

Usages à Propos du Concept « Force » Après L'enseignement : Une Etude de Cas en République du Bénin

[Usages about the Concept « Force » After the Teaching: A Case Study in the Benin Republic]

OKE S. Eugène¹, AHOASSA Médard S.² KELANI R. Raphael³

¹Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi (okeeugene@gmail.com)

²Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques, Université d'Abomey-Calavi

³Ecole Normale Supérieure de Natitingou, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (UNSTIM)



Résumé - Le mot « force » est à la fois un mot du quotidien et un concept de la Physique. Il admet ainsi deux domaines de réalité culturelle et institutionnelle. Dans cet article, nous examinons lequel des deux domaines de réalité prévaut dans le raisonnement des élèves, avant et après l'enseignement, lorsqu'il s'agit d'expliquer une situation de vie courante dans laquelle intervient le concept « force ». Les résultats montrent une diversité de registres explicatifs chez les sujets de la recherche et une relative progression de ces registres explicatifs avant et après l'enseignement.

Mots Clés - Bénin, Enseignement Secondaire, Force, Registre Explicatif, Sciences Physiques.

Abstract - The word « force » is at the same time a word used daily and a concept of the Physics. Thus, it admits two domains of cultural and institutional reality. In this article, we examine which of the two domains of reality prevails in students' reasoning, before and after the teaching, when it is about explaining a current life situation in which intervenes the concept « force ». The results show a diversity of explanatory registers with the participants of the study and a relative progression of these explanatory registers before and after the teaching.

Keywords - Benin, Secondary School Teaching, Force, Explanatory Register, Physical Science.

I. INTRODUCTION

Un des objectifs qu'un enseignant de collège se fixe lorsqu'il entreprend un projet d'enseignement en mécanique est que les élèves retiennent que la « force » est toute action capable de modifier le mouvement d'un corps, de le mettre en mouvement ou de le maintenir en équilibre. Il s'agit là de ses effets dynamiques et statiques. Lorsque le concept « force » est évoqué pour la première fois en classe de quatrième (3^{ème} niveau au collège), nous pensons que l'idée

dominante chez presque tous les apprenants est que la force est liée à la musculature. Ainsi on est d'autant plus fort ou on possède assez de force lorsqu'on est physiquement robuste et trapu. De plus, le mot force est utilisé dans la vie quotidienne de différentes façons comme par exemple « force de l'ordre » ou « force publique » pour parler de la police ou de l'armée, « force de Dieu, force du mal » etc...et plus généralement pour désigner sa propre action sur un objet ou son influence dans ou sur une situation.

Nous reprenons ci-après la théorie de [1] sur l'institution dans la figure 1 pour modéliser l'environnement d'usage du concept « force ».

Ainsi le mot force admet deux domaines de réalité culturelle et institutionnelle. Culturelle en ce sens qu'elle est

utilisée dans la vie quotidienne et dans le langage courant. Institutionnelle en ce sens qu'il est un concept de la physique à étudier à l'école.

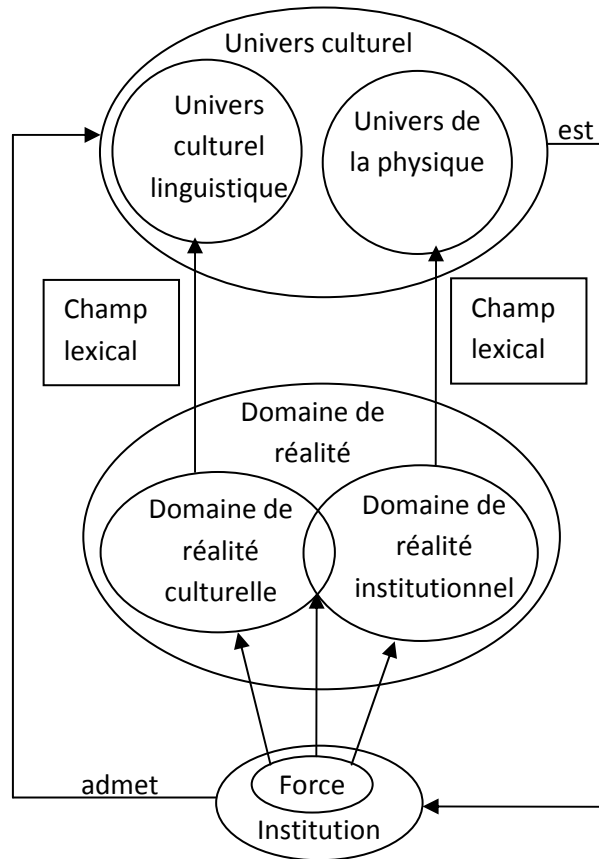


Figure 1 : Environnement d'usage du concept de force inspiré de la définition de Chevallard (1998) sur l'institution

II. CONTEXTE, REVUE DE LITTÉRATURE, OBJECTIFS ET QUESTION DE RECHERCHE

2-1. Contexte

Le système éducatif béninois est marqué par des salles de classe pléthoriques, le manque de manuels, un nombre d'enseignants qualifiés insuffisant, des élèves en situations défavorisées, et la prescription d'un enseignement-apprentissage selon l'Approche Par Compétences (APC). Il s'agit selon cette prescription, d'une part, que l'enseignant s'efforce de partir de ce que savent les élèves avant la classe, donc avant l'enseignement-apprentissage et l'introduction des savoirs à acquérir à l'issue de l'enseignement, pour déboucher sur l'acquisition des

notions, lois et concepts à connaître. D'autre part que l'enseignant amène les apprenants à pouvoir transférer les acquis dans des situations de vie courante.

