

Les Lois de Mouvement et les Théorèmes en Mécanique Classique. Repérage de Quelques Difficultés et Obstacles Chez les Étudiants en Formation Professionnelle

Kouamé Nguessan^{[a],*}

^[a]Laboratoire de Didactique des Disciplines et de Psychologie de l'éducation; Département des Sciences de l'éducation-Ecole Normale Supérieure d'Abidjan, Côte d'Ivoire.

*Corresponding author.

Received 18 October 2015; accepted 21 December 2015

Published online 26 January 2016

RESUME

Notre étude est de type descriptif et porte sur quelques représentations, difficultés et obstacles que rencontrent les étudiants en Licence et Master professionnels en physique et chimie dans la compréhension d'une part, des lois de mouvement de Newton et d'autre part, des théorèmes du centre d'inertie et de l'énergie cinétique en mécanique classique. Notre objectif de recherche est d'examiner les manières dont les connaissances acquises par nos étudiants sur les lois de mouvement de Newton et les théorèmes de l'énergie cinétique et du centre d'inertie au cours de leur cursus scolaire, sont réinvesties dans les classes qui leur sont confiées. Pour chacun des points, nous avons effectué une analyse des différentes questions soumises aux étudiants, synthétisé et interprété les données recueillies à partir des reformulations des principes et leur applicabilité, et les situations les invitant à appliquer les différents théorèmes.

Les résultats de ce travail indiquent que ces derniers ont des connaissances parcellaires des conditions d'applicabilité de ces lois et théorèmes en mécanique classique.

Mots-clés: Loi; Théorème; Centre d'inertie; Energie cinétique; Mécanique classique; Obstacle

Nguegan, K. (2016). Les Lois de Mouvement et les Théorèmes en Mécanique Classique. Repérage de Quelques Difficultés et Obstacles Chez les Étudiants en Formation Professionnelle. *Canadian Social Science*, 12(1), 59-68. Available from: <http://www.cscanada.net/index.php/css/article/view/8105>
DOI: <http://dx.doi.org/10.3968/8105>

INTRODUCTION

La présente étude analyse les difficultés et les obstacles liés à l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique en mécanique classique par des étudiants en formation professionnelle (Licence et Master) en physique et chimie à l'École Normale Supérieure d'Abidjan. Comprendre et appliquer le théorème de l'énergie cinétique revient à maîtriser les lois de mouvement de Newton, les concepts de force, de travail, de puissance et d'énergie. L'étude de ces concepts ont fait l'objet de nombreuses recherches en didactique ces dernières décennies. Ainsi, les travaux de Koffi (2014) et de Jaballah (2006) ont porté sur le concept de force; celui de Sallaberry (2004) sur les concepts scientifiques; et l'étude de Nguessan (2011) a porté sur le concept d'énergie et les grandeurs associées.

L'étude des lois de mouvement fait référence à la loi d'inertie, la réaction entre la force et les changements, et la loi d'interaction. La compréhension de ces lois de mouvement permet d'expliquer les causes des mouvements ou des interactions des mouvements. Généralement, les étudiants éprouvent d'énormes difficultés à les maîtriser. En effet, les résultats des travaux de Clément (1983) sur les lois de mouvement de Newton ont montré, entre autres, que la conception prégaliléenne « le mouvement implique la force » résiste à l'enseignement et constitue de difficultés persistantes qui entravent l'appropriation de la 2^{ème} loi de Newton, et les différentes formulations de la loi d'inertie sont mal comprises par les apprenants: certaines expressions employées dans l'énoncé de cette loi ne les aident pas à saisir le contenu physique (Mohapatra, 1989).

L'application du théorème de l'énergie cinétique est d'une importance capitale dans l'enseignement et permet de mesurer dans un référentiel galiléen, le travail total des forces extérieures appliquées à un solide lors de son déplacement d'un point A à l'instant t_1 à un point B à l'instant t_2 . Ce théorème est aussi bien utilisé en

mécanique classique que dans la théorie de la relativité, en physique nucléaire qu'en mécanique quantique. Cependant, sa compréhension et sa mise en œuvre sont loin d'être évidentes et les étudiants rencontrent de nombreuses difficultés lors de son utilisation dans des situations de classe qui leur sont proposées. Souvent, les étudiants ne savent utiliser ce théorème ni pour réaliser les exercices d'application, ni pour résoudre les problèmes rencontrés dans la vie courante. Il nous faut adapter les activités liées à ce théorème aux besoins de nos étudiants. Cette remarque ne vaut-il pas mieux que les étudiants comprennent d'abord les lois de bases de mouvement de Newton auxquelles l'enseignement doit les amener à trouver un sens et de l'intérêt dans l'apprentissage de ces lois avant de savoir appliquer efficacement le théorème de l'énergie cinétique.

