

**Enseignement du concept d'inertie : aperçu historique,
épistémologique et didactique**
**Teaching the concept of inertia: historical, epistemological and
didactic overview**

Hechiche Ali ^{1*}, Mazouze Brahim ²

¹ Laboratoire de Didactique des Sciences, E.N.S de Kouba, Alger,
ali.hechiche@g.ens-kouba.dz

² Laboratoire de Didactique des Sciences, E.N.S de Kouba, Alger,
bramazouz@yahoo.fr

Date de réception: 31/5/2022 de révision: 15/6/2022 Date d'acceptation: 28/8/2022

Résumé

Le concept d'inertie est un concept clé en physique. Bien qu'il paraisse facile, il n'en est pas ainsi, car dans sa genèse, sa structure intime il est lié à l'essence même de la matière. Les apprenants trouvent des difficultés à comprendre ce concept, leurs enseignants aussi.

A cet effet, une étude épistémologique et didactique a été menée dans le but de localiser les obstacles épistémologiques et d'éclairer les points de confusion entachant la construction de ce concept. Aussi, une analyse des programmes de physique nous a permis de relever des incohérences et des lacunes dans la transposition didactique. L'enquête et les interviews menées avec un groupe d'enseignants ont permis de montrer que les enseignants eux-mêmes trouvent des difficultés dans la maîtrise de ce concept, ce qui aura un effet négatif sur le savoir enseigné et par conséquent le savoir acquis par les apprenants.

Mots clés : Inertie, obstacles, confusions, transposition didactique, programme d'enseignement.

Abstract

The concept of inertia is a key concept in physics. Although it seems easy, it is not so, because in its genesis, its intimate structure it is linked to the very sense of matter. Learners find this concept difficult to understand, so do their teachers.

To this end, an epistemological and didactic study was carried out in order to locate epistemological obstacles and shed light on the points of confusion besmirch the construction of this concept. Also, an analysis of the physics programs allowed us to identify inconsistencies and gaps in the didactic transposition. The survey and interviews carried out with a group of teachers showed that teachers themselves find difficulties to master this concept, which will have a negative effect on the knowledge taught and therefore the knowledge acquired by learners.

Keywords : Inertia, obstacles, confusions, didactic transposition, teaching program.

* Auteur correspondant: Hechiche Ali, Email: ali.hechiche@g.ens-kouba.dz

1. Introduction:

L'enseignement de la physique pour les apprenants (niveau collège et lycée) est un élément essentiel pour le développement d'une culture scientifique et technologique. Un tel développement permet l'accès aux études scientifiques et technologiques dans le cycle universitaire. Malheureusement cette tâche n'est pas aussi évidente car les concepts de la physique sont difficiles à acquérir par les apprenants. Dans son constat sur l'enseignement de la physique au lycée en France, Hulin (1987, p.21) atteste que : « Par essence - et c'est un handicap rédhibitoire au niveau de l'enseignement- la physique se "séquentialise" mal ». Cette affirmation de Hulin, souligne la difficulté de subdiviser un concept en physique en « sous-concepts » par souci de simplification pour ensuite en faire une (re)construction par adjonctions successifs. Ce constat est corroboré par Lounis (2002, p.1) qui évoque le danger du morcellement des savoirs enseignés dans le but de les simplifier pour l'apprenant, dans le cadre de la transposition didactique, ce qui rendrait très difficiles les possibilités et les capacités de synthèse, notamment.

Parmi ces concepts, on retrouve l'inertie qui est un concept fondamental en physique, on le retrouve aussi bien en mécanique classique que dans la théorie de la relativité, il est à l'origine de la première loi du mouvement dans la mécanique de Newton. Cependant, ce concept présente un « lourd fardeau » qu'il faut traîner pour l'enseignement de la physique!, sachant que les élèves ont du mal à comprendre les concepts scientifiques en général et ceux de physique de manière particulière. La compréhension du concept d'inertie n'est pas une évidence comme on peut le croire à priori, car dans sa genèse, sa structure intime l'inertie est intimement liée à l'essence même de la matière et à d'autres concepts fondamentaux lesquels ne manquent pas aussi de difficultés. C'est pourquoi la compréhension et la construction de ce concept en classe est loin d'être une évidence et les élèves rencontrent souvent de nombreuses difficultés lors de son apprentissage. Dans ce sens, Gil-Pérez (1993, p.51) affirme que : «Il est certain qu'un grand nombre de concepts centraux de la science sont assez difficiles à construire par la majorité pour ne pas dire la totalité des adolescents et même des adultes universitaires».