2-2. Etat de la question dans des recherches antérieures

Le concept de force a émergé pour la première fois en 1687 avec les travaux de Newton (1642-1727) qui ont révolutionné la mécanique, sur la base de trois axiomes publiés dans son livre les « Principias ». Dans sa première loi : « *Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état* » [2]. En examinant cette première loi, le concept « force » recouvre le sens d'une

grande abstraction et Newton ne donnait que quelques exemples en parlant de « *force enracinée (vis insita)* » ou « *force imprimée (vis impressa)* » [2]. Pour [3], Newton décrivait le caractère vectoriel et définit la force à travers sa deuxième loi : « *le changement de mouvement est proportionnel à la force motrice imprimée et s'effectue suivant la droite par laquelle cette force est imprimée* ». En effet, d'après le premier corollaire de ses lois : « *un corps poussé par deux forces parcourt, par leurs actions réunies, la diagonale d'un parallélogramme dans le même temps, dans lequel il aurait parcouru ses côtés séparément* » [2]. Il transparaît comment la force fonctionne et doit être manipulée mathématiquement, c'est-à-dire son caractère vectoriel. La référence [3] souligne que, de nos jours, la force est la modélisation d'une interaction. Cette modélisation se fait par une grandeur mesurable mathématisée qu'est le vecteur ayant une origine, une direction, un sens et une norme. L'évaluation de la norme de la force par Newton est faite en la comparant à un poids au moyen d'une balance [4].

Mais, d'après [5] l'Homme, dans son développement cognitif, explique autrement le mouvement. Selon cet auteur, au stade originel c'est beaucoup plus les théories animistes et artificialistes qui dominent l'explication des mouvements des corps. Le mouvement d'un corps s'explique par un ordre (nous commandons le corps) et un acquiescement (le corps le veut aussi et exécute l'ordre). Au-delà du stade originel, le mouvement d'un corps s'explique par l'action conjuguée d'une volonté extérieure (moteur extérieur : l'ensemble des actions qui influencent le corps) et à une volonté intérieure (moteur intérieur). A un stade ultérieur le mouvement s'explique par des causes beaucoup plus physiques car l'influence extérieure devient beaucoup plus grande, mais loin d'être mécanique. Plus tard le mouvement s'expliquera par une causalité mécanique, à base d'inertie avec abandon des théories animiste et artificialiste. Ainsi on conçoit chez l'enfant qu'aucun mouvement n'a lieu sans l'intervention d'action extérieure qu'on appellerait « forces spéciales » de nature vivante et substantielle. Ces « forces spéciales » sont de nature vivante en ce sens que d'une part, les mouvements qu'elles génèrent n'ont lieu que par les corps vivants comme les astres, les nuages, les fleuves, le vent, etc. et d'autre part elles sont intentionnelles voire pour un but donné comme : « *le soleil avance pour nous éclairer* », « *les nuages avancent pour faire la pluie* », etc. Ainsi « *La notion de force est ... à la fois cause finale et cause efficiente. L'utilité des mouvements physiques implique une force qui puisse les provoquer* » (p. 131) [5]. Ces « forces spéciales » sont de

nature substantielle en ce sens que tout corps possède en lui-même une force interne propre, « *force sui generis* ». De l'explication de ce qu'est un mouvement, selon le développement cognitif, découlent plusieurs tendances chez les élèves à définir le concept de force. On peut citer entre autre quelques une de ces tendances :

- la force n'est définie que pour des corps actifs, animés d'un mouvement ou d'un mouvement propre : « *la force est liée à des corps en mouvement. Ainsi, une table sur laquelle un livre est posé n'exerce pas forcément de force sur le livre* » [6]. Le vent bouge parce qu'il a de la force [5], on parlera ainsi de la force du vent. Cette conception fait qu'on pense qu'un objet ne peut exercer une force que s'il est vivant, animé ou actif mais non passif.

- la force est définie comme une propriété intrinsèque d'un objet [6], sa capacité à se mettre en mouvement de lui-même ou par l'intermédiaire d'une action extérieure [5]. Ainsi les élèves parlent de « *force de l'objet, et non en terme de force exercée par un objet sur un autre objet* » ([6], [7], [8], [9]), « *force de la masse... ou la masse a de la force...* » [7]. Toutes ces tendances se trouvent à l'antipode de ce qu'est une force en physique à la lumière de la deuxième loi de Newton. D'après Newton, une force est responsable du changement du mouvement d'un corps et non la responsable du mouvement. Cette deuxième loi exprime donc l'effet que les forces extérieures ont sur le mouvement et que cet effet est quantitativement proportionnel à la cause qu'est la force et qu'il se produit dans la direction de la force. Elle s'exprime donc par la relation $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a}$ et nous permet de faire l'étude dynamique du mouvement d'un corps et d'en dégager les équations horaires ou paramétriques du mouvement. Il existe donc une relation entre le vecteur force exercé sur un système et une caractéristique du mouvement qu'est le vecteur-accélération du centre d'inertie de ce système dans un référentiel galiléen. L'accélération étant définie comme le taux horaire de variation du vecteur-vitesse. Cette idée est très contre-intuitive, déjà à la lumière de l'explication donnée au mouvement et de la définition de la force par l'enfant lors de son développement cognitif, tout comme l'ont démontrée des recherches didactiques dans différents pays et à différents niveau d'enseignement. Au nombre des résultats de ces recherches on peut citer :

- il y a une spontanéité de raisonnement selon lequel le mouvement d'un corps suppose l'existence d'une force qui agit sur lui (ou il a une force) dans la même direction et le même sens que le déplacement ([6], [10], [8], [11], [12]). La présence de cette force dépend beaucoup de la situation.