Les travaux antérieurs sur les conceptions épistémologiques des jeunes enseignants indiquent que ces derniers ont une perception plutôt tronquée de la science et de son statut puisque «la majorité des professeurs adhèrent à une vision réaliste-empiriste de la connaissance» (Desautels & Larochelle, 1989). Ainsi, pour King, l'ignorance de la grande majorité des professeurs stagiaires de la science et de ses démarches heuristiques, affecte sérieusement leur enseignement, puisque les conceptions empiristes et réifiantes qu'ils se font de la science vont passer à leurs élèves, empêchant ces derniers d'appréhender la science à sa juste valeur et dans le cadre de ses limites épistémologiques réelles.

Dans le cadre de ce travail, nos étudiants en licence et master professionnels ont été élèves en classes de seconde, premières et terminales scientifiques au lycée, et ont eu non seulement à manipuler ces trois lois de mouvement de Newton dans les activités de classe ; et à les approfondir au premier cycle universitaire en sciences physiques mais aussi et surtout leur apprentissage est lié en partie aux conceptions de leurs professeurs ; eux-mêmes influencés par l'ensemble des obstacles épistémologiques en sciences physiques (obstacle de l'expérience première, de la connaissance générale, obstacle verbal, l'utilisation abusive des images familières, l'obstacle substantialiste, réaliste, animiste, celui de la connaissance quantitative) dressés par Bachelard (1938).

Les textes officiels (programmes)¹ et le manuel scolaire intitulé *Physique* (Collection AREX, Les classiques africains) indiquent que l'enseignement reçu ne permet pas aux étudiants de manipuler aisément les différents principes car les situations d'apprentissage qui leur sont proposées, sont dépourvues d'activités de formulations et de reformulations des principes d'une part, et leurs utilisations dans ces situations ne sont pas alliées à un formalisme défini d'autre part. La question de recherche qui découle du contexte de l'enseignement des principes

¹ Programmes des sciences physiques en classe de seconde C, premières C&D, terminales C&D.

et théorèmes à partir des programmes, des guides, et des manuels en usage au second cycle du secondaire est la suivante: le niveau de maîtrise de ces étudiants des trois principes de mouvement de Newton et les théorèmes de centre d'inertie et d'énergie est-il suffisant pour leur confier de classes de physique au secondaire?

Cette question se décline comme suit:

- a) Comment les étudiants réinvestissent-ils ces connaissances acquises dans les activités de classe?
- b) Les enseignements reçus par ces étudiants sont-ils suffisants pour aider les élèves à construire des connaissances basées sur ces principes et théorèmes utilisables dans des activités de classe?
- c) Retrouve-t-on dans les explications des étudiants des difficultés de compréhension relatives aux principes d'inertie, fondamental de la dynamique, et de l'action et de la réaction dans l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique?

L'objectif est de diagnostiquer de l'état des connaissances des étudiants en Licence et Master professionnels en physique et en chimie après leur formation théorique à l'Ecole Normale Supérieure. Il s'agit donc pour nous d'évaluer dans ce travail chez ces étudiants:

- a) Leurs difficultés de compréhension des trois principes dans l'enseignement usuel;
- b) Leur degré de maîtrise des conditions d'applicabilité des trois principes, et des théorèmes de l'énergie cinétique et du centre d'inertie;
- c) Les obstacles qui rendent difficiles la compréhension des théorèmes d'inertie et de l'énergie cinétique.

1. METHODOLOGIE

1.1 Population Cible

La population cible est constituée des étudiants en licence et master professionnels de la section physique et chimie de l'Ecole Normale supérieure d'Abidjan (Côte d'Ivoire) en fin d'année théorique.

La population accessible est l'ensemble des étudiants des deux niveaux cités ci-dessus de cette section. Mais compte tenu du nombre élevé d'étudiants nous avons procédé à la sélection d'un échantillon d'étudiants par niveau.

1.2 Echantillon

L'expérimentation est réalisée auprès des étudiants en licence professionnelle ($N = 50$ sur un total de 258 étudiants) et en master professionnel ($N = 25$ sur un total de 56 étudiants) en physique et chimie en fin d'année théorique, au titre de l'année universitaire 2014/2015.

