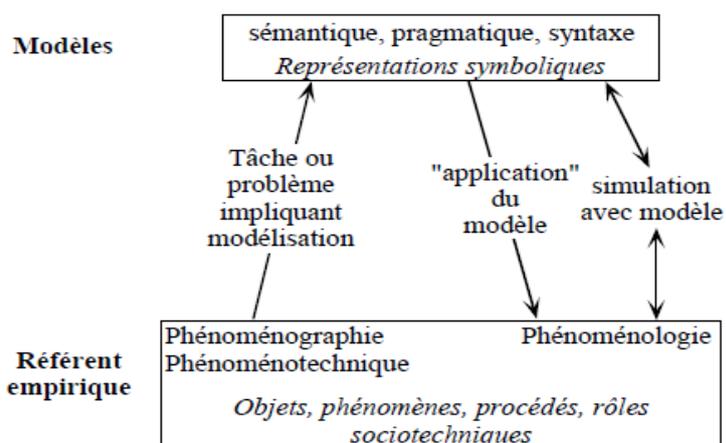


Figure 4: Le premier schéma de la Modélisation selon Martinand (1996)

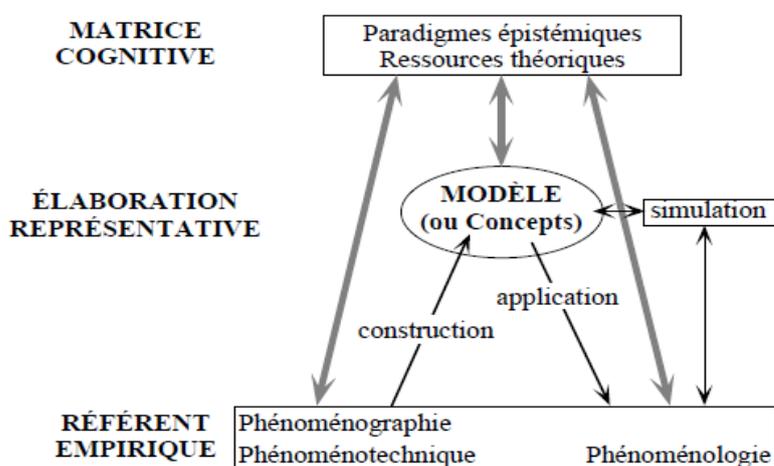
D'après cette figure, les deux niveaux essentiels intervenant lors du processus de modélisation sont :

- ✓ Le référent empirique (ce dont parlent les concepts, modèles ou théories) : c'est celui des objets et des phénomènes, mais aussi de pratiques sur ces objets et ces phénomènes. Ces pratiques s'accompagnent de connaissances et de règles d'action sur les objets et d'intervention sur les phénomènes. Ce niveau comprend la phénoménographie, la phénoménologie et la phénoménotechnique.
  - La phénoménographie renvoie à la capacité des apprenants à décrire les objets et les phénomènes afin de pouvoir communiquer des informations à leur sujet ; il s'agit d'une description des phénomènes relevant d'une conceptualisation antérieure. En effet, face à un objet ou à un phénomène, les apprenants se font à priori leurs idées, qui leur permettent d'interpréter le phénomène ou d'utiliser l'objet. Cette conception, avant enseignement correspond à la phénoménographie.
  - La phénoménotechnique correspond aux savoir-faire expérimentaux c'est-à-dire la connaissance du matériel, de son fonctionnement, des règles de sécurité... nécessaires pour exécuter les expérimentations.
  - La phénoménologie qui correspond à une description du référent faisant appel à des savoirs relatifs à la situation expérimentale étudiée dans ce référent. C'est une description seconde, dans laquelle le modèle se projette sur le référent. En outre, l'enseignement d'un modèle a pour but, de permettre aux apprenants de construire des conceptions scientifiques vis-à-vis de l'objet ou du phénomène à modéliser. Après enseignement, le fait pour les apprenants de s'appuyer sur les éléments du modèle enseigné ou construit relève de la phénoménologie.
- ✓ Les modèles : qui permettent de représenter le référent empirique. Ce niveau comprend des composantes sémantiques (une sémiographie commode pour représenter les éléments du modèle), des composantes syntaxiques (les relations qu'entretiennent les éléments du modèle entre eux liées à son mode de fonctionnement) et des composantes pragmatiques (qui permettent de questionner, se représenter, prévoir, inventer et expliquer le référent empirique).

L'un des intérêts majeurs de ce schéma est qu'il permet de « *distinguer une description première, devant donner lieu à une construction consensuelle (phénoménographie) et une description seconde, où le modèle se projette sur le référent.* » (Martinand j.-L. , 1996, p. 8)Par

la suite, d'autres questions majeures, surgissent des recherches, en particulier, « *celles des formes de rationalité et d'objectivité, des outillages mentaux, graphiques, langagiers mathématiques ou théoriques pour penser et communiquer. Qu'est-ce qui est disponible et mobilisable dans la tâche de modélisation ? Quelles en sont les possibilités ?* » (Coquidé, 2008, p. 3) Pour répondre à ces différentes interrogations, Martinand (1996) propose un schéma plus complexe de la modélisation, prenant en compte le premier. Il est illustré par la figure 5.

Figure 5: Le second schéma de la modélisation selon Martinand (1996)



Le nouveau registre qui intervient dans ce schéma est la matrice cognitive. Elle représente « *les formes de rationalité et d'objectivité, les outillages mentaux, graphiques et langagiers, mathématiques ou théoriques pour penser et communiquer* » (Martinand j.-L. , 1996, p. 10).

En effet, dans le contexte de l'enseignement/ apprentissage, Martinand pose le problème de la prise en compte des modèles, du rôle que l'on veut leur faire jouer, et de la manière dont ils peuvent être appropriés par les apprenants. Pour lui, un enseignement dogmatique où les modèles sont présentés comme des évidences non questionnées, non rattachées à des problèmes entraîne systématiquement le rejet par les élèves, avec comme conséquence des difficultés d'appropriation des concepts présentés. Il se propose donc de réfléchir sur la manière d'enseigner et faire apprendre la modélisation.

Le schéma ainsi proposé est un outil qui peut être utilisé pour « *penser les problèmes de construction et de pilotage d'un curriculum centré sur la modélisation.* » (Martinand j.-L. , 1996, p. 8). En effet, Martinand l'a proposé dans une perspective d'apprentissage de la modélisation, pour laquelle l'accent est mis sur la tâche impliquant la modélisation. Cette tâche a pour but d'inciter les élèves à proposer des modèles approximatifs. Cependant, nous l'utiliserons dans un autre sens pour asseoir notre problématique et pour l'analyse des données.

En effet, le concept de « poids d'un corps » étant enseigné en classe de 4<sup>ème</sup>, nous supposons que les apprenants en classe de troisième disposent déjà d'une matrice cognitive leur permettant de concevoir des raisonnements scientifiques concernant des phénomènes physiques impliquant ce concept. De plus, compte tenu du fait que les apprenants disposent au préalable de conceptions initiales ayant diverses origines, il nous semble pertinent de nous appuyer sur le référent empirique tel que défini par Martinand pour analyser leurs différents modes de raisonnement. Ainsi, nous nommerons « phénoménographie » une description du référent empirique impliquant la mobilisation par les apprenants de savoirs non pertinents dans l'interprétation des phénomènes ou la justification des réponses aux questions fermées et « phénoménologie » la mobilisation par les apprenants des savoirs scientifiques appris pendant l'enseignement. En particulier, seront classés dans la phénoménographie, les raisonnements des apprenants qui sont de nature à confondre les concepts de poids et masse, à attribuer la chute des corps sur la Terre à des causes autres que l'attraction terrestre et à des représentations non scientifiques du poids en tant que force. La matrice cognitive sera utilisée pour faire référence à l'ensemble des connaissances théoriques et pratiques d'un apprenant disposant d'un « savoir opérant » au sens de Orange (1997).

**Partie II : CADRE METHODOLOGIQUE ET OPERATOIRE**

### Chapitre 3 : METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

Ce chapitre est consacré à la présentation du type de recherche adopté dans cette étude. Il s'agit en effet de la description de l'approche méthodologique utilisée, de l'échantillon retenu pour l'expérimentation, de la description des outils de collecte et d'analyse des données.

#### 1. Type de recherche

Il s'agit d'une recherche analytique, car il est question de faire une analyse de contenu des différentes productions des élèves, afin d'en déduire certaines caractéristiques.

#### 2. Population cible

La population cible est constituée par les élèves camerounais du secondaire de l'enseignement général. L'échantillon retenu est constitué des élèves de la classe de 3<sup>ème</sup> (âgés de 13 à 16 ans) des lycées de Nkomotou, Ngoa-Ekelle et Nksoza, tous situés dans la région de centre Cameroun. L'effectif constituant notre échantillon est constitué de 95 élèves, répartis par établissement ainsi que le présente le tableau n° 2.

*Tableau 2: Répartition de l'échantillon*

Etablissement	Effectif	Age moyen
Lycée de Nkomotou	13	13-16 ans

Lycée moderne de Nkozoa	49	13-15 ans
Lycée de Ngoa-Ekelle	33	13-16 ans
Total	95	

Notre étude ayant une approche qualitative, la taille de l'échantillon a été déterminée par le principe de la saturation.

### **3. Délimitation de l'étude**

Notre étude, et en particulier la phase de collecte de données dans les différents établissements s'est déroulée du 20 au 24 février 2023. Le choix de cette période a été conditionné par l'état d'avancement de nos travaux.

Par ailleurs, le choix des établissements a été motivé par nos facilités d'accès à ces établissements.

### **4. Outil de collecte des données**

Les données ont été collectées au moyen d'un questionnaire. Ledit questionnaire est constitué de quatre sections, la 1<sup>ère</sup> étant relative à l'identification du participant. Le questionnaire est essentiellement constitué par des questions ouvertes et semi-ouvertes, plus susceptibles de laisser la latitude à l'élève de s'exprimer librement. Les situations décrites dans le questionnaire ont été conçues de façon à être les plus familières possibles, afin de faciliter la compréhension par les élèves. Elles ont été conçues puis améliorées et modifiées suite à une enquête préliminaire menée auprès de 10 élèves de la classe de 3<sup>ème</sup>.