- une spontanéité dans le lien qu'on établit entre force et vitesse et non entre force et accélération d'après la deuxième loi de Newton. La référence [8] a réalisé une étude qui montre que beaucoup d'étudiants établissent très spontanément une relation pseudo-linéaire entre force et vitesse $\vec{F} = \alpha \cdot (\vec{V})$ telle que :

* si $\vec{V} = \vec{0}$ alors $\vec{F} = \vec{0}$ même si l'accélération $\vec{\gamma} \neq \vec{0}$. Il s'agit des raisonnements tendant à justifier que si un corps est en équilibre, alors sa vitesse est nulle ($V = 0$) donc aucune force ne s'exerce sur ce corps ($F = 0$). De même si un corps est au repos, alors sa vitesse est nulle ($V = 0$) donc aucune force ne s'exerce sur ce corps ($F = 0$) même si les corps ne sont pas dans une position d'équilibre.

* si $\vec{V} \neq \vec{0}$ alors $\vec{F} \neq \vec{0}$ même si $\vec{\gamma} = \vec{0}$ de même direction et même sens que \vec{V}

* si les vitesses sont différentes les forces le sont aussi même si les accélérations sont égales.

* les raisonnements sont : les mouvements ne sont pas de même nature, les forces sont différentes ; les vitesses sont différentes, donc les forces aussi. A une vitesse constante correspond une force constante (la vitesse est même proportionnelle à la force).

- l'immobilité traduit l'absence de force ([6], [8], [11], [12]). S'il n'y a pas de force alors l'objet est soit au repos soit immobile.

Pour expliquer les mouvements, les étudiants font donc appel à des notions du concept de force qu'on peut caractériser par :

- une force extérieure exercée sur le système répondant à $\vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a}$ lorsque la force d'interaction est dans la même direction et le même sens que le mouvement,

- une force appelée « capital de force » répondant à $\vec{F}_c = \alpha \cdot \vec{V}$ lorsque la force d'interaction est dans le sens contraire à celui du mouvement et lui est très lié et constitue la cause du mouvement. C'est le cas d'un objet qui a été lancé. On explique que pendant sa phase ascendante, il est soumis à une force sinon il ne pourrait pas s'élever. Cette force est désignée par exemple « la force de la main ». Celle-ci diminue à mesure que l'objet s'élève. L'idée de capitalisation permet ce glissement dans le temps grâce auquel la cause (le geste du lanceur) peut rejoindre l'effet (le

mouvement) à condition de s'être intégrée dans le mobile d'où les formulations comme « la force de la masse ». Ce capital de force est considéré comme étant la cause du mouvement, stocké dans l'objet en mouvement, et s'use en même temps que son effet : la force s'épuise.

La prise en considération de l'existence de ces deux types de force dans les conceptions des élèves permet d'expliquer, de comprendre et de prévoir les différentes interprétations qu'ils font des mouvements.

Il apparaît de tout ce qui précède que le pilier de l'apprentissage et par conséquent de l'enseignement du concept de « force » nécessite une rupture avec les conceptions quotidiennes (sens commun) du mot « force ». Ce sens commun aurait tendance à exprimer que la force est directement la cause du mouvement et non la cause du changement du mouvement.

2-3. Objectifs, questions et hypothèses de recherche

D'une part, cette étude vise à examiner lequel des deux domaines de réalité prévaut dans le raisonnement des élèves qui ont suivi l'enseignement ordinaire, lorsqu'ils expliquent des situations dans lesquelles intervient le concept « force ». D'autre part, nous cherchons à appréhender dans quelle mesure ce registre explicatif diffère de celui de ceux qui n'ont pas encore suivi cet enseignement.

Cela nous amène aux questions de recherche ci-après :

- Quelle est l'influence de l'enseignement de la Physique sur le concept « force » sur le registre explicatif mobilisé par les élèves béninois dans une situation de vie courante où intervient le concept de force ?
- Dans quelle mesure ce registre explicatif diffère de ceux qui ont suivi et ceux qui n'ont pas suivi l'enseignement ?

Nous avançons alors les hypothèses suivantes :

- L'enseignement ordinaire de la Physique sur le concept de « force » fait évoluer le registre explicatif des élèves dans des situations de vie courante.
- Il y a une différence significative de registre explicatif dans des situations de vie courante où intervient le concept « force », entre ceux qui ont suivi et ceux qui n'ont pas suivi l'enseignement.

C'est la théorie des deux mondes nous sert de cadre théorique dans cette recherche.

III. CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIE

3-1. Le modèle des deux mondes

Nous considérons qu'apprendre ou faire de la physique, c'est interpréter le monde matériel sensible et faire des prévisions. L'une des caractéristiques essentielles de la Physique est de proposer des théories et modèles qui permettent d'analyser ou d'interpréter les situations matérielles qui constituent leur champ de validité. Pour y parvenir le physicien décrit la situation matérielle en termes d'objets et d'événements d'une part et la théorie physique qui soutient cet événement d'autre part. Ainsi donc du point de vue de la Physique on distingue deux mondes opposés: le monde des objets et événements appelé monde empirique et le monde des théories et modèles appelé le monde théorique.

« Le monde des théories et modèles renvoie aux concepts généraux et aux constructions abstraites plus locales permettant d'étudier un type d'objets et d'événements ; le monde des objets et des événements renvoie à ce qui est accessible par la perception de façon directe (observation, expérience) et/ou par le biais d'instruments de mesure » [13].

Dans le monde empirique coexistent deux sous-mondes de savoirs : le savoir des individus dans la vie quotidienne et le savoir d'une physique qu'ils se sont construits. De même dans le monde des théories et des modèles coexistent deux sous mondes de savoirs: celui des individus (élèves, étudiants) et celui de la rationalité à l'œuvre en Physique. Parfois ces deux sous mondes s'affrontent (ils sont parfois contradictoires) mais pas toujours. Le savoir est ainsi décomposé en deux grandes catégories selon chacun des deux mondes. Cette catégorisation est transversale et permet d'analyser le savoir à enseigner, le savoir enseigné et la compréhension de l'élève de ce savoir et du monde matériel.

Selon [14], ce travail d'élaboration des savoirs de la physique amène le physicien à modéliser ces deux mondes en construisant des modèles et des théories à partir des données empiriques prélevées à partir du monde des objets et événements puis à les mettre à l'épreuve des faits du monde des objets et des événements pour expliquer et faire des prévisions sur les phénomènes. Les élèves ou des personnes dans la vie quotidienne modélisent également ces deux mondes en donnant leurs explications des situations matérielles ou événements en prenant appui sur leurs registres ou systèmes explicatifs appelés cadre théoriques. Ces cadres théoriques sont constitués des théories naïves, non explicites, inconscientes, opposées aux théories et modèles scientifiques, et de principes assez généraux sur le comportement des objets incluant le fonctionnement causal.

Nous utilisons le mot « théorie » au sens de [15] pour qualifier une structure rationnelle et explicative et non une théorie scientifique explicite et bien formée.

Deux théories sont donc à la base des explications et interprétations des événements : théories et modèles spécifiques dans les domaines étudiés de la physique d'une part et les cadres théoriques d'autre part. Toute explication, prédiction ou interprétation des situations matérielles relève d'une activité de modélisation de ces situations [16]. Ainsi, dans une activité de modélisation (soit par le physicien soit par les élèves ou soit par l'homme de la rue) le savoir sera décomposé en deux catégories : le savoir selon les théories et modèles et le savoir selon la description des objets et événements qui sont des savoirs communiqués par l'écrit, l'oral et les gestes. Cette catégorisation du savoir est transversale, elle peut être déclarative ou procédurale. Par exemple, la proposition « la mangue mûre tombe » est déclarative. Par contre la proposition « le poids du système mangue mûre exercé sur le système brindille est supérieur à la tension exercée par le système brindille sur la mangue » est aussi déclarative mais théorique. Le concept « force » relève d'une grande abstraction. C'est un concept de Physique désigné par un mot du langage courant avec des significations différentes dans la vie de tous les jours. La figure 2 (ci-dessous) montre comment la théorie du modèle des deux mondes s'applique au concept « force » de l'usage quotidien au concept en Physique. Les liens 1 et 2 permettent de définir ce concept, de trouver ses usages qui n'ont rien à voir avec les savoirs du quotidien. Il s'agit des chemins souvent empruntés par les élèves. Ce sont des relations à déconstruire lors de l'apprentissage. Le lien 3 est celui de la conceptualisation permettant de savoir de quel point de vue on se situe. Les liens 4 et 5 sont ceux de la modélisation mettant en lien les deux mondes.

3-2. Méthodologie de recherche

Notre méthodologie se décline en une enquête quantitative sur une population d'élèves de 6è qui n'ont jamais suivi un cours sur les forces d'une part et des élèves de 3è qui ont déjà suivi au moins une fois un cours sur les forces d'autre part, afin d'appréhender les différents raisonnements des élèves. Pour nous, « le registre explicatif » signifie un raisonnement se situant dans le monde des théories ou un raisonnement au sens commun, de la vie quotidienne se situant dans le monde des objets. Nous avons administré à nos sujets d'étude un questionnaire. Le questionnaire comprend six (6) questions avec demande de justification des réponses, sur des situations familières portant sur le concept de force. Ces situations se retrouvent dans leur contexte de vie quotidienne et ne sont pas des