Beaucoup de travaux de recherches en didactique ont été menés dans l'enseignement-apprentissage des différents concepts de la physique de

manière générale et des propositions de stratégies et de démarches globales ont été suggérées pour aider l'élève dans la construction de ces concepts en classe. De notre point de vue, une analyse approfondie de chaque concept et de sa transposition didactique dans les programmes d'enseignement doit être entreprise, car en physique chaque concept se distingue par ses propres difficultés. En effet, le concept d'inertie, objet de notre recherche se distingue par sa caractéristique liée à la quintessence même de la matière source de difficultés spécifiques qu'il faut localiser afin d'y remédier.

A cet effet, notre travail part d'un double constat, le premier c'est que beaucoup d'enseignants pensent construire facilement avec leurs élèves les concepts fondamentaux de la physique sans se soucier des subtilités lors de l'opération d'enseignement-apprentissage, mais ce n'est certainement pas le cas, car la littérature relative au fondement de la physique au cours des derniers siècles a montré qu'aucune des idées fondamentales n'est définie de manière satisfaisante et définitive (Koyré, 1968, 1986 ; Hulin, 1987; Simaciu, 2000; Sadykov, 2006). Le deuxième, c'est celui que nous faisons en tant qu'enseignant chercheur en didactique depuis plusieurs années sur les difficultés de l'enseignement des concepts fondamentaux de la physique. Ainsi, notre étude s'inscrit dans une approche analytique, dans laquelle nous essayerons de donner des réponses aux questions de recherche suivantes :

Le concept d'inertie est-il facile à assimiler par les apprenants ? Les enseignants maîtrisent ils ce concept ? Y a-t-il des obstacles d'ordre épistémologique ? Y a-t-il des lacunes et des ambiguïtés dans la transposition didactique qui seraient à l'origine des difficultés des apprenants ?

Partant de ce questionnement, l'hypothèse directrice de ce travail consiste à considérer que, compte tenu de sa complexité, le concept d'inertie est mal perçu par beaucoup d'enseignants, ce qui entacherait le savoir enseigné. A cet effet, nous mènerons dans un premier temps une approche historique et épistémologique du concept d'inertie afin de localiser d'éventuels obstacles épistémologiques, car la signification de ce concept ne peut se comprendre sans référence à l'histoire. Dans un second temps, nous effectuerons, par le biais de la transposition didactique, une analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative pour étudier les programmes d'enseignement de sciences physiques et des manuels scolaires concernant le concept d'inertie au cours des trois années de lycée et en début d'université, dans le but de

déceler des lacunes, des défaillances ou des incohérences dans ces programmes qui seraient en partie à l'origine de certaines difficultés rencontrées par les apprenants. Enfin, pour approfondir notre recherche, nous mènerons une enquête et des interviews avec des enseignants de lycée en poste.

2. Cadre general:

Le concept d'inertie est un concept fondamental en physique classique. C'est un concept qui a eu un effet profond sur le développement scientifique. Il permet de caractériser la résistance au changement de l'état cinématique d'un corps matériel ou d'un système mécanique. Il est intimement lié à d'autres concepts fondamentaux tels que : la masse inertielle, le moment d'inertie, la force d'inertie, le référentiel inertielle, ...etc.

Beaucoup de travaux de recherches en didactique ont été menés ces dernières décennies, ciblant tous les domaines de la physique notamment la mécanique. Certains de ces travaux se sont entièrement centrés sur l'identification et l'analyse des difficultés conceptuelles ainsi que du raisonnement commun des apprenants en dynamique élémentaire. L'attribution de la force à l'objet, le « capital force », rapproché à la notion médiévale d'impétus, les décalages temporels entre grandeurs dans une interaction entre deux objets, la relation force vitesse ou "force mouvement" affectant le principe d'inertie, sont autant d'éléments de raisonnement qu'il faut prendre globalement en compte sous peine d'inefficacité dans l'enseignement-apprentissage de la mécanique de manière générale (Viennot, 1996).