### **5. Outil d'analyse des données**

La procédure d'analyse utilisée consiste en une analyse thématique de contenu. (Bardin, 2007). Il s'agit en fait de catégoriser, selon nos objectifs de recherche, les éléments textuels issus des réponses ouvertes du questionnaire. Une analyse à priori du questionnaire a d'abord été établie, il s'agissait pour chaque question du questionnaire de préciser l'objectif et de prévoir les différentes réponses attendues des apprenants, en nous basant d'une part sur l'étude épistémologique, d'autre part sur l'analyse de la transposition didactique du manuel scolaire au programme et enfin sur l'environnement immédiat des apprenants. Les catégories servant à classer les réponses des apprenants ont donc ainsi été constituées avant le test puis complétées lors du dépouillage des questionnaires. L'analyse consiste par ailleurs à marquer la

fréquence d'apparition de ces catégories thématiques et à illustrer ces catégories à l'aide d'extraits du corpus.

## 6. Analyse à priori du questionnaire

### SECTION 2 : DISTINCTION DES CONCEPTS « POIDS » ET « MASSE »

#### 1. Pierre pose son livre de mathématique sur une balance numérique et cette dernière affiche le nombre 100. Que représente ce nombre ?

Cette question propose une situation dans laquelle un livre est pesé à l'aide d'une balance, avec pour objectif de vérifier chez les apprenants si l'action de peser est attribuée à la grandeur masse.

D'un point de vue épistémologique, la masse d'un corps est une grandeur intrinsèque et représente la quantité de substance de ce corps. Elle se mesure à l'aide d'une balance et s'exprime en kilogramme.

L'étude de la transposition didactique du manuel scolaire au programme montre que la définition de la masse n'y apparaît pas mais l'instrument de mesure et l'unité sont précisés. Cependant, en tenant compte des facteurs ontologiques, plus précisément de l'environnement des élèves, des réponses signifiant que le nombre affiché représente le poids ne seraient pas exclues, vu la confusion quotidiennement entretenue entre les concepts de « masse » et de « poids ».

#### 2. Paul, qui se trouve à Douala au niveau de la mer, place son livre de physique sur une balance numérique et le nombre affiché par la balance est 90. Il se déplace ensuite et va au sommet du Mont Cameroun où il pose de nouveau son livre de physique sur la même balance. Le nombre affiché par la balance dans ce cas est : a) 70    b) 90    c) 100    d) 40    (Entoure la bonne réponse)

Cette question permet de vérifier si les élèves ont acquis la conservation de la masse.

La masse étant propre à un corps, elle est indépendante des facteurs externes. Ainsi, le fait de changer d'altitude ne modifie pas sa valeur, car c'est une grandeur constante.

Dans la transposition didactique, il est précisé que la masse est une grandeur constante quel que soit le lieu.

Cependant, les élèves pourraient penser que la variation d'altitude a un impact sur la masse, et répondraient de ce fait que le nombre affiché sur la Terre ne sera pas le même à 100m d'altitude.

**3. Si on lance deux billes de tailles différentes (une grosse et une plus petite) à la même vitesse sur un sol lisse, laquelle s'arrêtera en premier ? Justifier votre réponse.**

L'objectif de cette question est de vérifier si le concept de poids n'est pas utilisé par les apprenants à la place de celui de masse.

Lorsqu'on lance les deux billes avec la même vitesse, c'est la plus lourde qui s'arrête en premier, ceci à cause non seulement des frottements qui croissent proportionnellement à la taille de l'objet, mais aussi à cause de l'inertie liée à la masse de la bille et qui est d'autant plus grande que la bille pèse.

Mais les élèves chez qui le concept de masse n'a pas été clairement défini, auront tendance à justifier le fait que la bille la plus lourde s'arrêtera la première à cause de son poids, c'est-à-dire à cause de l'effet de la pesanteur sur la bille.

**4. Jean est au laboratoire du Lycée et souhaite mesurer le poids d'une bille. Il dispose de plusieurs appareils de mesure. Quel est l'appareil approprié pour effectuer cette tâche ?**

- a) **Balance**   b) **éprouvette**   c) **dynamomètre**   d) **voltmètre**   (Entoure la bonne réponse)

Cette question a pour objectif de vérifier si les élèves savent à l'aide de quel appareil on mesure le poids d'un corps.

Le poids d'un corps se mesure à l'aide d'un dynamomètre. Mais vu la confusion inhérente aux concepts de « poids » et de « masse », il n'est pas exclu que des réponses qui désignent la balance comme appareil de mesure du poids soient se retrouvent dans les productions des apprenants.

**5. Quelle est l'unité :**

L'objectif de cette question est de vérifier si la confusion inhérente aux concepts de poids et masse s'étend jusqu'aux unités de mesure.

- a) **Du poids d'un corps** : le Newton                      b) **de la masse d'un corps** : le kilogramme

Compte tenu de la confusion liée aux pratiques quotidiennes et ayant une origine épistémologique, il ne serait pas surprenant que les apprenants ne soient pas capables d'attribuer correctement les unités aux grandeurs correspondantes. Ainsi, ils pourraient désigner le kilogramme comme unité de mesure du poids d'un corps.

### **SECTION 3 : LE POIDS COMME UNE FORCE A DISTANCE**

#### **6. Si une mangue se détache du manguier, que se passe-t-il ?**

L'objectif de cette question est de comprendre la raison que les élèves attribuent à la chute des corps sur la Terre.

Lorsqu'on lâche un ballon à une certaine altitude de la surface de la Terre, ce dernier chute vers la Terre. En effet, en raison de sa masse, il subit de la part de la Terre une attraction qui est à l'origine de cette chute.

Cependant, des études antérieures comme celle de (Baldy & Aubert, 2005) montrent que certains élèves français de la classe de troisième attribuent la chute des corps à la présence d'une atmosphère ou ont une conception animiste selon laquelle les objets tombent pour rejoindre leur milieu naturel. De telles justifications ne sont donc pas à exclure.

#### **7. Un livre posé sur le sol a-t-il un poids ? Pourquoi ?**

Cette question a pour objectif de vérifier si les élèves comprennent que l'attraction exercée par la Terre sur les corps qui l'avoisinent est une force qui vient du centre de la Terre.

Tous les objets placés sur et au voisinage de la Terre ont un poids.

D'après la transposition didactique faite par le manuel scolaire, le concept « poids » d'un corps est introduit par la chute des corps. Cette approche peut faire croire que le poids d'un corps n'est défini que pour des corps situés à une altitude par rapport à la Terre. Ainsi, certains élèves pourraient répondre que le livre posé sur le sol n'a pas de poids vu que le mouvement de chute n'est pas observé.

#### **8. Une boule accrochée à un ressort a-t-elle un poids ? Pourquoi ?**

L'objectif de cette question est de vérifier tout comme la précédente que les apprenants savent que même quand l'effet de chute n'est pas observé, du fait de sa masse, la boule est toujours attirée par la terre et a donc un poids. La boule ne pouvant chuter jusqu'à la Terre, certains apprenants risquent de ne pas pouvoir mettre en évidence la présence du poids de cette dernière.

**9. Un sac de maïs a-t-il le même poids lorsqu'il est posé sur la Terre que lorsqu'il est posé au sommet du mont Cameroun ? Pourquoi ?**

L'objectif de cette question est de vérifier que les élèves savent que le poids d'un corps varie avec la distance au centre de la Terre.

L'attraction exercée par la Terre sur un objet est fonction de la distance entre les deux. En effet, l'accélération de la pesanteur varie en fonction de l'altitude ; en particulier, elle diminue lorsque l'altitude augmente. Donc le sac de maïs aura un poids légèrement inférieur lorsqu'il sera à 10Km d'altitude.

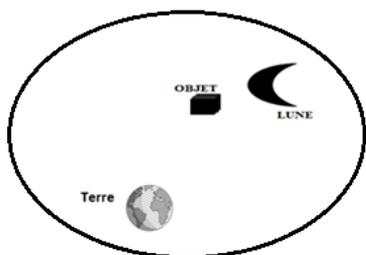
D'après la transposition didactique effectuée par le manuel scolaire, il est dit que le poids d'un corps varie avec l'altitude et la latitude. Cependant, des élèves qui n'ont pas intégré la raison de cette variation pourraient donner d'autres raisons : le sac de maïs pèse plus ou moins à 100Km à cause de l'action du vent sur ce dernier. De plus, ceux qui confondent la masse au poids, penseront que le poids du sac de maïs reste le même.

**10. Un paquet de 100g de maïs et un sac de 100g de coton ont-ils le même poids ? Justifier.**

Cette question vise à vérifier si les élèves savent que deux corps de même masse placés en un même lieu, ont du fait de la constance de la valeur de l'accélération de la pesanteur, une même valeur du poids.

D'après la transposition didactique, où l'accent n'est pas mis sur la constante de gravitation, il est prévisible que les apprenants se focalisent sur les sensations de lourds et légers pour répondre que le poids du paquet de 100g de maïs sera supérieur à celui du sac de coton de même masse.

**11. Soit le schéma ci-dessous :**



**Si on lâche cet objet au voisinage de la Lune, où tombe-t-il ? Pourquoi ?**

L'objectif de cette question est de vérifier si les élèves savent qu'il existe aussi une attraction lunaire, au même titre que l'attraction terrestre, et que par conséquent, on peut également définir le poids d'un objet par rapport à la lune.

Si l'objet représenté est situé dans une région de l'espace tel que le champ de gravitation lunaire soit supérieur à celui terrestre, alors le corps se dirigera sur la lune. Mais si par contre alors la force d'attraction terrestre est plus grande que celle exercée par la lune, alors ce dernier chutera sur la Terre.

Les élèves, pour qui le poids n'a été défini que par rapport à la Terre ne pourront pas envisager une attraction lunaire, et ne penseront qu'à l'attraction terrestre.

**12. Un objet placé au voisinage de la terre exerce-t-il une force sur la Terre ? Si oui, pourquoi quand on lâche cet objet, c'est lui qui se déplace vers la Terre ?**

Cette question vise à vérifier si les apprenants conçoivent le poids comme une interaction.

L'objet et la Terre étant massifs, il existe d'après Newton, une interaction gravitationnelle entre les deux. Par conséquent, tout comme la Terre exerce sur l'objet une force, réciproquement l'objet également exerce sur la Terre une force d'attraction. Mais compte tenu du rapport massif des deux, la Terre étant beaucoup plus lourde que l'objet, c'est ce dernier qui se déplace vers la Terre.

D'après la transposition didactique, il est probable que les élèves ne conçoivent pas l'attraction exercée par l'objet sur le corps, car celle-ci n'ayant pas été mise en évidence.