situations d'expériences formalisées. Nous avons administré ce questionnaire à 151 élèves (151E) de 6^e et à 152 élèves (152E) de 3^e. Ces niveaux scolaires ont été choisis parce que les élèves de 6^e n'ont jamais suivi l'enseignement de physique sur le concept de force contrairement aux élèves de 3^e qui en ont suivi au moins une fois déjà. Pour nous, les questions sont posées n'orientent pas les éléments de réponse des élèves de 3^e qui ont eu déjà des situations d'expériences sur le concept de « force » lors de l'apprentissage. Ainsi des situations qu'on rencontre dans l'enseignement ordinaire comme, « A l'approche d'un bâton d'ébonite frotté, des bouts de papiers sont attirés. Expliquer. », « Qu'est ce qui fait que les bouts de papiers sont attirés ? » ... « L'extrémité d'un ressort est accroché à un support fixe et l'autre extrémité est gardée par une main qui tire sur le ressort, qu'est ce qui fait que le ressort s'allonge ? », sont exclues parce que non familières et résultent des expériences formalisées dans l'apprentissage

du concept de force. Dans le questionnaire, il y a eu plus de situations dont le type d'action est de contact (au nombre de quatre) que de situations dont le type d'action est à distance (au nombre de deux) parce que celles à action de contact apparaissent plus courantes et familières que celles à action à distance. Le questionnaire est conçu de telle sorte que pour chaque question une marge de quatre à cinq lignes est donnée pour permettre aux élèves de transcrire directement leur réponse. Leur âge est demandé pour connaître la tranche d'âge de la population choisie pour que selon les réponses données on puisse voir les catégorisations possibles à faire en rapport avec le niveau d'étude. Le lecteur peut retrouver le questionnaire en annexe du présent travail.

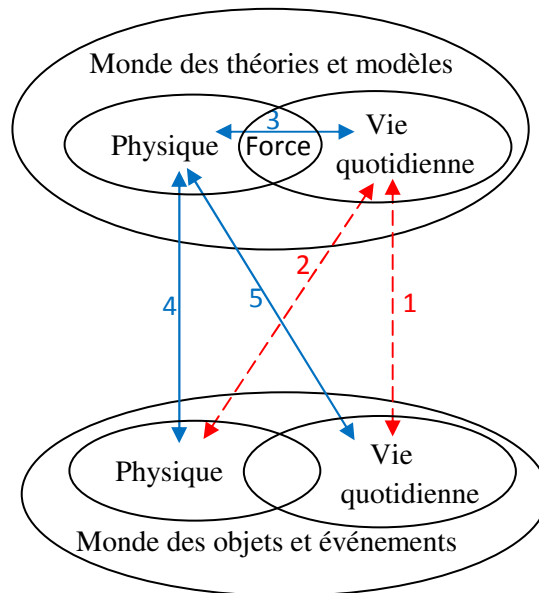


Figure 2 : Application de la théorie des deux mondes au concept de force : de l'usage quotidien au concept scientifique

Nous présentons au tableau 1 des éléments de réponses visées que nous avons élaborés pour l'étude. Ces éléments de réponse nous permettent de voir si les réponses des

élèves sont ces dernières ou si elles vont y tendre. Dans ce cas, nous examinons l'écart entre leurs réponses et celles visées. Cela nous permet de construire des catégories.

Tableau 1 : Eléments de réponses visée

	Action = force	Type d'action	Effets
Q₁	a) Action exercée par Mohamed sur le mouton par l'intermédiaire de la corde. b) Action exercée par le mouton sur	Action de contact	Effet statique : immobilité de Mohamed et du mouton

	Mohamed par l'intermédiaire de la corde en prenant appui sur le sol : interaction réciproque.		
Q ₂	Action exercée par la terre sur la mangue, la brindille de la branche étant devenue fragile	Action à distance	Effet dynamique : mise en mouvement d'un corps
Q ₃	Action exercée par le cordage sur la balle	Action de contact	Effet dynamique : mise en mouvement d'un corps
Q ₄	La table exerce une action sur le paquet pour l'enlever de la table : interaction réciproque	Action de contact	Effet statique : immobilité du paquet de ciment
Q ₅	Action exercée par la tête sur le ballon	Action de contact	Effet dynamique : mise en mouvement d'un corps
Q ₆	a) Action exercée par l'aimant sur le clou b) Action exercée par le clou sur l'aimant	Action à distance	Effet dynamique : mise en mouvement d'un corps

Dans l'examen des réponses des élèves, nous cherchons à appréhender le registre explicatif qu'ils utilisent dans leur raisonnement pour donner leur réponse. Nous avons prévu une phase d'entretien avec certains élèves ciblés pour mieux appréhender leur conception du savoir « Force ». C'est pourquoi leur nom et prénom est demandé au verso. Les résultats que nous présentons ci-après ne concernent que la question Q2 du questionnaire.

IV. RESULTATS

4-1. Analyse des résultats

Avant de dépouiller les différentes réponses des élèves au questionnaire, un échantillon constitué de quelques réponses dans chaque classe par promotion pris au hasard a été étudié. En parcourant les éléments de réponses on se rend compte, du fait que les questions sont de situations familières situées dans la vie courante ou vie quotidienne, que les élèves raisonnent beaucoup plus en restant dans la vie courante. Cela est tout à fait normal, dans la mesure où comme les questions sont de la vie quotidienne et qu'il n'y a aucune indication leur demandant de mobiliser des connaissances de la physique, il n'y a pas de raison les obligeant à mobiliser des savoirs de la physique. Cela ne veut pas dire qu'ils n'ont rien appris de l'enseignement mais seulement que les questions les maintiennent dans le monde des objets et que la démarche de la modélisation n'est pas bien maîtrisée.