Cependant, peu de travaux de recherches concernant le concept d'inertie ont été menés explicitement. On retrouve des éléments d'analyse liés directement ou indirectement à l'inertie dans certains travaux relatifs aux concepts de poids, de masse, de gravité (Galili, 1993 ; Givry, 2003), ou sur les lois de Newton, notamment la première (Viennot, 1979; Coppens, 2007; Azzaoui et al 2014).

De même, Mc Dermott (1998), Coppens (2007) ont établi un bilan des recherches sur les représentations des élèves en mécanique, notamment celles liées au principe d'inertie, montrant leurs impacts négatifs sur la compréhension des concepts et des phénomènes physiques. Ces études ont montré, par exemple, que pour beaucoup d'élèves, le seul mouvement

naturel d'un objet est de ne pas bouger, que lorsqu'un objet est en mouvement même rectiligne uniforme, une force agit sur lui dans le sens de déplacement, que le mouvement est alors expliqué par le fait que la force inventée est plus grande que la force réelle, que les objets s'arrêtent dès que la force motrice n'agit plus, que plus la masse de l'objet est grande plus il s'arrête plus facilement, que l'inertie est considérée comme une force qui garde l'objet en mouvement.

Nous avons adopté dans notre travail une approche analytique, portant sur la transposition didactique dans une perspective curriculaire qui touche le contenu de l'enseignement et la stratégie adoptée dans l'élaboration des programmes ainsi que des conceptions des apprenants faisant obstacle à la compréhension du concept d'inertie.

En effet, le concept de transposition didactique introduit en didactique des mathématiques par Chevallard (1985) occupe de nos jours une place centrale dans le champ de la didactique des sciences de manière générale.

Chaque fois qu'un savoir est transposé, il subit un certain nombre de transformations afin qu'il puisse s'adapter aux objectifs tracés. Le savoir scientifique ne peut pas être enseigné tel quel aux élèves, et toute la difficulté de l'enseignement réside dans la transformation d'un savoir pour le rendre "enseignable" (Hulin, 1987). Dans ce cadre, cette difficulté est d'autant plus importante pour la notion d'inertie notamment dans les programmes de physique algériens. Aussi, beaucoup de recherches ont montré par le biais d'évaluations, que le savoir enseigné n'est pas nécessairement le savoir appris par les apprenants et que l'écart entre les deux s'explique par plusieurs causes notamment les conceptions erronées ou représentations des élèves.

Il ressort de plusieurs études (Viennot, 1996 ; Mc Dermott, 1998 ; Coppens, 2007) que certaines représentations, repérées chez l'apprenant, trouvent leurs origines dans le contenu du savoir à enseigner transcrit dans les programmes d'enseignement et véhiculées dans les manuels scolaires. De ce fait, ce savoir transposé ne répond pas à l'attente de l'élève, ni même celle de l'enseignant, souvent il y contribue aux difficultés des apprenants. Le repérage de ces représentations dans les contenus d'enseignement permet leurs prises en charge, comme l'a bien révélé Viennot (1996, p.22).

3. Aperçu historique et épistémologique:

Avant Galilée, on retrouve la théorie du mouvement dans la philosophie d'Aristote (384-322 av. J.C.), pour qui l'inertie sans toutefois être compatible avec celle de nos jours est décrite par ce qu'il appelle, l'état naturel d'un corps. Cet état naturel est l'immobilité en son « lieu naturel », et son « mouvement naturel » est d'y retourner par une « propriété interne de finalité ».

Dans son traité du ciel, Aristote établit une distinction entre les mouvements naturels et les mouvements violents. Selon lui, il n'y a que deux mouvements naturels simples : le rectiligne (comme la chute des corps lourds) et le circulaire (comme la révolution des astres). D'autre part, le mouvement d'un projectile est un exemple typique de mouvements violents Dugas in (Eckstein et Shemesh, 1989). La Terre est immobile au centre de l'univers et le ciel tourne régulièrement autour d'un axe passant par ce centre (Dijksterhuis, 1961, p.32). Selon cette théorie un mouvement uniforme rectiligne éternel est impossible dans un cosmos fini, tandis que le « mouvement violent » s'arrête lorsque le moteur cesse de s'exercer, et l'objet mû par une propriété interne de finalité étant alors ramené vers son lieu naturel de repos.