Ces étudiants ivoiriens avaient abordé dans leur cursus scolaire et universitaire les trois lois de mouvement de Newton, et les différents théorèmes en mécanique classique:

D'abord en classe de seconde scientifique, les élèves ont abordé pour la première fois le principe d'inertie (1^{ère} loi de Newton) et le principe des actions réciproques (3^{ème} loi de Newton); ensuite, en classe de premières scientifiques ils ont reçu les enseignements sur le théorème de l'énergie cinétique où ces lois sont régulièrement utilisées en mécanique dans les situations de classe; enfin, en classes de terminales scientifiques, le principe fondamental de la dynamique (2^{ème} loi de Newton) leur est enseigné en plus des principes d'inertie et de l'action et de la réaction.

Au niveau universitaire (premier cycle) en filière sciences physiques, les trois lois de mouvement sont reprises et abondamment utilisées en mécanique classique dans les activités de classe. Enfin, en année théorique à l'Ecole Normale Supérieure, on revient sur l'ensemble des enseignements reçus ultérieurement dans des activités de classe.

Le choix de cette population devait nous permettre d'obtenir les différents raisonnements que nous attendons d'eux sur les différents principes et théorèmes pour chaque groupe d'étudiants choisis.

1.3 Administration du Questionnaire

Compte tenu des difficultés à faire participer l'ensemble des étudiants au test, nous avons convenu avec trois autres collègues pour l'administration du questionnaire. Deux enseignants par groupe d'étudiants (groupe Licence et groupe Master) ont surveillé les étudiants pendant la séance du contrôle.

1.4 Recueil des Données

D'un point de vue méthodologique, notre problème consiste à analyser l'approche et la manière avec lesquelles les étudiants appréhendent généralement les lois de mouvement de Newton en classe de physique dans l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique.

Le recueil des données est exécuté en trois phases comme suit :

- Première phase (durée: 30 mn)

Six différentes reformulations de chaque principe sont proposées aux étudiants où ils sont invités à choisir celles qui correspondent au principe indiqué.

- Deuxième phase (durée: 30 mn)

Quatre conditions d'applicabilité correspondant à chaque principe ou à chacun des deux théorèmes sont données. Les étudiants doivent choisir celle qui est conforme à l'applicabilité du principe ou du théorème.

- Troisième phase (durée: 15 mn)

Situations au nombre de cinq invitant les étudiants à appliquer soit le théorème du centre d'inertie, soit le théorème de l'énergie cinétique pour identifier la vitesse du mobile M lorsqu'il se déplace du point A au point B en étant soumis aux forces représentées.

A travers ce test, nous nous proposons de voir les éléments dont les étudiants font recours lorsqu'il s'agit d'appréhender ces lois.

L'idée principale de cette expérimentation était d'avoir des informations sur le degré de compréhension des différentes lois de mouvement de Newton des étudiants et la manière dont ils les utilisent à travers le théorème de l'énergie cinétique dans des situations de classe.

1.5 Analyse des Données

Nous décrivons dans ce paragraphe la procédure de quantification des différentes réponses. Ces réponses ont leur variété restreinte du fait de la forme de la question à choix multiples. Lors du dépouillement nous avons tenu compte de l'ensemble des combinaisons parmi les choix possibles issus des différentes reformulations proposées. Nous avons noté pour chaque reformulation, la fréquence cumulative par niveau de l'ensemble des réponses des étudiants. Le recours aux deux niveaux de formation avait pour but de vérifier si les indications convergent.

2. RESULTATS DE RECHERCHE

2.1 Présentation des Résultats

2.1.1 Sur la Compréhension des Lois de Mouvement

Le Tableau 1 ci-après présente les résultats par niveau d'étude sur la compréhension des lois de mouvement de Newton par les étudiants ayant participé à notre travail.

Toutes les différentes reformulations ont reçu des réponses. Nous constatons que pour des reformulations utilisant un vocabulaire accessible aux étudiants, les taux de réponses correctes sont élevés. Cela est vérifié dans les cas suivants:

- le principe fondamental de la dynamique s'exprime par la phrase suivante: «*on me pousse, j'accélère*» avec un taux de réponses correctes de 40% pour les étudiants en Licence et de 42% pour ceux de Master.
- le principe de l'inertie s'explique par la phrase suivante: «*si j'avance, j'avance sans fin*» avec un taux de réponses correctes de 37% pour les étudiants en Licence et de 40% pour ceux du Master.
- le principe de l'action et de la réaction s'identifie à la phrase suivante: «*celui qui me pousse, recule*» avec un taux de réponses correctes de 65% et 64% respectivement pour les étudiants en licence et ceux de Master.