Par contre dans l'échantillon choisi, on constate que les élèves notamment ceux des classes de 3^e, mobilisent des connaissances de Physique pour répondre à la question Q2 du questionnaire malgré le fait qu'aucune indication dans ce sens ne leur est faite. En effet, ce type de question peut générer des réponses qui mobilisent un raisonnement causal

ordinaire. La causalité est une notion bien connue en didactique de physique. D'après les travaux de [5] et de [17] développés plus haut dans le cadre théorique, il ressort que ce type de raisonnement est propre aux enfants qui expliquent le monde qui les entoure et en particulier les mouvements en essayant de rechercher les causes. La causalité organise la manière de raisonner des enfants. L'enseignement de Physique bouleverse cette causalité car son modèle de raisonnement est différent. Il ne s'agit plus de trouver la cause de phénomènes, mais plutôt de les expliquer. Ainsi la question Q2 du questionnaire se prête bien à l'analyse de l'influence d'un enseignement sur ce changement de registre. Elle est libellée ainsi : « Pourquoi une mangue mûre tombe ? ». Elle est la seule question du questionnaire que nous avons retenue pour l'exploration.

La méthodologie utilisée pour le traitement des données est inductive. Avant d'encoder les différentes réponses des élèves, l'échantillon choisi au hasard a permis de les thématiser c'est-à-dire regrouper les réponses qui se ressemblent ou qui semblent proches l'une de l'autre dans une même catégorie.

L'encodage a été fait par un traitement en double aveugle sur l'échantillon choisi conduisant à une catégorisation lissée de cinq (5) catégories. Au fur et à mesure du dépouillement de l'ensemble des réponses, les catégories se sont élargies à sept (7) catégories qui ont émergé des données par inférence. Nous avons :

- Catégorie 1 : cause unique d'attraction de la terre
- catégorie 2 : cause unique : masse de la mangue.

- catégorie 3 : double cause : déséquilibre masse/branche ou fragilité de la brindille.
- catégorie 4 : cause unique : le finalisme.
- catégorie 5 : Analyse dynamique correcte conformément à la réponse attendue.
- catégorie 6 : causes extérieures.
- catégorie 7 : tautologie

La catégorisation est suivie de l'encodage en nombre binaire. Dans un tableau à double entrée, lorsqu'une réponse appartient à une catégorie elle est marquée 1 et 0 pour toutes les autres catégories. Une réponse peut appartenir à plusieurs catégories à la fois. C'est dire que les catégories ne sont pas exclusives. Cet encodage a été ainsi fait pour chacune des classes de troisième et de sixième. En cumulant les résultats obtenus pour chacune des classes, on obtient ainsi le tableau en base 2 pour chaque promotion et par catégorisation

Tableau 2 : résultats des réponses des élèves relatives à la question Q2 par catégorisation et par promotion

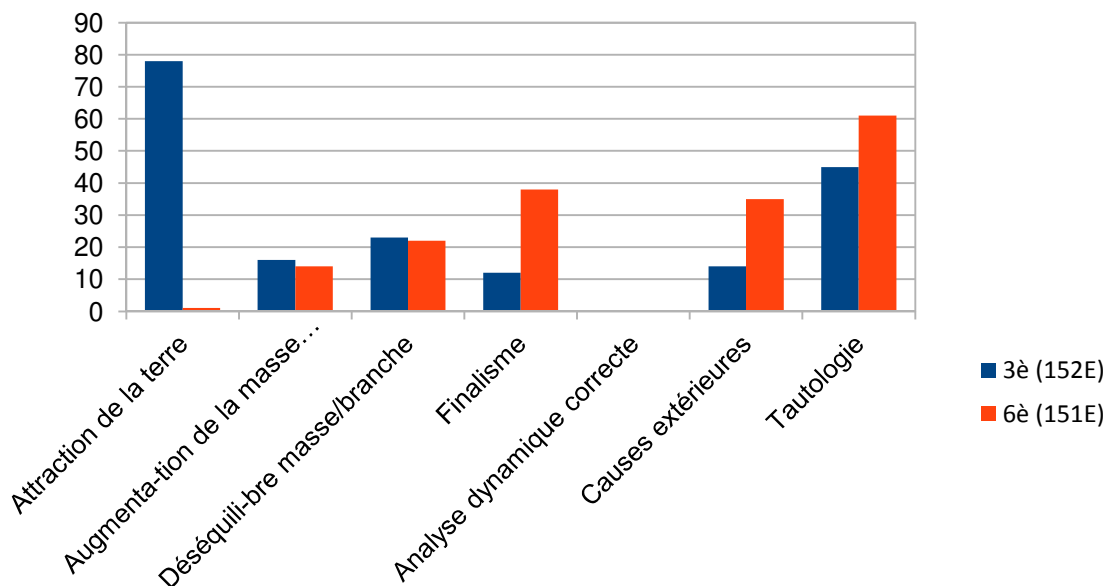
Catégorisation	Attraction de la terre	Augmentation de la masse de la mangue	Déséquilibre masse/branche	Finalisme	Analyse dynamique correcte	Causes extérieures	Tautologie
3 ^{ème} (152E)	78	16	23	12	0	14	45
6 ^{ème} (151E)	1	14	22	38	0	35	61

Ce tableau révèle que les élèves de sixième font beaucoup plus appel à des causes finaliste, extérieures et tautologique (89%) pour expliquer la chute de la mangue et ceux de la troisième font beaucoup plus appel à une cause de théorie physique et tautologique (81%). Aucun d'eux ne

donne une explication correcte de la chute de la mangue par une analyse dynamique correcte.