#### **SECTION 4 : LA MODELISATION DU POIDS**

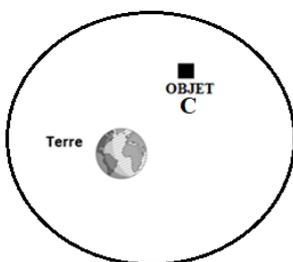
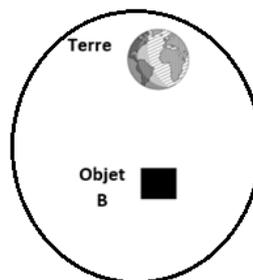
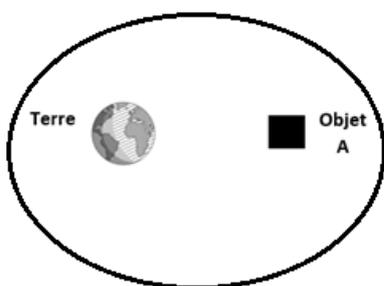
**13. Quels sont le point d'application, la direction et le sens du poids d'un corps ?**

L'objectif de cette question est d'identifier quelle direction et quel sens sont attribués au poids d'un corps par les élèves.

D'après l'étude épistémologique la direction du poids est la droite passant par le centre de gravité de l'objet et le centre de la Terre. Son sens est dirigé vers le centre de la Terre.

Cependant, de la transposition didactique, les caractéristiques données sont la verticale passant par le centre de gravité de l'objet pour la direction et le sens descendant.

**14. Soient les objets A, B et C représentés sur les figures ci-dessous. Toute la zone blanche autour de l'objet et la Terre représente le vide. Représenter les poids des corps A, B et C.**



Cette question vise à vérifier si les caractéristiques du poids comme force telles que issues de la transposition didactique permettent aux élèves de représenter le poids d'un corps. Les objets étant au voisinage de la Terre, ils subissent de la part de cette dernière une attraction. Les poids des corps A, B et C sont représentés par des vecteurs ayant pour origine respectivement les points A, B et C, et orientés vers le centre de la Terre.

D'après les caractéristiques du poids issus de la transposition didactique, les élèves représenteront les poids des corps A, B et C par des vecteurs verticaux, respectivement issus de A, B et C orientés vers le bas. Cette question vise donc à mieux cerner si les apprenants conçoivent réellement le poids d'un corps comme une attraction exercée par la Terre sur ce corps ou ils le conçoivent simplement comme une force exercée par une entité qui est toujours en bas.

**15. Calculer le poids d'un paquet de sucre de masse 800g placé à la surface de la Terre où  $g = 10 \text{ N/Kg}$**

L'objectif de cette question est de vérifier si les apprenants sont aptes à appliquer la formule qui permet de calculer le poids d'un corps, en faisant les conversions nécessaires. D'après

Newton, le poids d'un corps se calcule par la formule  $P = m \times g$ . En convertissant la masse en kilogramme, on obtient  $P = 8N$ .

**16. On pose le même paquet de sucre au sommet du Mont Cameroun où  $g = 9,7 N/Kg$ . Calculer son poids. Comparer le poids du paquet de sucre sur la Terre à son poids au sommet du Mont Cameroun.**

L'objectif de cette question est de faire remarquer aux apprenants, après calcul que le poids d'un corps varie avec l'altitude, puis de vérifier par la suite s'ils sont capables de relier cette variation à celle de l'accélération de la pesanteur.

**17. Pierre mesure le poids d'une mangue qui pèse 100g et trouve 0,98N. Il mesure ensuite le poids d'un avocat de 300g et trouve 2,94N. Pour chacun des fruits, calculer les rapports :  $\frac{P_{mangue}}{m_{mangue}}$  et  $\frac{P_{avocat}}{m_{avocat}}$  Compare les deux valeurs et conclure.**

Cette question a pour objectif de retrouver par calcul la constance de l'accélération de la pesanteur, pour deux corps placés en un même lieu.

## **7. Technique d'administration du questionnaire**

Les questionnaires ont été distribués et remplis par les élèves en notre présence. Il était question pour nous, afin d'obtenir un résultat optimal, de lire chaque question, puis de laisser quelques minutes aux élèves pour y répondre. Nous avons également quelque fois eu besoin d'expliquer la consigne aux apprenants qui rencontraient des difficultés, notamment pour la question n°14 de la section 3.

## CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre est conçu dans le but de présenter et discuter des différents résultats saillants émergents de notre recherche. Il sera question dans un premier temps d'exposer les résultats issus du dépouillement, en les commentant, puis par la suite, ces résultats seront discutés, en rapport avec les différents objectifs et hypothèses de notre recherche.

### 1. Présentation des résultats

#### 1.1. Question n°1 du questionnaire

Le tableau n°3 présente les résultats obtenus pour la question 1 formulée comme suit : **Pierre pose son livre de mathématique sur une balance numérique et cette dernière affiche le nombre 100. Que représente ce nombre ?**

*Tableau 3: Réponses des apprenants à la question n°1*

Réponse correcte	Réponse incorrecte	Pas de réponse	total
26	67	02	95

De ce tableau, il ressort que, des 93 apprenants ayant répondu à la question, seulement 26 apprenants (soit 27,95%) ont donné la bonne réponse à la question, c'est-à-dire ont répondu que le nombre indiqué par la balance représente la masse du livre de mathématique. Les 67 autres (70,52%) ayant donné une réponse incorrecte pensent que le nombre affiché par la balance représente le poids du livre.

### 1.2. Question n°2

La question n°2 du questionnaire est la suivante : **Paul, qui se trouve à Douala au niveau de la mer, place son livre de physique sur une balance numérique et le nombre affiché par la balance est 90. Il se déplace ensuite et va au sommet du Mont Cameroun où il pose de nouveau son livre de physique sur la même balance. Le nombre affiché par la balance dans ce cas est :**

- a) 70    b) 90    c) 100    d) 40    (Entoure la bonne réponse)

Les résultats obtenus pour cette question sont consignés dans le tableau n°4.

*Tableau 4: Réponses des apprenants à la question n°2*

Réponse correcte	Réponse incorrecte	Abstention	Total
46	39	10	95

Pour cette question, on constate que sur les 85 apprenants ayant répondu à la question, 46 élèves (48,42%) ont donné la bonne réponse, c'est-à-dire ont coché la valeur 90 comme étant celle affichée par la balance. On remarque également un taux d'abstention non négligeable de 10,52%.

### 1.3. Question n°3

La question n°3 du questionnaire est la suivante : **Si on lance deux billes de tailles différentes (une grosse et une petite) avec la même vitesse sur un sol lisse, laquelle s'arrêtera en premier ?** Pour cette question, les catégories permettant de classer les réponses des apprenants ont été définies. Les résultats obtenus à cette question sont consignés dans le tableau n°5.

Tableau 5: Réponses des apprenants à la question N°3

Justifications	Effectif
La plus grosse à cause de sa masse	33
La plus grosse à cause de son poids	45
La plus grosse à cause des frottements	02
La plus petite à cause de son poids	07
Constats d'évidence	05

De ce tableau, il ressort que pour la situation présentée et dans laquelle l'inertie et les frottements ont une influence sur la distance parcourue par la bille, 33 élèves (34,73%) ont effectivement justifié l'arrêt de la plus grosse bille par l'effet de sa masse. Leurs justifications sont de type : « la plus grosse parce qu'elle pèse plus », « la plus grosse parce que sa masse est supérieure ». Cependant, 45 élèves (soit 47,36%) utilise le raisonnement basé sur l'attraction terrestre pour justifier le fait que la plus grosse bille s'arrêtera avant la plus petite. Il s'agit des réponses telles que « c'est la plus grosse, parce que son poids est plus grand » ou encore « la plus grosse parce que son poids va la ralentir ». Enfin, on note que quelques élèves sont arrivés à mettre en évidence le lien qu'il y'a entre la taille de la bille et les frottements. En effet, pour ces derniers, la plus grosse boule s'arrête parce qu'elle subit plus l'effet du vent. Les constats d'évidence concernent les réponses de type : « la plus grosse s'arrête en premier parce qu'elle va moins vite que la plus petite », ou encore des réponses non justifiées, qui ne permettent pas d'avoir accès aux conceptions des apprenants.

#### 1.4. Question n°4

La question 4 est intitulée comme suit : **Jean est au laboratoire du Lycée et souhaite mesurer le poids d'une bille. Il dispose de plusieurs appareils de mesure. Quel est l'appareil approprié pour effectuer cette tâche ? a) Balance b) éprouvette c) dynamomètre d) voltmètre (Entoure la bonne réponse)**

Les résultats obtenus à cette question sont consignés dans le tableau n°6. Dans ce tableau, les réponses correctes correspondent à celles qui désignent le dynamomètre comme instrument de mesure du poids d'un corps.

*Tableau 6: Résultats de la question n°4*

Question4	Réponse correcte	Réponse incorrecte	Pas de réponse
	13	72	10

Il en ressort que 85 élèves ayant répondu à cette question, 13 (soit 17,33%) ont désigné le dynamomètre comme étant l'appareil indiqué pour mesurer le poids d'un corps. Il est important de remarquer que des 72 élèves ayant donné une mauvaise réponse, quasiment 60 ont proposé la balance comme instrument approprié pour effectuer cette mesure. On a également noté un pourcentage important (10,52%) d'abstention pour cette question.

### 1.5. Question n°5

La question 5 est : **Quelle est l'unité : a) Du poids d'un corps ? b) De la masse d'un corps ?** les résultats obtenus pour cette question figurent dans le tableau n°7. Les réponses correctes sont celles qui consistent à donner le newton (N) comme unité du poids et le kilogramme (Kg) comme unité de la masse. Soulignons également le fait que, pour la masse, les multiples ou sous-multiples du kilogramme (Kg) ont été classifiés dans les bonnes réponses.

*Tableau 7: Résultats de la question n°5*

Question5	Réponses correctes	Réponses incorrectes
	Poids :42	Poids :46
	Masse :58	Masse :28

Du tableau ci-dessus, on constate que, concernant le poids, 42 élèves (44,21%) ont donné la réponse correcte tandis que pour la masse on a un pourcentage de 61,05% (58 sur 95) de bonnes réponses. Pour cette question, les mauvaises réponses ont consisté pour l'essentiel chez les élèves à proposer les symboles P et m pour désigner respectivement les unités du poids et de la masse.

### 1.6. Question n°6

La question 6 est intitulée comme suit : **Si une mangue se détache du manguier, que se passe-t-il ? Pourquoi ?** Pour cette question à deux volets, tous les élèves sont unanimes quant au fait que la mangue une fois détachée du manguier tombe. Cependant, les justifications liées

à la chute de cette mangue diffèrent. Ces différentes justifications sont récapitulées dans le tableau n°8.