Par contre pour les reformulations un peu complexes, utilisant un vocabulaire spécifique, les taux de réponses correctes sont moins meilleurs. Cela est constaté dans les cas ci-après:

- le principe fondamental de la dynamique s'exprime par la phrase suivante: «*une force motrice modifie ma quantité de mouvement, mon comportement*» avec un taux de réponses correctes de 21% pour les étudiants en Licence et de 23% pour ceux de Master.
- le principe de l'inertie s'explique par la phrase suivante: «*seul dans la nature, je conserve ma quantité de mouvement* » avec un taux de réponses

correctes de 21% pour les étudiants en Licence et 24% pour ceux de Master. Le taux de réponses correctes de cette reformulation a été influencé par cette reformulation du principe d'inertie: «on

conserve la quantité de mouvement globale: moi + apport externe» où les étudiants dans les proportions de: 21% pour les étudiants en Licence et 20% pour ceux en Master ont choisi.

Tableau 1
Répartition des Réponses d'étudiants sur les Différentes Formulations des Trois Principes

Les principes	Les différentes reformulations	% réponses d'étudiants	
		Licence N = 50	Master N = 25
Le principe fondamental de la dynamique s'exprime par la phrase suivante	Celui qui me pousse, recule	0	0
	On me pousse, j'accélère	40	42
	Seul dans la nature, je conserve ma quantité de mouvement	14	15
	Si j'avance, j'avance sans fin.	16	16
	Une force motrice modifie ma quantité de mouvement, mon comportement.	21	23
	On conserve la quantité de mouvement globale : moi + apport externe	9	4
	Total	100	100
Le principe de l'inertie s'explique par la phrase suivante	Celui qui me pousse, recule	0	0
	On me pousse, j'accélère	8	7
	Seul dans la nature, je conserve ma quantité de mouvement	21	24
	Si j'avance, j'avance sans fin.	37	40
	Une force motrice modifie ma quantité de mouvement, mon comportement.	13	9
	On conserve la quantité de mouvement globale : moi + apport externe	21	20
	Total	100	100
Le principe de l'action et de la réaction s'identifie à la phrase suivante	Celui qui me pousse, recule	65	64
	On me pousse, j'accélère	0	0
	Seul dans la nature, je conserve ma quantité de mouvement	15	13
	Si j'avance, j'avance sans fin.	0	0
	Une force motrice modifie ma quantité de mouvement, mon comportement.	15	13
	On conserve la quantité de mouvement globale : moi + apport externe	5	10
	Total	100	100

Source: Données de l'enquête.

Le principe de l'action et de la réaction s'identifie à la phrase suivante: «on conserve ma quantité de mouvement globale: moi + apport externe » dans les proportions suivantes: 15% pour les étudiants en Licence et 13% pour ceux de Master. Nous remarquons qu'il ya eu une confusion avec la reformulation suivante: «une force motrice modifie ma quantité de mouvement, mon comportement» avec les proportions de taux de réponses correctes.

En combinant les réponses correctes et incorrectes pour chaque principe, nous enregistrons les résultats suivants:

des taux de 58% pour les étudiants en Licence et 64% pour ceux en Master contre des taux de réponses incorrectes dans le même ordre de 42% et de 36% pour

les reformulations du principe d'inertie;

des taux de 61% pour les étudiants en Licence et 64% pour ceux en Master contre des taux de réponses incorrectes dans le même ordre de 39% et de 36% pour les reformulations du principe fondamental de la dynamique;

des taux de 70% pour les étudiants en Licence et de 74% pour ceux en Master contre des taux de réponses incorrectes dans le même ordre de 30% et de 26% pour les reformulations du principe des actions réciproques.

2.1.2 Sur les Conditions d'applicabilité de Chaque Principe

Nous récapitulons les taux de réponses des étudiants ayant participé à cette étude sur les conditions d'applicabilité des différents principes dans le tableau 2 ci-dessous:

Tableau 2
Répartition des Réponses d'étudiants sur les Conditions d'applicabilité des Trois Principes