Pour mieux appréhender le registre explicatif utilisé par les élèves, une comparaison des valeurs obtenues par catégorie et par promotion donne le graphe 1.

Graphe 1 : comparaison des valeurs obtenues par catégorie et par promotion



Face à cette multitude de réponses utilisant plusieurs registres explicatifs répartis dans sept catégories, nous nous posons la question de savoir quelle est en réalité l'analyse scientifique que revêt le contenu de la question Q2 du questionnaire.

4-2. Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats est guidée par notre quête de savoir s'il y a une évolution des registres explicatifs mobilisés par les élèves au cours de leur cursus de 6^e en 3^e et la portée de cette évolution. A l'examen de la question Q2 du questionnaire et de la réponse attendue à cette question, nous attendions que les élèves de 3^{ème} raisonnent sur le poids de la mangue. Il ressort des réponses des élèves qu'ils attribuent la cause de la chute de la mangue à une seule et unique force qui est le poids \vec{P} . Mais cette réponse est incomplète. En effet, le phénomène de causalité transparait bien dans cette catégorie de réponse car les élèves pensent que la mangue tombe parce qu'elle est attirée par la terre. Or la mangue est continuellement attirée par la terre même en étant en équilibre. Cela apparaît comme réponse majoritaire des élèves de 3^e (78 réponses) en ce sens qu'ils ont appris le concept de force en particulier le poids d'un corps (force de pesanteur) et ils le font inscrire dans leur raisonnement. En revanche les élèves de 6^{ème} ne font pas du tout ce type de raisonnement (une seule réponse). Ils attribuent la chute de la mangue soit à des causes complètement finalistes, extérieures ou tautologiques d'après le graphique 1. Pour confirmer cela des tests statistiques d'évolution s'avèrent nécessaires. Compte tenu des effectifs obtenus par catégorie (moins de 100) nous utiliserons un test de χ^2 d'indépendance pour vérifier si les écarts obtenus dans chaque catégorie du tableau 2 sont significatifs ou non.

Pour réaliser le test χ^2 d'indépendance, nous avons isolé chaque catégorie et nous sommes amenés à réécrire un nouveau tableau lui correspondant et à une répartition des « oui » et des « non ». Au lieu de faire manuellement les calculs, nous avons utilisé le logiciel « R ». Ainsi les p-values que nous mentionnerons dans la suite sont les résultats des calculs effectués avec le logiciel « R ». Notons que la p-value représente la probabilité pour laquelle l'hypothèse nulle H_0 est vraie.

Un test de χ^2 n'est pas nécessaire pour la catégorie « Attraction de la terre » du fait qu'elle est vide pour les 6^e (1 réponse). La différence est déjà significative.

Catégorie « finalisme »

Avec l'hypothèse nulle H_0 que les élèves de 6^e ne sont pas plus « finalistes » que les élèves de 3^e, p-value =

$9,831e-05 \ll 0,05$. Donc H_0 est rejetée. On peut affirmer sans risque de se tromper que les élèves de 6^e sont plus finalistes que les élèves de 3^e. On conclut qu'il y a une différence significative entre les élèves de 6^e et ceux de 3^e dans le registre explicatif du finalisme. Le registre explicatif des élèves de 3^e a donc évolué du point de vue « finalisme » que les élèves de 6^e qui y sont restés.

Catégorie « causes extérieures »

Avec l'hypothèse nulle H_0 qu'il n'y a pas une différence significative entre les élèves de 6^e et ceux de 3^e selon le registre explicatif de « causes extérieures », p-value = $0,001656 \ll 0,05$. Donc l'hypothèse H_0 est rejetée. On peut affirmer sans risque de se tromper que les élèves de 6^e attribuent la chute de la mangue à des causes extérieures beaucoup plus que les élèves de 3^e. On conclut qu'il y a une différence significative dans le registre explicatif de « causes extérieures » entre les élèves de 6^{ème} et ceux de 3^e. Le registre explicatif des élèves de 3^{ème} a donc évolué de ce point de vue « causes extérieures » que les élèves de 6^e qui y sont restés.

Catégorie « tautologie »

Avec l'hypothèse nulle H_0 que les élèves de 6^e ne sont pas plus tautologique que ceux de 6^e, p-value = $0,06446 > 0,05$. Donc l'hypothèse H_0 ne peut être rejetée. On conclut qu'il n'y a pas une différence significative entre les élèves de 6^e et ceux de 3^e dans le registre explicatif de « tautologie ». Le registre explicatif de « tautologie » des élèves de 3^e n'a donc pas évolué.

Au regard de ces résultats d'analyse des réponses des élèves et de l'analyse du contenu de la question Q2 du questionnaire, nous constatons que les élèves raisonnent beaucoup plus sur l'augmentation de la masse de la mangue et sur le déséquilibre masse /branche. Mais en fait, toutes ces réponses sont insuffisantes. De plus, que ce soit les élèves de 3^e ou ceux de 6^e, il n'y a pas un écart significatif dans les catégories « masse de la mangue » et « déséquilibre masse / branche ». Donc il n'y a pas d'évolution de registre explicatif des élèves dans ces deux catégories.