Pour pallier les manquements des explications d'Aristote au sujet du comportement de divers projectiles, Philopon, Averroès, Buridan, ont inventé le concept « d'impetus » une sorte d'impulsion communiquée par le premier moteur.

C'est avec Galilée (1564-1642) que la notion d'inertie commence à prendre sa forme moderne. Il abandonne la théorie de l'impetus et implique son principe de relativité pour décrire le mouvement à travers ses expériences de chute libre et de billes sur un plan incliné, sans toutefois proposer de lois. Ainsi, après la descente du plan incliné, le mouvement horizontal de la bille doit être un type de mouvement naturel qui ne nécessite aucune force externe (mouvement inertiel).

Kepler a été le premier à citer le terme « inertie », pour qui il signifie : « résistance naturelle au mouvement » (Koyré, 1986, p.164).

Koyré (1968, p.15) confirme que le terme inertie pour Kepler veut dire : « résistance au mouvement, et non, comme pour nous, maintien, indifféremment, d'un état de mouvement ou de repos et résistance au changement de l'un à l'autre ». Il rajoute que pour Kepler, la persistance du mouvement, suppose l'existence d'une action constante (force) sur le

mobile et c'est la vitesse, et non l'accélération, qui est proportionnelle à l'action de cette dernière.

Dans ses Principes de philosophie, Descartes donne une formulation de l'inertie dans deux parties distinctes, représentant ses deux premières lois de la nature, la première affirmant la conservation du mouvement, propriété inertielle du mouvement ou du repos en l'absence de force externe, la seconde exprime qu'un corps a tendance à toujours se mouvoir en ligne droite. Cependant, Descartes ne donne pas assez d'informations sur les raisons pour lesquelles, un corps qui n'est soumis à aucune force extérieure prend systématiquement un mouvement rectiligne et uniforme (Billette, 2005).

Aussi, comme Galilée, Descartes considère le mouvement et le repos comme des états. Cette nouvelle vision marque une rupture déterminante avec les conceptions scolastiques du mouvement. Rupture notée par Descartes : « Et moi je conçois que le repos est aussi bien une qualité qui doit être attribuée à la matière pendant qu'elle demeure en une place, comme le mouvement en est une qui lui est attribuée, pendant qu'elle en change » (Blay, 1998, p.337).

Pour Leibniz il y a une différence entre le concept d'inertie et le principe d'inertie, sans toutefois qu'il y ait de contradiction entre les deux mais plutôt il y voit un lien étroit entre les deux concepts. En effet, Leibniz à l'instar de Kepler conçoit l'inertie naturelle comme une résistance au mouvement. Il justifie l'existence de l'inertie naturelle par le fait qu'un corps offre une certaine résistance à être mis en mouvement lorsqu'il est initialement au repos, ou par le fait qu'il offre une résistance lorsqu'on tente de modifier sa vitesse ou sa direction lorsqu'il est déjà en mouvement, pour Leibniz un tel comportement ne pouvant être expliqué à partir de la seule description géométrique d'un corps (Billette, 2005). Leibniz attribue cette persévérance du mouvement à une forme d'activité dans les corps. De même, dans ses écrits philosophiques Leibniz in (Billette, 2005, p.143) relie l'inertie au changement d'état de mouvement.

Newton s'inspirant des écrits de Galilée et de Descartes énonce la première loi du mouvement ou principe d'inertie dans son œuvre (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) « 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. »

Newton a attribué au concept d'inertie une autre signification distincte de celle de Kepler, pour lui, un corps matériel, en vertu de son inertie, « persévère dans son état actuel, de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite » (Koyré, 1968, p.97). Bien que différente de celle de Kepler, cette formulation de l'inertie, considère une « force inhérente à la matière » pour justifier le mouvement inertiel, et que c'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite (Simonet, 2010, p.47).