Les principes	Les conditions d'applicabilité du principe	% réponses d'étudiants	
		Licence N = 50	Master N = 25
L'application du principe fondamental de la dynamique nécessite de respecter les conditions suivantes	1- Point matériel 2- Référentiel galiléen 3-Variation du vecteur vitesse du centre d'inertie 4-Masse constante 5-Forces non équilibrées	38	42
	1-Solide 2-Référentiel galiléen 3-Accélération constante 4-Masse constante 5-Forces équilibrées	15	15
	1-Solide 2- Référentiel galiléen 3-Vecteur vitesse du centre d'inertie constant 4-Masse constante 5-Forces non équilibrées	11	14
	1-Point matériel 2-Accélération proportionnelle à la masse 3-Masse constante 4-Existence de forces extérieures	36	29
	Total	100	100
L'utilisation du principe de l'inertie conduit à tenir compte des éléments suivants	1-Système isolé ou pseudo-isolé 2-Référentiel galiléen 3-Accélération nulle 4-Mouvement rectiligne uniforme 5-Forces non équilibrées	15	13
	1-Système isolé ou pseudo-isolé 2-Vecteur vitesse du centre d'inertie constant 3-Mouvement rectiligne uniforme 4-Non influence des autres corps 5-Masse constante	43	47
	1-Point matériel 2-Référentiel galiléen 3-Absence de forces 4-Accélération nulle 5-Solide de référence	23	22
	1-Point matériel 2- Vecteur vitesse du centre d'inertie constant 3-Forces équilibrées 4-Mouvement rectiligne uniforme 5-Solide de référence	19	18
	Total	100	100
Appliquer le principe de l'action et de la réaction revient à respecter les conditions ci-après	1-Corps différents en interaction 2-Application instantanée des forces 3-Corps immobiles ou en mouvement 4-Quantité de mouvement du système constante 5-Pas de frottement	48	50
	1-Corps différents en interaction 2-Référentiel galiléen 3-Quantité de mouvement du système constante 4-Actions des deux corps sont réciproques 5-Application instantanée des forces	21	16
	1-Existence d'interactions 2-Corps immobiles ou en mouvement 3-Référentiel galiléen 4-Pas de frottement 5-Forces instantanées	13	14
	1-Existence d'interactions 2-Quantité de mouvement du système constant 3-Pas de frottement 4-Actions des deux corps sont réciproques 5-Système isolé ou pseudo-isolé	18	20
	Total	100	100

To be continued

Continued

Le théorème	Conditions d'applicabilité du théorème	% réponses d'étudiants	
		Licence N = 50	Master N = 25
Appliquer le théorème de l'énergie cinétique nécessite les conditions suivantes	1-Référentiel galiléen 2-Masse constante 3-Vecteur vitesse du centre d'inertie constant 4-Existence de forces extérieures 5-Définition du système d'étude 6- Deux instants distincts t_1 et t_2 7-Distance effectuée	20	19
	1-Référentiel galiléen 2-Masse constante 3-Vecteur vitesse instantanée du centre d'inertie 4-Existence de forces extérieures 5-Définition du système d'étude 6-Distance effectuée	44	49
	1-Existence de forces extérieures 2-Masse constante 3-Vitesse instantanée 4-Définition du système d'étude 5-Distance effectuée 6-Temps mis	25	23
	1-Existence des forces extérieures 2-Masse variable 3-Vecteur vitesse instantanée du centre d'inertie 4-Définition du système d'étude 5-Référentiel galiléen 6-Distance effectuée	11	9
	Total	100	100
L'application du théorème du centre d'inertie nous amène à respecter les conditions ci-après	1-Référentiel galiléen 2-Définition du système d'étude 3-Existence de forces extérieures 4-Masse constante 5-Accélération constante 6-Définition d'un repère	47	49
	1-Définition du système d'étude 2-Définition des conditions initiales 3-Existence de forces extérieures 4-Masse constante 5-Vitesse constante 6-Temps mis	19	17
	1-Référentiel galiléen 2-Définition du système d'étude 3-Existence de forces extérieures 4-Masse constante 5-Vitesse constante 6-Distance effectuée	13	14
	1-Définition du système d'étude 2-Vitesse instantanée 3-Définition des conditions initiales 4-Masse constante 5-Existence des forces extérieures 6-Définition d'un repère	21	20
	Total	100	100

Source: Données de l'enquête.

L'analyse du Tableau 2 montre que:

- au niveau des principes, les taux de réponses correctes pour les deux groupes d'étudiants ne vont pas au-delà de 50%. Ainsi:
- Pour le principe fondamental de la dynamique, la répartition des taux de réponses correctes est de 38% pour les étudiants en Licence contre 62% de taux de réponses incorrectes et de 42% pour ceux en Master contre 58% de taux de réponses incorrectes.

- Concernant le principe d'inertie, la répartition est la suivante: 43% de taux de réponses correctes contre 57% de taux de réponses incorrectes pour les étudiants en Licence, et 47% de taux de réponses correctes contre 53% de taux de réponses incorrectes pour les étudiants en Master.
- A propos du principe de l'action et de la réaction (principe des actions réciproques), les résultats semblent meilleurs: ils sont de 48% de taux

- de réponses correctes contre 52% de réponses incorrectes pour les étudiants en Licence, et 50% de taux de réponses correctes contre 50% de réponses incorrectes pour les étudiants en Master.
- au niveau des théorèmes, nous constatons que les étudiants utilisent ces théorèmes sans connaître leurs conditions d'applicabilité. En examinant les différentes réponses, nous observons que les taux de réponses correctes ne dépassent pas les 50%.
- Pour le théorème de l'énergie cinétique, le taux de réponses correctes est de 44% pour les étudiants en Licence contre 56% de réponses incorrectes, et celui des étudiants en Master est de 49% contre 51% de taux de réponses incorrectes.