Dans la catégorie « analyse dynamique correcte », il n'y a aucune réponse. Cela montre que les registres explicatifs des élèves n'ont pas évolué totalement du monde des objets vers le monde des théories leur permettant de mobiliser des raisonnements physiques afin d'expliquer la chute de la mangue. En effet dans les curricula des classes de 6^e jusqu'en 3^e l'apprentissage de la deuxième loi de Newton n'est pas encore enseigné. Seules les lois d'interaction et d'équilibre y sont enseignées.

Au vue de l'analyse des réponses des élèves de 6è, nous déduisons que ceux-ci sont plus finalistes, attribuent plus des causes extérieures et relativement tautologique pour expliquer la chute de la mangue que ceux de 3è.

Au vue de l'analyse des réponses des élèves de 3è, nous déduisons que ceux-ci mobilisent davantage des registres explicatifs du monde des théories qui se rapprochent d'une certaine manière du raisonnement du physicien. Ceci est dû à l'apprentissage du concept de force qu'ils ont reçu. Cet apprentissage a donc fait évoluer leur registre explicatif du monde des objets vers le monde des théories bien que leur raisonnement dans le monde des théories soit encore insuffisant mais plus évolué que ceux de 6è.

Les savoirs de la vie quotidienne du monde des théories ont permis aux élèves d'expliquer la chute de la mangue par :

- Attraction de la terre ou effet de la gravitation terrestre (savoir physique mais incomplète)
- Le déséquilibre poids – branche (savoir physique)
- Le vent qui souffle (savoir quotidien)
- Prête à être mangée (savoir quotidien, finalisme)
- Elle est devenue trop mûre (savoir quotidien)
- La fragilité de la tige (savoir quotidien).

Nous constatons qu'aucune de ces connaissances n'a permis aux élèves d'expliquer la chute de la mangue. La modélisation comme démarche de la Physique n'est pas mobilisée par les sujets de notre recherche. Les élèves de 3è qui ont suivi l'enseignement ne parviennent pas à mobiliser une démarche de modélisation pour expliquer l'événement.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Il existe en physique des concepts comme le concept « force », qui sont désignés par des mots et expressions du langage courant de la vie quotidienne ayant une signification complètement différente. De tels concepts nécessitent une attention particulière lorsqu'ils sont inscrits dans les programmes d'études scolaires et doivent être enseignés en classe. Cette étude révèle que malgré que les élèves de 3è ont suivi au moins une fois le cours sur le concept, leur registre explicatif n'a pas pour autant, évolué pour mieux expliquer une situation de vie courante dans laquelle intervient le concept de force. Il est possible que l'absence de mobilisation de la démarche de modélisation constatée chez les sujets de cette recherche soit un effet de

l'enseignement. Nous pensons que la mise en œuvre de l'enseignement-apprentissage du concept « force » exige de la part des enseignants une démarche de modélisation pour permettre une acquisition du concept en jeu. Il serait donc intéressant que l'enseignement de la physique donne de la place à l'activité de modélisation en contexte scolaire. Cela nous semble nécessaire pour se conformer à l'esprit de la Physique comme science.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Chevallard, Y. (1998). *Esquisse d'une théorie formelle du didactique*. Consulté le septembre 18, 2018, sur yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/
- [2] du Chastellet, I. M. (1759). *Isaac Newton, Principes mathématiques de la philosophie naturelle. définitions. Axiomes ou lois du mouvement*. Paris.
- [3] De Grave, P. R. (1988). Les forces et leur loi de composition chez Newton. *Revue philosophique de Louvain*, Quatrième série, tome 86, n°72, pp. 505-522.
- [4] Speiser, D. (1988). Le "Horologium Oscillatorium" de Huygens et les "principias". *Revue philosophique de Louvain*, Quatrième série, tome 86, n°72, pp.485-504.
- [5] Piaget, J. (1927). *La causalité physique chez l'enfant*. Paris: Félix Alcan.
- [6] Coppens, N. (2007). *Le suivi des conceptions des lycéens en mécanique: développement et usages d'exercices informatisés*. Consulté le février 10, 2019, sur HAL archives ouvertes: <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00203891>.
- [7] Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique, la part du sens commun*. Bruxelles: De Boeck.
- [8] Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Consulté le Aout 15, 2018, sur <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01275119>.
- [9] Finegold, M. et Gorsky, P. (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems : a search for consistency. *International Journal of Science Education* 13(1). P. 97-113.
- [10] Mindenhall, P. T. et Willams, J. S. (2001). Instability in students' use of intuitive and Newtonian models to predict motion : the critical effect of the parameters involved. *International Journal of Science Education* 23(6), p. 643-660.
- [11] Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, p. 66-71.
- [12] Enderstein, L., G et Spargo, P.E. (1996). Beliefs regarding force and motion : a longitudinal and cross cultural study of South African school pupils.

.....
.....

b) Si l'on disposait l'aimant sur deux bâtons de craie puis on approchait le clou, que se passerait-il ?

.....
.....

Justifie ta réponse

.....
.....