Cette présentation succincte de l'évolution du concept d'inertie au cours de l'histoire nous a permis de noter les principaux changements conceptuels qui se sont produits contre les théories existantes, chose toute à fait naturelle en science au fur et à mesure de son évolution, mais cela constituera sans aucun doute des obstacles dans l'enseignement du concept. La question fondamentale qui se pose est : Qu'est-ce que l'inertie ? Quelle est son origine ?

Certains pensaient que c'est un phénomène évident, mais cette question n'a pu être mise en évidence qu'avec l'avènement de Galilée en 1638, et personne n'a encore été capable d'en définir exactement l'origine d'une manière reconnue par l'ensemble des physiciens. Sadykov (2006) reconnaît que le problème de l'inertie a été discuté plus d'une décennie, cependant, son origine, ses sources et les raisons de sa forme actuelle n'ont pas encore été clairement comprises.

Cependant, de nos jours l'inertie est caractérisée comme étant la résistance au changement de l'état de mouvement. Ainsi, plus l'inertie d'un objet est grande plus il sera difficile de l'accélérer, de ralentir ou de lui changer de direction. Pour Simaciu (2000), l'inertie est la propriété d'un système pour s'opposer à la modification de son état.

4. Étude didactique:

L'objectif principal que s'assigne la recherche en didactique de manière générale dans toutes les disciplines et la didactique des sciences de manière particulière est l'amélioration de la qualité de l'opération d'enseignement-apprentissage en mettant en évidence les obstacles et les difficultés que rencontrent les apprenants dans l'acte d'apprentissage dans le but d'améliorer leurs performances, et mettre à la disposition des formateurs, directement ou indirectement, les procédés, méthodes et techniques pouvant

aider ces derniers dans leur tâche d'enseignement. Dans ce contexte, Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, et Toussaint (1997, p.5) affirment que ce qui fonde la didactique « c'est la prise de conscience qu'il existe des difficultés d'appropriation qui sont intrinsèques aux savoirs, qu'il faut diagnostiquer et analyser avec une grande précision pour faire réussir l'élève ».

Dans les travaux s'inscrivant dans la problématique générale des recherches sur la transposition didactique selon Chevallard (1985), les programmes et les manuels scolaires véhiculent le contenu et les concepts enseignables. Ils sont considérés comme un des facteurs pouvant influencer ceux qui les utilisent, les enseignants et/ou les apprenants. Dans la majorité de ces travaux une étude des programmes et manuels scolaires est entreprise pour essayer de comprendre, de donner des explications aux difficultés, aux obstacles, aux raisonnements des élèves et des étudiants concernant l'apprentissage d'une notion, d'un concept précis (Viennot, 1996, p.22), d'identifier les stratégies et styles pédagogiques utilisés (Ouarzeddine, 2020, p.1725).

Dans le cadre de notre recherche l'évolution historique et épistémologique du concept d'inertie montre bien que sa compréhension n'est pas une évidence, car sa structure est intimement liée à d'autres concepts fondamentaux telles que la masse inertielle, le moment d'inertie, les forces d'inertie, le référentiel inertielle, le principe d'inertie. L'enchevêtrement de tous ces concepts montre toute la complexité si on veut donner à l'élève une vue profonde (Hulin, 1987), par conséquent son enseignement-apprentissage présentera beaucoup de difficultés sur le plan conceptuel.

Dans ce contexte, Piaget (1974, p.237) définit la compréhension, en relation au savoir-faire, pour lui, la réussite est subordonnée à comprendre en action un phénomène ou une situation d'apprentissage permettant d'atteindre les objectifs visés, comprendre c'est aussi réussir à résoudre les mêmes problèmes dans des situations nouvelles. Par conséquent, si les élèves arrivent à résoudre les exercices et problèmes lors de l'étude de la première loi de Newton, cela ne veut pas dire que la compréhension du concept d'inertie est acquise, car il y a lieu de préciser à ce niveau la confusion entre concept et principe d'inertie existant dans les programmes et manuels scolaires concernant l'étude de la notion d'inertie.