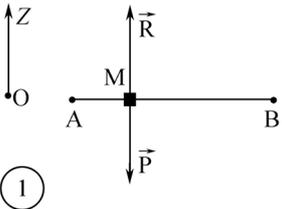
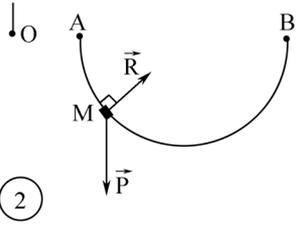
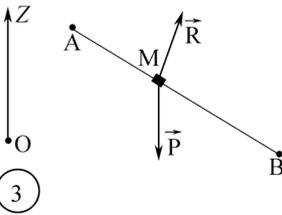
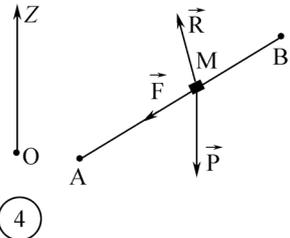
- Concernant le théorème du principe d'inertie, nous relevons un taux de réponses correctes de 47% contre 53% de réponses incorrectes pour les étudiants en Licence, et un taux de réponses correctes de 49% contre 51% de réponses incorrectes pour les étudiants en Master.

Qu'en est-il de la compréhension des théorèmes par ces étudiants ?

2.1.3 Sur la Compréhension du Théorème du Centre d'inertie ou de l'énergie Cinétique

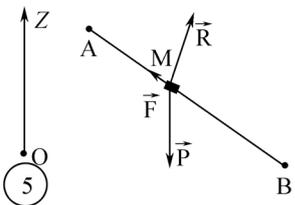
Le Tableau 3 ci-après, donne la répartition des réponses d'étudiants sur l'état de la vitesse du mobile lorsqu'il se déplace du point A au point B. Le mobile étant soumis aux forces représentées sur les différents schémas.

Tableau 3
Répartition des Taux de Réponses des Étudiants sur l'état d la Vitesse du Mobile

Le déplacement du mobile M	Caractérisation de la vitesse du mobile M	% réponses d'étudiants	
		Licence N = 50	Master N = 25
 <p>①</p>	$V_A > V_B$	7	5
	$V_A = V_B$	68	75
	$V_A < V_B$	25	20
	Total	100	100
 <p>②</p>	$V_A > V_B$	16	12
	$V_A = V_B$	65	68
	$V_A < V_B$	19	20
	Total	100	100
 <p>③</p>	$V_A > V_B$	5	2
	$V_A = V_B$	8	6
	$V_A < V_B$	89	92
	Total	100	100
 <p>④</p>	$V_A > V_B$	78	83
	$V_A = V_B$	7	6
	$V_A < V_B$	15	13
	Total	100	100

To be continued

Continued

Le déplacement du mobile M	Caractérisation de la vitesse du mobile M	% réponses d'étudiants	
		Licence N = 50	Master N = 25
	$V_A > V_B$	11	13
	$V_A = V_B$	53	59
	$V_A < V_B$	36	28
	Total	100	100

Source : Données de l'enquête

L'analyse de cette activité montre que les réponses correctes sont au-delà de 50%:

Pour la situation 1: les taux de réponses correctes sont de 68% contre 32% de réponses incorrectes pour les étudiants en Licence, et 75% de réponses correctes contre 25% pour les étudiants en Master.

Concernant la situation 2: les taux de réponses correctes sont 65% contre 35% de réponses incorrectes pour les étudiants en Licence, et 69% de réponses correctes contre 31% de réponses incorrectes pour les étudiants en Master.

Pour ce qui est de la situation 3, nous notons 89% de réponses correctes contre 19% de réponses incorrectes pour les étudiants en Licence, et 92% de réponses correctes contre 8% de réponses incorrectes pour les étudiants en Master.

Les résultats de la situation 4 montrent que les taux de réponses correctes sont de 78% contre 22% de réponses incorrectes pour les étudiants en Licence, et ceux de

réponses correctes sont 83% contre 17% pour les étudiants en Master.

Enfin, la situation 5 donne les tendances suivantes: 53% de réponses correctes contre 47% de réponses incorrectes pour les étudiants en Licence, et 59% de réponses correctes contre 41% de réponses incorrectes pour les étudiants en Master.