*Tableau 8: Résultats de la question n°6*

Justifications	Effectif
Présence de l'air	06
L'attraction terrestre	30
L'inertie	07
Phénomène naturel	47
Abstention	05

Dans ce tableau, les justifications de type Présence de l'air correspondent aux réponses de type « elle est poussée par l'air », « à cause de la poussée de l'air » ; L'attraction terrestre regroupe les réponses de type « à cause de son poids », « parce qu'elle est attirée par la Terre ». L'inertie correspond aux réponses de type « parce qu'elle pèse », « parce qu'elle est lourde ». Enfin, les réponses classées dans la catégorie phénomène naturel sont de type « parce qu'elle n'est plus attachée », « parce que rien ne la soutient ».

A partir de cette classification, on constate que, des 90 élèves ayant fourni une justification de la chute de la mangue, 47 élèves (52,22%) rejoignent la conception aristotélicienne de la chute des objets, à savoir que les objets chutent parce que c'est un phénomène naturel, pour rejoindre leur milieu naturel dans une configuration où la Terre occupe la position la plus basse de l'Univers. 33,3% (30 élèves) relient le phénomène de chute de la mangue à l'attraction exercée par la Terre sur cette dernière. 6 élèves (6,66%) pensent que la chute de la mangue est liée à la présence de l'atmosphère. Pour ces derniers, l'air joue le rôle d'une force motrice qui favorise le mouvement de la mangue vers le bas. Par ailleurs, 7 élèves (7,77%) pensent que la masse constitue un facteur qui favorise le mouvement.

### **1.7. Question n°7**

Les différents résultats obtenus à la question n°7 intitulée comme suit : **Un livre posé sur le sol a-t'il un poids ? Pourquoi ?** sont présentés dans le tableau n°9. Seules les résultats issus des réponses des 59 apprenants ayant répondu aux deux volets de cette question y sont présentés. En effet, pour cette question, on a un pourcentage de 30,52% (29/ 95) de constat

d'évidence (réponses sans justificatifs) et 7,36% (07/95) d'abstention. Ces deux catégories de réponses ne permettent pas d'accéder aux conceptions des apprenants.

*Tableau 9: Résultats de la question n°7*

Réponses	Justifications	Effectif
Oui	Attraction terrestre	07
	Toute chose a un poids	23
Non	Absence de mouvement	20
	Aucune opération de mesure effectuée	09

De ce tableau, on constate que 50,84% (30/59) des élèves pensent que bien que le livre soit posé sur la Terre, il a toujours un poids. 33,89% (20/59) des élèves justifient qu'il n'a plus de poids par le fait qu'étant déjà posé sur la Terre, il « ne peut plus tomber », il ne « pèse plus ».

### 1.8. Question n°8

La question 8 s'intitule comme suit : **Une boule accrochée à un ressort a-t-elle un poids ? Pourquoi ?**

Les résultats obtenus pour cette question sont consignés dans le tableau n°10. Il faut noter qu'il s'agit des résultats des 57 apprenants ayant donné des réponses pour les deux volets de la question.

*Tableau 10: Résultats de la question n°8*

Réponses	Justifications	Effectif
Oui	Attraction terrestre	05
	Toute chose a un poids	07
	Présence de mouvement	40
Non	Aucune opération de mesure effectuée	05

Les résultats obtenus à cette question montrent que 91,22% (52/57) des élèves pensent que la boule accrochée au ressort a un poids. Il est cependant nécessaire de remarquer que de ce

pourcentage, 76,92% (40/57) justifie cette affirmation par le fait que lorsque la boule est accrochée au ressort, ce dernier s'étire.

### 1.9. Question n°9

La question 9 est formulée comme suit : **Un sac de maïs a-t-il le même poids lorsqu'il est posé sur la Terre que lorsqu'il est posé au sommet du mont Cameroun ?** Les résultats obtenus pour cette question sont les suivants :

*Tableau 11: Résultats de la question n°9*

Réponses	Justifications	Effectif
Oui	Le poids est constant	25
Non	Variation d'altitude	14
	Changement de lieu	18

Pour cette question, on note non seulement un fort taux d'abstention (28,44%) mais également un très fort taux (30,52%) de constats d'évidence, correspondant aux réponses sans justifications, qui ne nous permettent pas d'avoir accès aux conceptions des apprenants. Le tableau nous montre que pour les élèves ayant justifié leurs réponses, 43,85% pensent que le poids est constant, il ne varie pas quel que soit le lieu. Quant à ceux qui affirment que le poids varie dans cette situation, seuls 24,56% (14/ 57) relient explicitement cette variation à la variation d'altitude observé lorsqu'on va au sommet du Mont Cameroun.

### 1.10. Question n°10

Le tableau 11 présente les résultats obtenus à la question 10 formulée comme suit : **Un paquet de 100g de maïs et un sac de 100g de coton ont-ils le même poids ? Justifier.**

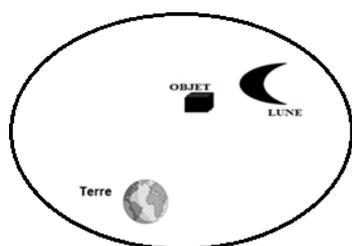
*Tableau 12: Résultats de la question n°10*

Justifications	Effectif
Oui car même masse	17
Non car corps différents	54
Constats d'évidence	17

Les résultats nous montrent que, pour cette situation faisant référence à deux corps de natures différentes mais de même masse, seulement 23,94% (17/ 71) des élèves ont été capables d'inférer que les deux corps auront, en raison de l'équivalence de leur masse, le même poids. Pour 76,05% « le maïs est plus lourd que le coton », ou encore le « coton ne pèse pas », ils ne peuvent donc pas avoir le même poids. On note un pourcentage d'abstention de 7,36%.

### 1.11. Question n°11

1. La question n°11 est formulée comme suit : **Soit le schéma ci-dessous :**



**Si on lâche cet objet au voisinage de la Lune, où tombe-t-il ? Pourquoi ?**

Les résultats obtenus pour cette question sont regroupés dans le tableau n° 13.

*Tableau 13: Résultats de la question n°11*

Lieu de chute de l'objet	Justifications	Effectifs
Terre	Position basse de la Terre	16
	Attraction terrestre	17
Lune	Attraction Lunaire	04
Vide	Rien en dessous de l'objet	19

Pour cette question, le taux d'abstention est de 14,73% (14/95) et le taux de constats d'évidence est de 26,31%. De ce tableau, on note que, pour 58,92% des élèves, cet objet tombe sur la Terre. Dans ce pourcentage, 48,48% des élèves pensent que la chute sur la Terre est due à la position basse de la Terre, « il tombe sur la Terre parce qu'elle est en bas », et pour les 51,52% autres, c'est à cause de l'attraction que la Terre exerce sur cet objet. Par ailleurs, 26,76% (19/71) pensent que cet objet tombe dans le vide, car la verticale passant par l'objet ne correspond à « rien » en bas. Nous remarquons que très peu d'élèves, soit 4/71 (5,63%) font intervenir l'attraction lunaire pour justifier le fait cet objet tombera sur la Lune. Il s'agit des réponses de type « parce que la Lune l'attire », « parce qu'il y'a une gravité sur la Lune »

### 1.12. Question n°12

La question n°15 est formulée comme suit : **Un objet placé au voisinage de la terre exerce-t-il une force sur la Terre ? Si oui, pourquoi quand on lâche cet objet, c'est lui qui se déplace vers la Terre ?**

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau n°14.

*Tableau 14: Résultats de la question n°12*

Réponse	Justifications	Effectifs
Non	//	33
Oui	La Terre est plus lourde	01
	Parce que l'objet est au-dessus	24
	La force exercée par la Terre est supérieure	17

75 élèves ont répondu à cette question, pour un taux d'abstention est de 21,05%. Pour cette fraction, 44% (33 sur 75) des élèves pensent que cet objet placé au voisinage de la Terre n'exerce aucune force sur la Terre. Pour les 56% (42/75) qui pensent que cet objet exerce une force sur la Terre, seul un seul fait allusion au rôle joué par la masse de la Terre comme justificatif. Pour les autres, le déplacement de l'objet vers la Terre est dû soit au fait que la force exercée par la Terre sur l'objet est supérieure à celle exercée par l'objet sur la Terre (40,47%), ou au fait que l'objet est au-dessus et la Terre est en dessous (57,14%).

### 1.13. Question n°13

La question 13 est formulée comme suit : **Quels sont le point d'application, la direction et le sens du poids d'un corps ?** Le tableau 15 nous présente les résultats obtenus pour cette question. Dans ce tableau, les réponses correctes correspondent à celles qui donnent respectivement comme point d'application, le centre de gravité de l'objet, direction verticale et le sens du haut vers le bas (descendant).

*Tableau 15: Résultats de la question N° 13*

	Réponse correcte	Réponse incorrecte	Abstention
Point d'application	13	15	67

Direction	08	31	56
Sens	19	16	60
Total	40	62	183

De ce tableau, on déduit que :

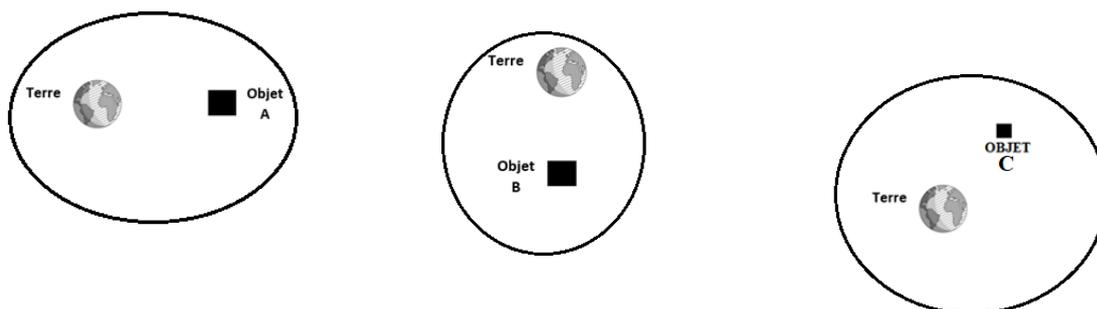
- Concernant le point d'application du poids d'un corps, 46,42% (13/28) des élèves ont répondu convenablement, pour un taux d'abstention de 70,52%.
- Pour la direction, seulement 20,51% (8 sur 39) ont donné la bonne réponse, pour un taux d'abstention de 58,94%,
- Enfin concernant le sens, 54,28% d'élèves ont donné la bonne réponse, pour un taux d'abstention de 63,15%.