Aussi, il y a lieu de signaler que cette difficulté se retrouverait chez certains enseignants car il suffit qu'un élève doué pose la question : Qu'est-ce que

l'inertie monsieur le professeur et quelle est son origine ? pour que les connaissances du professeur soient remises en cause.

Partant de cette problématique, nous avons mené une analyse des programmes et manuels scolaires officiels de physique algériens en examinant la place, la pertinence et la progression de cette notion au cours du palier secondaire (lycée), ainsi qu'une analyse du programme de mécanique de première année d'université.

4.1. Analyse du programme:

Nous allons dans cette partie, faire l'analyse des nouveaux programmes de l'enseignement secondaire concernant la notion d'inertie, mis en place graduellement depuis 2005, ainsi que des manuels scolaires officiels édités par l'ONPS (office national des publications scolaires) au nombre de trois, sachant qu'il y a un manuel unique et obligatoire pour chaque année d'étude - Programme de 1ère année secondaire (M. E. N, 2005)

On a relevé que le concept « d'inertie » n'est explicité, ni dans le programme ni dans le manuel scolaire, par contre le principe d'inertie est utilisé ici pour définir le concept de « force » et aussi comme première approche de la deuxième loi de Newton en reliant force et variation de vitesse.

- Programme de 2ème année secondaire (M. E. N, 2006)

La notion d'inertie n'est traitée que pour la filière « mathématiques », elle est présentée au 1er chapitre intitulé : « Energie » : Travail et énergie cinétique, cas du mouvement de rotation. Nous relevons à ce niveau l'étude du mouvement de rotation pour le calcul de l'énergie cinétique de rotation sans toutefois expliciter la notion d'inertie, ni le moment d'inertie. Néanmoins, le livre scolaire a présenté les formules des moments d'inertie dans un tableau pour les cas simples sans aucune explication. On note ici le caractère purement « calculatoire » accordé à cette notion.

- Programme de 3ème année secondaire (M. E. N, 2007)

De même ici, au chapitre 5, intitulé « l'évolution d'un système mécanique » à aucun moment le concept d'inertie n'a été cité ni explicité dans le programme officiel, par contre nous avons relevé que le manuel scolaire (Tome 1) a remédié à la défaillance du programme et a donné une explication succincte du concept d'inertie.

L'analyse des programmes que nous avons menée a touché les trois années

du palier secondaire et nous a permis de constater des défaillances au niveau de la transposition didactique, susceptibles d'être sources de difficultés pour les apprenants.

Tout d'abord, la notion d'inertie et de moment d'inertie ne sont explicités nulle part dans les trois niveaux d'étude au lycée, bien que les programmes traitent les mouvements de translation et de rotation, ce qui représente pour les élèves un obstacle à la compréhension de ce concept. Aussi, aucune distinction n'a été faite entre la masse inertielle, la masse gravitationnelle et la masse pesante, par conséquent, ceci entrainerait certainement chez les élèves un risque de confusion entre ces types de masses.

Si le programme de 1^{ère} année secondaire a traité la notion de repère inertielle, aucune indication sur les repères non inertiels n'a été donnée pour les autres années. De même, les programmes n'ont pas traité le concept de force inertielle (force fictive) et sa comparaison à la force réelle.

La non pertinence des exercices proposés dans les manuels scolaires selon notre analyse et l'aspect "calculatoire" adopté dans la démarche ne permet pas une évaluation objective des acquis des élèves à propos de la notion d'inertie. Le tableau suivant donne un aperçu sur le nombre très réduit et insuffisant des exercices traitant le principe d'inertie, et l'absence total de ceux concernant le concept d'inertie.

Tableau N° 1- Nombre d'exercices sur le principe d'inertie

Année d'étude et chapitre	Nombre d'exercices	Remarques
1 ^{ère} année «Mouvements, Repères et Forces»	10 sur 61	Rectiligne (exo10) ; Curviligne (exo1, 6 et 10) sur principe d'inertie ; Repères inertiels (exo 1, 3, 4, 6, 7 et 30)
2 ^{ème} année «Énergie et Travail»	1 sur 90	Exercice résolu sur le principe d'inertie
3 ^{ème} année «Mécanique de Newton»	0 sur 49	

Source : Etabli par les auteurs

- Programme de mécanique de 1^{ère} année d'université (MESRS, 1998)

En première année d'université, le programme de mécanique a traité les trois lois de Newton en deux séances d'une heure trente minutes que nous estimons non suffisantes pour une étude détaillée. Le concept d'inertie a été présenté d'une manière très superficielle et ambiguë. On note une focalisation sur l'étude de la deuxième loi de Newton de manière globale sans détails ni distinction entre la masse inertielle et la masse gravitationnelle.