2.2 Discussion

2.2.1 Les Lois de Mouvement de Newton

Nous discutons des taux de réponses correctes et incorrectes des étudiants en Licence et Master relatifs aux reformulations et aux conditions d'applicabilité des lois de mouvement de Newton en mécanique classique.

Nous avons regroupé dans chaque type de réponses, le total des taux de réponses correctes et celui des taux de réponses incorrectes, ce qui nous a permis d'avoir le Tableau 4.

Tableau 4
Répartition des Types de Réponses Selon les lois de Mouvement de Newton

Type de réponse	Lois de mouvement					
	Principe d'inertie		Principe fondamental de la dynamique		Principe des actions réciproques	
Réponse correcte	Reformulations					
	Licence pro%	Master pro%	Licence pro%	Master pro%	Licence pro%	Master pro%
	61	65	58	64	80	77
	Conditions d'applicabilité					
	Licence pro%	Master pro%	Licence pro%	Master pro%	Licence pro%	Master pro%
	36	42	43	47	48	50
Réponse incorrecte	Reformulations					
	Licence pro%	Master pro%	Licence pro%	Master pro%	Licence pro	Master pro%
	39	35	42	36	20	23
	Conditions d'applicabilité					
	Licence pro%	Master pro%	Licence pro%	Master pro%	Licence pro%	Master pro%
	64	58	57	53	52	50

Source: Données de l'enquête

Concernant les reformulations, les taux de réponses correctes des étudiants fluctuent entre 58% et 80%. De ces résultats, on pourrait déduire que les étudiants de notre population d'étude maîtrisent le vocabulaire employé et que les différentes reformulations proposées sont mobilisées par ces derniers. Mais avec un niveau d'étude au-delà de BAC + 3, et les taux de réponses incorrectes qui vont de 20% à 42%, cela nous amène à la conclusion que notre population d'étude a une connaissance superficielle du vocabulaire spécifique utilisé (quantité de mouvement, force motrice,...) dans les différentes reformulations. Ils ne maîtrisent par conséquent pas les structures syntaxiques dominantes des fondements des lois de mouvement de Newton dans des activités de reformulation.

Nous pouvons avancer que les sources des difficultés relatives aux taux de réponses incorrectes élevés sont dus au fait que les activités de reformulations ne font pas partie des activités classiques de structuration ou de contrôle des connaissances en classe de physique dans l'enseignement usuel. Lequel enseignement se focalise sur l'usage routinier et abusif des lois de mouvement de Newton mais pas leur compréhension.

Pour les conditions d'applicabilité des lois de mouvement de Newton, nous notons que les taux de réponses incorrectes varient de 50% à 64%. Cette variation indique que certains éléments qui déterminent les conditions d'applicabilité d'une loi tels que le référentiel galiléen dans le cadre du premier principe, la supposition des forces comme instantanées dans le cadre du principe des actions réciproques, ou le point matériel au lieu du solide dans le cadre du principe fondamental

de la dynamique ne sont pas suffisamment abordés ou notre enseignement n'insiste pas assez sur les éléments constitutifs du domaine de validité de la loi. En effet, en analysant les manuels en usage intitulés *Physique* (Collection AREX, Les classiques africains) des classes seconde C et terminales C et D, on se rend vite compte que les difficultés viendraient en partie du contenu et de la structure cumulative où la compréhension des notions est perturbée par d'autres notions antérieures. C'est le cas de l'énoncé du principe de l'inertie où en classe de seconde C (page 44), les auteurs parlent de repère galiléen et en classes de terminale C et D de référentiel galiléen (page 20), et ceux de la relation fondamentale de la dynamique et du théorème du centre d'inertie où il est difficile d'établir une différence entre les deux énoncés (page 21). Ces confusions créent chez les étudiants des obstacles épistémologiques les empêchant de faire le transfert de ces énoncés vers des tâches qui leur sont proposées. En conséquence, ces derniers essaient en vain de s'en sortir en cherchant et en apprenant les énoncés qu'ils sortent de leur contexte et appliquent de manière inappropriée (Anderson & Bodner, 2008).

2.2.2 Les Théorèmes du Centre d'inertie et de l'énergie Cinétique

Le Tableau 5 répertorie les résultats des types de réponses correctes sur les conditions d'applicabilité des théorèmes et leur application dans des tâches qui sont proposées aux étudiants dans des situations de classe.

Dans le tableau, nous mentionnons que les réponses correctes aux niveaux des conditions d'applicabilité et d'application des théorèmes.