Notons que les réponses incorrectes consistaient en majorité à désigner la Terre comme étant le point d'application du poids, et à confondre la direction et le sens.

On remarque pour cette question un très fort taux moyen d'abstention de 64,21%.

#### 1.14. Question 14

La question 14 vise à représenter les poids des objets A, B et C tels que représentés sur les schémas suivants :



Les différentes représentations des élèves ont été classifiées en correctes ou incorrectes et regroupées dans le tableau n°16.

Tableau 16: Résultats de la question N°14

	Réponse correcte	Réponse incorrecte	Pas de réponse
Objet A	09	20	66
Objet B	09	22	64
Objet C	06	23	66

Il ressort de ce tableau que :

- Pour l'objet A, 31,03% des élèves ont représenté convenablement le poids.
- 29,03% ont représenté convenablement le poids de l'objet B
- 20,68% ont représenté convenablement le poids de l'objet C.

Pour ces objets A, B et C, on note de très forts taux d'abstention, soit respectivement 69,47%, 67,36% et 69,47%.

### 1.15. Question 15

La question n°15 est formulée comme suit : **Calculer le poids d'un paquet de sucre de masse 800g placé à la surface de la Terre où  $g = 10 \text{ N/Kg}$ .** Les réponses obtenues des apprenants ont été catégorisées en réponses correctes et réponses incorrectes selon que la formule  $P = m \times g$  ait été utilisée ou pas par ces derniers pour la détermination du poids du paquet de sucre. Il faut noter que la conversion de la masse en kilogramme n'a pas été prise en compte lors de la validation des réponses des apprenants.

Sur les 95 élèves constituant notre échantillon, 4 n'ont pas traité cette question. Les différents effectifs correspondant aux réponses obtenues sont les suivants :

- 66 élèves (72,52%) donnent une réponse correcte.
- 25 élèves (27,47%) n'ont pas donné une réponse correcte.

On peut remarquer que pour cette question, le taux de réussite est relativement élevé, et le pourcentage d'abstention relativement bas.

### 1.16. Question 16

Dans la même logique de la question 15, la question 16 est formulée comme suit : **On pose le même paquet de sucre au sommet du Mont Cameroun où  $g = 9,7 \text{ N/Kg}$ . Calculer son poids.** Les résultats obtenus pour cette question avec un taux d'abstention de 23,15% (22/ 95) sont les suivants :

- 73,97% (54 sur 73) de réponses correctes.
- 20,54% (15 sur 73) de réponses incorrectes

Il faut noter que le fait que le pourcentage de bonnes réponses baisse lorsqu'on passe de la question 15 à la question 16 peut être attribué au fait que beaucoup d'apprenants n'aient pas compris l'expression « le même paquet de sucre » utilisé dans la formulation de la question 16 et par conséquent ont eu des difficultés à retrouver la masse du paquet de sucre pour déterminer son poids.

Le deuxième volet de cette question demandait de comparer les poids du même paquet de sucre sur la surface de la Terre et au sommet du Mont Cameroun. Pour ce volet, on note que **tous les apprenants ayant réussi à calculer les deux poids n'ont eu aucune difficulté à établir la comparaison, notamment que le poids du paquet de sucre au niveau du sommet du mont Cameroun est inférieur à celui calculé au niveau du sol.**

### 1.17. Question 17

La question n°17 est formulée comme suit : **Pierre mesure le poids d'une mangue qui pèse 100g et trouve 0,98N. Il mesure ensuite le poids d'un avocat de 300g et trouve 2,94N. Pour chacun des fruits, calculer les rapports :**

$$\frac{P_{mangue}}{m_{mangue}} \text{ et } \frac{P_{avocat}}{m_{avocat}} ; \text{ les comparer et conclure.}$$

Le taux d'abstention obtenu pour cette question est de 35,78%, soit 34 apprenants sur 95 qui n'ont pas traité cette question.

Les résultats obtenus, en ce qui concerne les rapports, sont les suivants :

- 49 apprenants sur 61 (80,32%) ont donné la bonne réponse
- 09 apprenants (14,75%) ont donné des réponses incorrectes

De façon générale, le fort taux d'abstention pour cette question est dû au manque de calculatrice chez les apprenants, ce qui les a empêchés d'effectuer les opérations nécessaires.

Quant à la comparaison des deux rapports, tous les apprenants ayant effectués les calculs nécessaires ont également constaté l'égalité des deux rapports.

Cependant, concernant la conclusion à déduire de cette égalité, tous les apprenants se sont limités à l'aspect mathématique, aucun n'ayant fait le lien avec l'accélération de la pesanteur.

## **2. Discussion des résultats**

### **2.1. Les concepts de poids et de masse**

Des résultats obtenus aux questions n°1 à 5, on peut faire les constats suivants :

- 70,52% des élèves constituant notre échantillon sont incapables de faire correspondre l'utilisation de la balance à la grandeur masse.
- 51,58% des élèves n'ont pas acquis la conservation de la masse au cours d'un changement de lieu.
- Dans la situation physique présentée, bon nombre d'élèves se révèlent incapables de distinguer les effets liés à la masse et aux frottements de ceux liés au poids.
- Les élèves confondent, voire ne distinguent pas les appareils de mesure de la masse et du poids d'un corps.
- Les élèves pour la plupart confondent les unités de mesure et symboles pour les concepts de poids et masse.

Ces différents constats peuvent être justifiés en nous appuyant sur plusieurs facteurs. Tout d'abord, le fait que les élèves affirment que c'est le poids qui est mesuré par la balance peut directement être relié aux pratiques quotidiennes observées dans l'environnement immédiat de l'apprenant. En effet, que ce soit au marché, ou à l'hôpital, on effectue des pesées pour estimer le « poids » des personnes ou des marchandises. Cette confusion tire son origine de la période aristotélicienne, où le poids et la masse renvoyaient à un seul et même concept.

De plus, dans la transposition didactique, lors de l'enseignement du concept de poids, on établit la relation entre ce dernier et la masse, mais on ne définit pas ce qu'est la masse, avec pour conséquence non seulement le fait que les apprenants n'acquièrent pas sa transformation au cours des changements (physiques ou chimiques) mais aussi qu'ils ne sont pas capables de donner le rôle joué par la masse dans une situation physique.

Nous avons par ailleurs constaté que les élèves, à la place des unités de mesure proposent les symboles représentant les grandeurs. Cette remarque nous amène à nous interroger sur les significations que les apprenants prêtent au concept d'unité de mesure.

Les différents résultats ci-dessus nous permettent d'affirmer que les élèves, ont du mal à distinguer les concepts de poids et masse, que ce soit en ce qui concerne les appareils de mesure, les unités de mesure et les manifestations physiques y relatives. Les différentes réponses apportées par ces derniers relèvent plus de l'expérience quotidienne que du modèle qui leur a été présenté concernant le poids d'un corps. Ils s'appuient donc lors de leurs différents raisonnements, essentiellement, en faisant référence à la modélisation selon Martinand, sur la phénoménographie.

**Les remarques ci-dessus nous permettent de valider notre première hypothèse de recherche à savoir les apprenants confondent les concepts de poids et masse.**

## **2.2. Le phénomène d'attraction et la chute des corps**

Les résultats obtenus à la question 6 nous ont permis de constater que seulement 33,3% de l'échantillon a justifié la chute des corps par l'attraction exercée sur ces corps par la Terre. Les autres raisons évoquées ont été la présence de l'atmosphère de l'air qui exercerait une pression sur les corps, l'influence de la masse qui favoriserait le mouvement vers le bas, et le pourcentage le plus élevé attribué au caractère purement naturel de la chute des corps (52,22%). Cependant, lorsqu'on se réfère à la question 12 du questionnaire, on constate que des 56% d'élèves qui pensent qu'un objet placé au voisinage de la Terre exerce une force sur cette dernière, 57,14% affirment que le déplacement de l'objet vers la Terre est dû à la position de la Terre. En effet, pour une série de situations, (section 2), le constat récurrent est que, les élèves font recours à la conception aristotélicienne, non seulement du monde mais également de la chute des corps. Pour eux, comme l'avait pensé Aristote, la Terre occuperait, dans l'univers la position la plus basse. Ainsi, les corps tombent vers elle à cause de cette position basse. Ce raisonnement est donc en totale contradiction avec la justification préalablement donnée à savoir que les corps tombent parce qu'ils sont attirés par la Terre. On peut donc inférer que les apprenants ne conçoivent le phénomène d'attraction que dans un seul sens, à savoir vers le bas. Cette contradiction nous amène à suggérer que bien qu'on ait obtenu des réponses désignant l'attraction terrestre comme étant responsable de la chute des corps, il s'avère que les apprenants ne sont pas à même de comprendre la nature de cette attraction, ou encore ne sont pas convaincus par l'existence de cette attraction, comme l'avait déjà pressenti Halbwachs

et Bovet pour les élèves de la classe de sixième pour lesquels ils se questionnaient en ces termes : *l'élève de sixième peut-il réellement comprendre les affirmations selon lesquelles le poids est une attraction à distance exercée par la Terre ? Ou le considère-t-il comme inhérent au corps avec la pensée animiste selon laquelle le corps pesant tend vers le bas parce qu'il veut tomber ?* (1980). Cette conception peut être justifiée par le fait que nous sommes à la surface de la Terre, et avons toujours l'habitude de voir des objets tomber vers le sol. Le fait de penser qu'un objet puisse se retrouver en bas de la terre est tout simplement inconcevable chez les apprenants.

Le raisonnement des apprenants repose également sur la conception aristotélicienne selon laquelle la vitesse de chute d'un corps est proportionnelle à sa masse, et donc plus un corps est lourd et plus rapide sera sa chute. En outre, ces derniers ont désigné la masse comme étant un facteur favorisant le mouvement vers le bas, rejoignant ainsi la pensée animiste selon laquelle seuls les corps lourds (les graves) peuvent tomber.

Par ailleurs, les résultats obtenus aux questions 7 et 8 nous montrent que :

- Dans le cas du livre posé sur le sol, 33,89% des élèves pensent qu'il n'a plus de poids, soit parce qu'aucune opération de mesure n'a été effectuée (15,25%) ou parce qu'il n'y a pas d'altitude, donc il ne peut plus tomber (33,89%).
- Dans le cas de la boule accrochée au ressort, 91,22% des élèves affirment qu'elle a un poids ; pour 12,28%, toute chose a un poids, et pour les autres 70,17%, c'est parce que la boule entraîne un étirement du ressort. Par ailleurs, 8,77% pensent qu'elle n'a pas de poids parce qu'aucune opération de mesure n'a été effectuée.

De ces deux remarques, on peut relever deux points importants. Tout d'abord, pour certains élèves, une grandeur n'existe que lorsqu'elle est mesurée. Ce qui nous amène à nous interroger sur le sens que les apprenants attribuent aux grandeurs physiques. Cette remarque a d'ailleurs été confortée par la question 5 dans laquelle, concernant les unités du poids et de la masse, les élèves confondaient les unités aux symboles des grandeurs mises en jeu. De plus, le paradoxe observé pour les questions 7 et 8, dans lesquelles, le livre posé sur le sol n'a pas de poids tandis que la boule accrochée à un ressort en a, il nous revient que le principal élément que les élèves mettent en avant est le mouvement. Aucun mouvement n'est observé pour le livre tandis que l'étirement du ressort est observé dans le cas du ressort. Notons que, les justifications liées à l'attraction de la Terre restent faibles. Nous concluons donc que, par analogie à la chute d'un objet utilisé pour introduire la notion de poids lors de l'enseignement, les élèves ne se sont

construit ce concept que dans la perspective où ce dernier entraînerait un mouvement perceptible. Donc, pas de mouvement vers le bas, pas de poids.

On remarque également que les apprenants ont eu des difficultés à faire intervenir le rôle joué par l'accélération de la pesanteur dans le poids d'un corps. En effet, les résultats obtenus pour les questions 9 et 10 montrent que dans la situation où on fait passer le livre du sol pour le sommet du Mont Cameroun, 24,56% seulement des élèves relie explicitement cette variation de poids à la variation d'altitude. Il en est de même lorsqu'il a fallu comparer le poids d'un paquet de maïs et d'un sac de coton ayant la même masse.

Les différents éléments explicités ci-haut nous permettent de valider notre deuxième hypothèse de recherche à savoir **les apprenants ont du mal à interpréter la chute des corps sur la Terre par le phénomène d'attraction, même après enseignement**. En effet, les divergences observées dans différentes situations mettant en évidence cette attraction nous amènent à nous questionner sur la capacité des apprenants à comprendre ou à accepter la nature de cette attraction. En rapport avec le schéma de la modélisation de Martinand, on peut classer les justifications des apprenants à la fois dans la phénoménographie et la phénoménologie : la mangue qui se détache d'un arbre tombe parce qu'elle est attirée par la Terre (phénoménologie) ; la mangue tombe à cause de sa masse qui l'entraîne, parce que la chute c'est un phénomène naturel, à cause de la présence de l'air, parce que la Terre est en bas (phénoménographie).

### 2.3. La modélisation du concept de poids

Les résultats obtenus à la question 13 nous montrent que, théoriquement, les élèves ont beaucoup de mal à rappeler les caractéristiques du poids d'un corps tels que énoncés par le modèle qui leur a été enseigné. En effet, c'est la question pour laquelle, on note le plus fort taux d'abstention, (soit 70,52%). Cette difficulté des apprenants est d'ailleurs bien manifeste au niveau de la question 14 où la représentation du poids des corps A, B et C leur a posé d'énormes difficultés. En effet, dans la majorité des cas, quelle que soit la position de l'objet par rapport à la Terre, les apprenants ont représenté le poids par un vecteur partant de l'objet et orienté vers le bas. Ceci peut être justifié par le fait que, lors des enseignements, sans mettre l'accent sur le référentiel étudié, le poids est représenté par un vecteur descendant qui prend naissance au centre de l'objet. De plus, comme mentionné précédemment, dans l'environnement des apprenants, étant à la surface de la Terre, ils ne sont confrontés qu'à des situations pour lesquelles le poids serait descendant. Le fort taux d'abstention observé pour

cette question (question 14) dénote de la difficulté majeure rencontrée par les apprenants, qui se sont retrouvés confrontés à une situation inhabituelle.

Les questions 15 et 16 faisant référence au calcul du poids d'un corps de masse connue, le taux de réussite est satisfaisant (72,52% pour la question 15 et 73,97% pour la question 16). Ce qui signifie que les apprenants se révèlent aptes à utiliser la formule  $P = m \times g$ . Le taux d'abstention relativement faible pour les deux questions (respectivement 4,21% et 23,15%) montre à suffisance que cet aspect concernant le poids d'un corps n'a pas constitué une réelle difficulté pour les apprenants. Il en est de même pour la question 17, pour laquelle le pourcentage de réponses correctes est de 80,32%. Cependant, notre attention s'est portée sur le troisième volet de cette dernière question, où il fallait conclure quant à l'égalité des deux rapports. On constate que tous les apprenants ayant réussi à constater l'égalité des deux rapports ne concluent que par rapport à l'aspect mathématique. En effet, ce rapport correspondait en effet à l'accélération de la pesanteur, et donc l'égalité justifiait le fait que deux corps placés en un même lieu sont soumis à la même accélération de la gravité. Mais aucun apprenant n'a établi le lien avec cette intensité de la pesanteur. De même, à la question n° 10 où il était question de comparer les poids d'un paquet de maïs et d'un sac de coton de même masse, les apprenants, sans faire allusion au rôle joué par l'accélération de la pesanteur se sont fiés à leur sensations pour conclure. Seuls 23,94% des apprenants remarquent que les deux corps ayant la même masse auront le même poids.

Les remarques précédentes nous montrent que, dans le cadre de la modélisation, le modèle du poids enseigné aux apprenants, leur pose d'énormes difficultés lorsqu'il s'agit de déterminer la direction ou le sens du poids d'un corps placé en un point quelconque de l'univers. Cependant, les apprenants sont très aptes lorsqu'il s'agit de déterminer le module de ce poids, par application de la formule appropriée. L'aspect mathématique du poids semble être mieux maîtrisé par ces derniers. En faisant une correspondance avec les conceptions que les apprenants ont du phénomène d'attraction, on constate que les questions suscitant une explication des phénomènes posent plus de problèmes aux apprenants que celles impliquant des calculs ou des représentations. Les apprenants, pour le concept de poids, manipulent mieux les modèles qu'ils ne fournissent d'explications appropriées du phénomène d'attraction, ce qui permet ainsi de valider notre troisième hypothèse de recherche à savoir **les apprenants sont plus aptes à manipuler les modèles qu'à fournir des explications sur le phénomène d'attraction.**

Se référant au processus de modélisation selon Martinand, on peut noter que les apprenants ont de réelles difficultés à établir le lien entre la phénoménographie et l'élaboration représentative, c'est –à-dire qu'ils ne sont pas capables d'établir la connexion entre les phénomènes et les modèles qui les représentent ; avec comme conséquence majeure l'incapacité à atteindre la phénoménologie, c'est-à-dire la description du phénomène physique de la chute des corps en se servant du modèle qui leur est présenté.

Pour la plupart des justifications, les élèves s'appuient essentiellement soit sur des conceptions animistes ou aristotéliennes, soit sur des expériences quotidiennes, pour fournir des explications aux phénomènes observés. Ces explications ne sont pas toujours en accord avec les savoirs scientifiques et en particulier avec le modèle du poids qui leur a été enseigné. Ce dernier aspect nous amène à valider notre hypothèse de recherche selon laquelle **la phénoménographie est la catégorie du référent empirique préférentiellement mobilisée par les apprenants pour le concept de poids.**

### **3. Les différents obstacles relevés**

Les différentes situations présentées aux apprenants nous ont permis de déceler dans leurs raisonnements un certain nombre d'idées qui pourraient s'ériger en obstacles pour la construction du concept de poids.

#### **3.1. L'obstacle lié au concept de masse**

L'analyse des résultats obtenus nous permet de constater que la masse n'a pas été conceptualisée par les apprenants. Or, le poids est lié à cette dernière, puisqu'il a une origine non seulement gravitationnelle mais aussi inertielle. Le rôle de la masse ainsi que ses manifestations physiques restent méconnus par les apprenants. En effet, ces derniers pensent que la masse favorise le mouvement (notamment dans le cas de la chute verticale). Pour le déplacement horizontal, son effet (inertie) est totalement ignoré et attribué à l'effet de la pesanteur. Nous pouvons donc dire que, dans le cadre de la conceptualisation du poids d'un corps, le concept de masse constitue un obstacle pour les apprenants. Il s'agit d'un obstacle épistémologique, plus précisément un obstacle de l'expérience première d'après la catégorisation faite par Bachelard (1938).

#### **3.2. L'obstacle lié au concept de force**

Le poids d'un corps est le premier exemple de force auquel les apprenants de la classe de troisième sont confrontés après l'introduction du concept de force en classe de quatrième. Mais ce concept tel qu'il a été défini par Newton, est en étroite relation avec les lois du mouvement. Lorsque le concept de force est implicitement vu comme indépendant des lois du mouvement, son sens est à priori généralisé à partir de l'idée intuitive d'action, c'est-à-dire basé sur les exemples les plus courants d'actions de contact (comme la poussée ou la traction d'un objet). (Maron, 2017, p. 81) . Dans le cadre de l'enseignement, le concept de force est défini par rapport aux deux aspects, statique (capable de déformer un corps) et dynamique (capable de mettre un corps en mouvement). Dans la situation présentée aux apprenants où on demande si un livre posé sur le sol a un poids, la grande majorité répond par la négation. En effet, le poids étant une force, il est censé produire nécessairement soit une déformation, soit une mise en mouvement. Or dans ce dernier cas, il n'en n'est rien. La microdéformation subit par le livre (due aux différentes interactions gravitationnelles) n'est pas perceptible et il n'y'a aucun mouvement observable. En ce sens, les apprenants ne sont plus en mesure de comprendre que l'attraction exercée par la Terre (force) existe toujours. Dans ce sens, le concept de force, tel que présenté aux apprenants constitue un obstacle pour la construction du concept de poids.

### **3.3. L'obstacle lié au choix du référentiel**

Le sens descendant attribué au poids d'un corps dans le modèle enseigné montre rapidement ses limites. En effet dans la situation représentée à la question n°14 pour laquelle on demande aux apprenants de représenter les poids de différents corps, ils les représentent tous par des vecteurs orientés vers le bas. Le référentiel utilisé lors de l'enseignement de ce concept est le référentiel terrestre, c'est-à-dire qu'il est lié à n'importe quel objet de la salle de classe ou du laboratoire où s'effectuent les enseignements. Les situations présentées quant à elles sont dans le cadre d'un référentiel spatial, prenant en compte la Terre dans sa globalité. Les apprenants se montrent dans ce dernier cas, incapables de représenter convenablement les poids des corps considérés. Le choix du référentiel est donc un élément fondamental à prendre en compte pour la modélisation du poids d'un corps en tant que force, plus particulièrement pour la définition de ses caractéristiques (direction et sens).