Tableau 5
Répartition des Types de Réponses Selon les Théorèmes

Type de réponse	Théorèmes		Théorème de l'énergie cinétique	
	Théorème du centre d'inertie		Théorème de l'énergie cinétique	
	Conditions d'applicabilité			
Réponse correcte	Licence pro %	Master pro %	Licence pro %	Master pro %
	44	49	47	49
	Application des théorèmes			
Réponse correcte	Licence professionnelle %		Master professionnel %	
	70.60		75.40	

Source: Données de l'enquête

En ce qui concerne les conditions d'applicabilité des deux théorèmes, nous notons que les différents taux de répartition des réponses correctes sont inférieurs à 50% alors que ceux concernant l'application de ces théorèmes sont au delà de 70%.

Ces faibles taux de réponses correctes sur les conditions d'applicabilité des théorèmes proviendraient de l'inefficacité de notre enseignement. En effet, en analysant le manuel intitulé *Physique* (Collection AREX, les classiques africains) des classes de terminale C et D, nous

nous apercevons que l'énoncé du théorème de l'énergie cinétique (page 22) n'est pas explicite : les auteurs parlent de la durée de variation de l'énergie cinétique au lieu de variation d'énergie cinétique entre deux points A et B ou entre deux instants précis t_1 et t_2 (il s'agit de la vitesse scalaire instantanée).

Nous notons aussi que notre enseignement donne l'impression que les notions, les concepts, les postulats, les lois et théorèmes d'une matière ne sont pas liés, et donc ils n'ont pas une structure cumulative. C'est le

cas du théorème de l'énergie cinétique et les lois de mouvement de Newton où il n'est indiqué nulle part que c'est l'application du premier principe qui permet d'identifier les forces extérieures qui agissent sur le système, mentionnées dans ce théorème.

Ces résultats confirment une fois encore que notre enseignement privilégie les connaissances déclaratives basées sur la résolution des problèmes algorithmiques qui ne nécessitent que l'application de procédures mémorisées sans nécessairement de compréhension conceptuelle (Cracolice et al., 2008).

CONCLUSION

Au terme de cette étude, qui ne prétend pas être exhaustive sur les difficultés et obstacles liés à la compréhension des lois de mouvement de Newton et les théorèmes du centre d'inertie et de l'énergie cinétique, le travail montre que les difficultés des étudiants se situeraient au niveau de la maîtrise des champs de validité de ces lois et théorèmes, et surtout un enseignement qui privilégie les connaissances déclaratives au profit des autres connaissances (conditionnelles et procédurales).

L'analyse des difficultés révèle aussi qu'au terme de cette étude, l'action doit s'inscrire surtout dans le moyen et long terme en s'attaquant aux premiers rapports qu'entretiennent les élèves avec les lois de mouvement de Newton et les éclairages épistémologiques que l'on doit apporter sur les théorèmes du centre d'inertie et du théorème de l'énergie cinétique. Dans ces rapports la place que doit occuper la reformulation doit être explicitée avec tout le recul épistémologique.

Sur le plan didactique, le problème se pose donc, en terme de curricula et de démarches d'enseignements pour les élèves alors que dans le contexte de formation

des enseignants, il se pose en terme de changement conceptuel.

BIBLIOGRAPHIE

- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Clement, J. (1983). *Students' alternative conceptions in mechanics: A coherent system of preconceptions?* Proceeding of conference on Students' Misconceptions in Science and Mathematics, Cornell University, New York.
- Cracolice, M. S., Deming, J. C., & Ehlet, B. (2008). Concept learning versus problem solving: a cognitive difference. *Journal of Chemical Education*, 85(6), 873-878.
- Desautels, J., & Larochelle, M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique?* Quebec: Presses de l'Université Laval.
- Jaballah, H. B. (2006). *La formation du concept de force dans la physique moderne. Contribution à une épistémologie historique*. Paris: Harmattan.
- Koffi, K. I. (2014). Influence des éléments contextuels dans l'apprentissage de la mécanique Newtonienne en seconde en Côte d'Ivoire, *Liens* n°18, 38-54.
- Mohapatra, J. K. (1989). Pupils, teachers, induced incorrect generalization and the concept of force. *International Journal of Science Education*, 11(4), 429-439.
- Nanzouan, S. P., N'dri, K., & Tiamaoui, B. T. (1999). *Physique-Chimie. Collection AREX, les classiques africains*. Seconde C. Port Louis.
- Nguessan, K. (2011). Le concept d'énergie et les grandeurs associées. *Revue Ivoirienne des Sciences de l'Éducation*, N°11, 91- 107
- Salahou, S., Tiamaoui, B. T., & Kouyaté, I. (2000). *Physique. Collection AREX, Les classiques africains*. Terminales C et D. Camp Benoît, Petite Rivière.
- Sallaberry, J. C. (2004). *Dynamique des représentations et construction des concepts scientifiques*. Paris: Edition L'Harmattan.