### **3.4. L'obstacle lié au concept de grandeur physique**

Le poids est une grandeur physique. Cependant lors de l'analyse des données, on constate que pour certains apprenants, une grandeur physique n'existe que si elle est mesurée. En effet, lorsqu'on demande aux apprenants si un livre posé sur le sol ou encore si une boule accrochée

à un ressort a un poids, une fraction non négligeable répond par la négation. Pour eux, le poids n'est pas mesuré dans ces conditions (absence de dynamomètre), et par conséquent n'existe pas. Or une grandeur physique existe indépendamment de sa mesure. Cette incompréhension se retrouve encore lorsqu'il s'agit de donner les unités de mesure de la masse et du poids. Les apprenants confondent ces unités aux symboles des grandeurs. Ces remarques nous amènent à conclure que le concept de grandeur physique n'a pas été construit par les apprenants et constitue un obstacle pour la construction du concept de poids.

D'autre part, des conceptions du poids, inférées des réponses des apprenants, on constate que le modèle du poids d'un corps présenté aux apprenants ne leur permet pas d'envisager une attraction sur d'autres planètes (ou sur d'autres astres) que la terre. En effet, dans une situation présentée aux élèves et dans laquelle un objet était suffisamment proche de la Lune, très peu ont fait mention de l'attraction lunaire. En effet, pour ces derniers, l'attraction ne peut se faire qu'entre la Terre et les objets de son voisinage. Cet aspect constituera donc un obstacle pour aborder la notion de poids lunaire et plus généralement la gravitation universelle. En effet, les apprenants ignorent qu'il existe une attraction entre tous les corps massifs, et que cette attraction obéit à la loi de gravitation universelle de Newton, de sorte que les forces exercées par deux corps massifs qui s'attirent sont d'égales intensité et proportionnelles aux masses des corps mis en jeu.

De plus, les difficultés des apprenants à conceptualiser la masse d'un corps et le concept de force, telle que remarqués dans notre étude constitueront de véritables obstacles lorsqu'il s'agira de comprendre ou d'appliquer le principe d'inertie en classe de Terminale.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Nous sommes arrivés au terme de ce travail qui portait sur le problème de la conceptualisation du poids d'un corps par les apprenants de la classe de troisième. En effet, certains auteurs, en particulier Bovet et Halbwachs (1980), Aubert et Baldy (2005) et Givry (2003), dans leurs travaux, ayant fait mention de ce que les élèves français de la classe de sixième et de troisième ont des difficultés à conceptualiser le concept de poids, nous nous sommes donnés pour objectif principal de recueillir à l'aide d'un questionnaire les conceptions des apprenants camerounais de la classe de troisième sur le poids d'un corps. Notre travail de recherche était axé autour de l'hypothèse principale suivante : les apprenants de la classe de troisième ont des conceptions alternatives sur le poids d'un corps. Il en ressort que, les apprenants confondent les concepts de poids et de masse, que ce soit au niveau de l'instrument de mesure, de l'unité de mesure ou de leurs effets dans différentes situations physiques. Par rapport à la chute des corps sur la Terre, la grande majorité des apprenants rejoint la conception aristotélicienne selon laquelle le mouvement de chute est un mouvement naturel, plutôt que la thèse de l'attraction terrestre. Nous avons également relevé que les apprenants sont plus aptes lorsqu'il s'agit d'aborder l'aspect mathématique du modèle, plutôt que fournir des explications sur le phénomène d'attraction. Enfin, en nous appuyant essentiellement sur le processus de modélisation proposé par Martinand (1996), nous avons noté que la phénoménographie est la catégorie la plus mobilisée par les apprenants pour la description du référent empirique ; autrement dit, dans une situation physique, les apprenants mobilisent préférentiellement des savoirs qui ne sont pas en adéquation avec le modèle enseigné. On déduit donc que les conceptions des apprenants de la classe de troisième sur le poids d'un corps restent encore éloignées des conceptions scientifiques, elles sont pour la plupart alternatives. Par ailleurs, nous avons relevé les obstacles à la construction de ce concept. Il s'agit entre autres, du concept de masse dont le sens inertiel n'a pas été construit par les apprenants, les concepts de grandeur physique et de force et enfin l'obstacle lié au choix du référentiel utilisé. Nous avons également relevé dans les raisonnements des apprenants des éléments susceptibles de s'ériger en obstacles lorsqu'il

s'agira d'aborder l'enseignement du principe d'inertie ou encore de la loi de gravitation universelle. Par ailleurs, l'obstacle lié au choix du référentiel étant didactique, il nous amène donc à nous questionner sur la pertinence du modèle du poids utilisé.

Les principales limites de ce travail sont liées au fait que nous n'avons pas tenu compte des conceptions des apprenants par rapport aux activités expérimentales telles que mesurer l'intensité du poids d'un objet à l'aide d'un dynamomètre et déterminer expérimentalement l'intensité de la pesanteur en un lieu. Nous nous proposons donc, dans des travaux ultérieurs d'inclure cet aspect expérimental ou de proposer un modèle d'enseignement pour le concept de poids, axé sur des activités de modélisation centré sur les apprenants.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique: contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris: FR: Vrain.
- Bachelard, G. (1979). *quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles*. Paris: Maloine, SA.
- Baldy, E., & Aubert, F. (2005). Etude de l'apprentissage du phénomène physique de la chute des corps en classe de 3<sup>è</sup> française. *Didaskalia*, 110-131.
- Bardin, L. (2013). *L'analyse de contenu*. Paris: PUF.
- Barthelemy, G. (2004). Newton découvreur du poids de toutes choses. *57*, 135-159.
- Bovet, M., & Halbwachs, F. (1980). Le poids et la masse en classe de sixième. *Revue française de pédagogie*, 4-18.
- Brossard, M. (2008). Concepts quotidiens/ concepts scientifiques: réflexions sur une hypothèse de travail. *Carrefours de l'éducation*(2), pp. 67-82.
- Brousseau, G. (1989). Obstacles épistémologiques, conflits socio-cognitifs et ingénierie didactique. *HAL science ouverte*.
- Clement, P. (2010). Conceptions, représentations sociales et modèle KVP. *HAL*(16), 55-70.
- Coquidé, M. (2008). un schéma dynamique de modélisation pour l'éducation scientifique: fécondité théorique, problématisation formatrice. *Les didactiques et leurs rapports à l'enseignement et à la formation, ARFIRSE*.
- Cormier, C. (2014). Etude des conceptions alternatives et des processus de raisonnement des étudiants de chimie du niveau collégial sur la molécule, la polarité et les phénomènes macroscopiques. *Thèse Ph.D, Université de Montréal, Faculté des sciences*. Canada.
- Deparis, V. (2011, avril 16). *Pourquoi les corps tombent-ils? Une histoire de la gravité d'Aristote à Einstein (2/3)*. Récupéré sur Planet Terre: <http://planet-terre.ens-lyon.fr>
- Deparis, V. (2011, Avril 15). *Pourquoi les corps tombent-ils? Une histoire de la gravité d'Aristote à Einstein(1/3)*. Récupéré sur Panet Terre: <http://planet-terre.ens-lyon.fr>

- Deparis, V. (2011, Avril 17). *Pourquoi les corps tombent-ils? Une histoire de la gravité, d'Aristote à Einstein (3/3)*. Récupéré sur Planet Terre: <http://planet-terre.ens-lyon.fr>
- Develay, M. (1991). Discipline et "matrices disciplinaires". (298).
- Duhem, P. (2007). *La théorie physique, son objet, sa structure*. Paris: Vrin.
- Durand, A. (1866). *Livre IV*. Paris.
- Einstein, A. (1921). *La théorie de la relativité restreinte et généralisée*. Paris: Gauthier-Villars.
- Galilée. (1992). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*. Paris: Seuil, Points Sciences.
- Ganaras, K., & Dumon, A. (2009). Intégration conceptuelle des équilibres acide-base par les étudiants français préparant le CAPES. *Didaskalia*, 59-80.
- Giordan, A. (2008). Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage...! *Laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences*, 1-10.
- Giordan, A., & De Vecchi, D. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Paris: Delachaux et Niestlé.
- Giordan, A., & De Vecchi, G. (2002). *L'enseignement scientifique, comment faire pour que "ça marche"?* Paris: Delgrave.
- Givry, D. (2003). Le concept de masse en physique: quelques pistes à propos des conceptions et des obstacles. *Didaskalia*, 41-67.
- Halbwachs, F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. DELACHAUX ET NIESTLE.
- Halbwachs, F. (1975). La physique du maître. *revue française de pédagogie*, 33, 19-29.
- Halloun, I. (2006). *Modeling theory in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
- Huygens, C. (1992). *Discours de la cause de la pesanteur*. Paris: Dunod.
- Joshua, S., & Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations*. Berne: Lang, CH: Peter.
- Kavanagh, C., & Sneider, C. (2006a). Learning about gravity I. Free Fall: A guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Education Review*, 5(2), 21-52.
- Koyré, A. (1965). *Newton et Descartes- Appendices F*. Paris: Gallimard.
- Koyré, A. (1968). *Etudes newtoniennes*. Paris: Editions Gallimard.
- Koyré, A. (2003). *Du monde clos à l'univers infini*. Paris: Gallimard.
- Launer, D. (2014). Impésanteur et gravité, le casse-tête pédagogique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 108(963), 591-617.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris: Hachette.

- Lévy, E. (1988). *Dictionnaire de physique*. Paris, France: Presses Universitaires de France.
- Lhoste, Y. (2014). Langage, enseignement et appropriation des savoirs problématisés en sciences de la Vie et de la Terre. Un modèle de structuration des contextes. *Recherche complémentaire pour l'HDM en sciences de l'éducation*, 4.
- Maron, V. (2017). Une reconstruction conjointe de la dynamique et de la gravité newtonienne. Conception et évaluation d'une séquence d'enseignement inspirée par l'histoire et l'épistémologie de la physique. *Hal*.
- Maron, V., & Colin, P. (2017). Une reconstruction de la théorie de la gravitation newtonienne: proposition d'une approche d'enseignement inspirée de l'histoire des idées. *OpenEdition Journals*, 92-128.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.
- Martinand, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. *Actes du séminaire de didactique des disciplines*.
- Newton, I. (1756). *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*. Sceaux.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et problématisation en biologie. Quels apprentissages pour le lycée?* Paris: PUF.
- Paty, M. (1999). Masse (de Newton à Einstein). *HAL*, 613-616.
- Paty, M. (1999). Masse (de Newton à Einstein). Dans D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* (pp. 613-616). Paris: Presses Universitaires de France.
- Popper, K. (1999). *La connaissance objective*. Paris: Flammarion.
- Roy, P., & Hasny, A. (2014). Les modèles et la modélisation vus par des enseignants de sciences et technologie du secondaire au Québec. *McGill Journal of Education*, 49(2), 349-371.
- Thouin, M. (1953). *Réaliser une recherche en didactique*. Québec: Multimondes.
- Thouin, M. (1985). Les représentations de concepts en sciences physiques chez les jeunes. *Revue des sciences de l'éducation*, 11(2), pp. 247-258.
- Verdet, J.-P. (1993). *Astronomie et astrophysique*. Paris: Larousse.
- Viennot, L. (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue française de pédagogie*(45), pp. 16-24.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. De Boeck.
- Vilain, C. (1994). La proportionnalité de la masse et du poids dans la dynamique newtonienne. *Revue d'histoire des sciences*(3-4), 435-474.

**ANNEXES**

## QUESTIONNAIRE

**THEME : Enseignement-apprentissage de la Physique: les conceptions du poids d'un corps chez les apprenants de la classe de troisième de l'enseignement secondaire général**

### SECTION 1 : IDENTIFICATION DE L'ÉLÈVE

Etablissement fréquenté	
ÂGE	

### SECTION 2 : DISTINCTION DES CONCEPTS « POIDS » ET « MASSE »

1. Pierre pose son livre de mathématique sur une balance numérique et cette dernière affiche le nombre 100. Que représente ce nombre ?  
.....
2. Paul, qui se trouve à Douala au niveau de la mer, place son livre de physique sur une balance numérique et le nombre affiché par la balance est 90. Il se déplace ensuite et va au sommet du Mont Cameroun où il pose de nouveau son livre de physique sur la même balance. Le nombre affiché par la balance dans ce cas est :  
a) 70   b) 90   c) 100   d) 40   **(Entoure la bonne réponse)**
3. Si on lance deux billes de tailles différentes (une grosse et une plus petite) avec la même vitesse sur un sol lisse, laquelle s'arrêtera en premier ? Justifier votre réponse.  
.....  
.....
4. Jean est au laboratoire du Lycée et souhaite mesurer le poids d'une bille. Il dispose de plusieurs appareils de mesure. Quel est l'appareil approprié pour effectuer cette tâche ?  
a) **Balance**   b) éprouvette   c) dynamomètre   d) voltmètre   **(Entoure la bonne réponse)**
5. Quelle est l'unité :  
a) Du poids d'un corps ? .....  
b) De la masse d'un corps ? .....

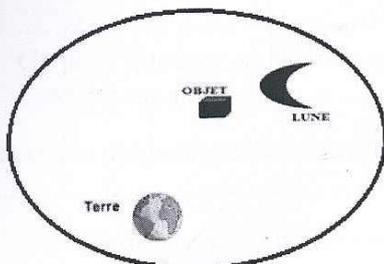
### SECTION 3 : LE POIDS COMME UNE FORCE A DISTANCE

6. Si une mangue se détache du manguier, que se passe-t-il ? .....  
.....  
Pourquoi ?.....
7. Un livre posé sur le sol a-t-il un poids ? .....  
Pourquoi ?  
.....
8. Une boule accrochée à un ressort a-t-elle un poids ?.....  
Pourquoi ?.....
9. Un sac de maïs a-t-il le même poids lorsqu'il est posé sur la Terre que lorsqu'il est posé au sommet du mont Cameroun ? .....  
.....

Pourquoi ?.....

10. Un paquet de 100g de maïs et un sac de 100g de coton ont-ils le même poids ?.....  
Justifier.....

11. Soit le schéma ci-dessous :



Si on lâche cet objet au voisinage de la Lune, où tombe-t-il ?.....  
..... Pourquoi ?.....

12. Un objet placé au voisinage de la terre exerce-t-il une force sur la Terre ?.....

Si oui, pourquoi quand on lâche cet objet, c'est lui qui se déplace vers la Terre ?

**SECTION 4 : LA MODELISATION DU POIDS**

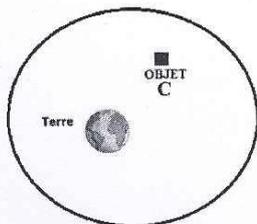
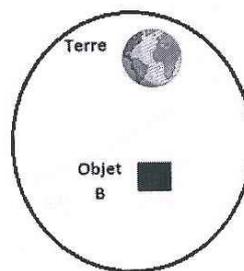
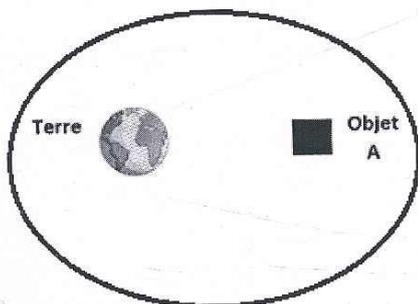
13. Quels sont le point d'application, la direction et le sens du poids d'un corps ?

Point d'application : .....

Direction : .....

Sens : .....

14. Soient les objets A, B et C représentés sur les figures ci-dessous. **Toute la zone blanche autour de l'objet et la Terre représente le vide.** Représente les poids des corps A, B et C.



15. Calculer le poids d'un paquet de sucre de masse 800g placé à la surface de la Terre où  $g = 10 \text{ N/Kg}$

.....  
 .....

16. On pose le même paquet de sucre au sommet du Mont Cameroun où  $g = 9,7 \text{ N/Kg}$ .  
 Calculer son poids.....

Comparer le poids du paquet de sucre sur la Terre à son poids au sommet du Mont Cameroun.

.....

17. Pierre mesure le poids d'une mangue qui pèse 100g et trouve 0,98N. Il mesure ensuite le poids d'un avocat de 300g et trouve 2,94N. Pour chacun des fruits, calculer le rapport :

$$\frac{P_{mangue}}{m_{mangue}} = \dots\dots\dots, \frac{P_{avocat}}{m_{avocat}} = \dots\dots\dots$$

Compare les deux valeurs et conclure.....

.....

## TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE.....	i
DEDICACE .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
RÉSUMÉ.....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTE DES ABREVIATIONS .....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
INTRODUCTION GENERALE .....	1
Partie I : CADRE THEORIQUE DE L’ETUDE .....	3
Chapitre 1 : PROBLÉMATIQUE DE L’ÉTUDE.....	5
1. Contexte et justification.....	5
2. Problème de recherche.....	7
3. Questions de recherche .....	8
4. Hypothèses de recherche .....	8
5. Objectifs de l’étude.....	9
Chapitre 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE ET ETAT DE LA QUESTION.....	10
1. Travaux antérieurs .....	10
1.1. Les travaux de Bovet et Halbwachs (1980) .....	10
1.2. Les travaux de Givry (2003) .....	12
1.3. Les travaux de Baldy et Aubert (2005) .....	14
1.4. Les travaux de Maron (2017).....	18
2. Etude historique et épistémologique du concept de poids d’un corps.....	23
2.1. Aristote (384-322 av J-C.): La tendance naturelle des corps lourds. ....	23
2.2. Nicolas Copernic (1473-1543) : les gravités planétaires.....	24
2.3. Johannes Kepler (1571-1630): l’attraction par un corps apparenté .....	25
2.4. Galilée (1564-1642) : de la gravité nous ne connaissons que le nom .....	26
2.5. René Descartes (1596-1650) : La pression des tourbillons .....	27
2.6. Robert Hooke (1635-1703) : l’intuition de la gravité universelle.....	28
2.7. Isaac Newton (1642-1727) : la modélisation de la gravitation universelle .....	29
2.8. Christian Huygens (1629-1695) : l’explication mécanique de la gravité.....	32
2.9. Faraday et le champ de gravitation (1791-1867) .....	33

2.10. La théorie de la gravitation selon Einstein : la courbure de l'espace-temps (1879-1955) .....	34
2.11. Acception actuelle des concepts de masse et poids d'un corps .....	35
6. Définition de quelques concepts clés de l'étude .....	37
6.1. Concepts.....	37
6.2. Conception.....	39
6.2.1. Définition .....	39
6.2.2. Fonctionnement d'une conception .....	40
6.2.3. Conceptions scientifiques et conceptions alternatives .....	41
6.2.4. Origines des conceptions alternatives .....	41
6.3. Obstacle .....	42
7. Théorie de référence .....	44
7.1. Structure des Sciences Physiques .....	44
7.2. Les modèles et le processus de modélisation en sciences physiques .....	46
7.3. Le processus de modélisation selon Martinand .....	47
Partie II : CADRE METHODOLOGIQUE ET OPERATOIRE .....	52
Chapitre 3 : METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE.....	53
1. Type de recherche .....	53
2. Population cible.....	53
3. Délimitation de l'étude .....	54
4. Outil de collecte des données.....	54
5. Outil d'analyse des données.....	54
6. Analyse à priori du questionnaire.....	55
7. Technique d'administration du questionnaire.....	61
CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	62
1. Présentation des résultats .....	62
1.1. Question n°1 du questionnaire .....	62
1.2. Question n°2.....	63
1.3. Question n°3.....	63
1.4. Question n°4.....	64
1.5. Question n°5.....	65
1.6. Question n°6.....	65
1.7. Question n°7.....	66
1.8. Question n°8.....	67

1.9.	Question n°9.....	68
1.10.	Question n°10 .....	68
1.11.	Question n°11 .....	69
1.12.	Question n°12 .....	70
1.13.	Question n°13 .....	70
1.14.	Question 14.....	71
1.15.	Question 15.....	72
1.16.	Question 16.....	72
1.17.	Question 17.....	73
2.	Discussion des résultats .....	74
2.1.	Les concepts de poids et de masse .....	74
2.2.	Le phénomène d'attraction et la chute des corps .....	75
2.3.	La modélisation du concept de poids .....	77
3.	Les différents obstacles relevés.....	79
3.1.	L'obstacle lié au concept de masse .....	79
3.2.	L'obstacle lié au concept de force.....	79
3.3.	L'obstacle lié au choix du référentiel .....	80
3.4.	L'obstacle lié au concept de grandeur physique .....	80
	CONCLUSION GÉNÉRALE .....	82
	Bibliographie .....	84
	ANNEXES.....	87
	TABLE DES MATIERES.....	91