4.2. Enquête:

L'objet de cette enquête est de faire une recherche sur le sens donné à l'inertie par les enseignants qui ont la tâche de transmettre le savoir aux apprenants ou plutôt construire avec ces derniers ce savoir. En effet, dans la nouvelle approche par compétences adoptée dans les nouveaux curriculums dans notre pays, le rôle de l'enseignant est crucial dans l'opération d'enseignement-apprentissage, il joue le rôle de médiateur d'accompagnateur. Il a la responsabilité de créer un climat propice à la mise en place d'une démarche centrée sur l'élève pour la construction des concepts et de veiller à leurs validités scientifiques, pour cela il doit impérativement maîtriser les concepts enseignés, notamment le concept d'inertie objet de notre recherche.

Pour cela nous avons mené une enquête par le biais d'un questionnaire papier-crayon, en sollicitant 81 enseignants exerçant dans plusieurs lycées de la région d'Alger.

Questionnaire

Nous avons élaboré un questionnaire formé d'une question concernant le sens de l'inertie suivie d'un ensemble de réponses. Nous avons employé une tournure de phrase qui ne s'adresse pas directement à l'enseignant interrogé afin de l'exhorter à donner des réponses honnêtes et spontanées et nous lui avons signifié qu'il ne s'agit pas d'une évaluation de ses connaissances.

Nous avons élaboré un questionnaire formé d'une question concernant le sens de l'inertie suivie d'un ensemble de réponses. Nous avons employé une tournure de phrase qui ne s'adresse pas directement à l'enseignant interrogé afin de l'exhorter à donner des réponses honnêtes et spontanées et nous lui avons signifié qu'il ne s'agit pas d'une évaluation de ses connaissances.

Les réponses proposées sont construites autour des ambiguïtés possibles dans le sens de l'inertie que nous avons relevées dans notre étude sur l'évolution du concept à travers l'histoire ainsi que dans notre analyse des contenus des programmes de physique. Ces ambiguïtés sont liées au concept et principe d'inertie, résistance et persévérance de l'objet, résistance au mouvement et résistance à la variation de l'état de mouvement et enfin la

prise en compte ou pas de l'état de repos. Le questionnaire demande de cocher la réponse correcte.

La question se présente comme suit :

Question : Le concept d'inertie est compris chez certains enseignants comme étant :

Tableau N° 2 : Types de réponses

①	Résistance de l'objet au mouvement
②	Persévérance de l'objet dans son état de mouvement
③	Résistance de l'objet à la variation de son état de mouvement ou de repos
④	Persévérance de l'objet dans l'état de repos
⑤	Persévérance de l'objet dans le mouvement uniforme

Source : Etabli par les auteurs

Résultats de l'enquête :

Nous avons regroupé les réponses des enseignants dans le tableau suivant en notant que certains candidats ont coché plus d'une réponse ce qui nous a conduit à les classer en huit catégories de réponses. On s'intéressera dans notre analyse aux grandes tendances de réponses.

Tableau N° 3 : Réponses en (%) pour le : « sens de l'inertie chez les enseignants » (N=81)

N° Rép.	Groupes de réponses	%
Rép ①	Résistance de l'objet au mouvement	7
Rép ②	Persévérance de l'objet dans son état de mouvement	38
Rép ③	Résistance de l'objet à la variation de son état de mouvement ou de repos	7
Rép ④	Persévérance de l'objet dans l'état de repos	4
Rép ⑤	Persévérance de l'objet dans le mouvement uniforme	2
Rép ⑥	Réponse juste + une réponse fausse ou plus	10
Rép ⑦	2 réponses fausses ou plus	26
Rép ⑧	Sans réponse	6

Source : Etabli par les auteurs

De manière globale, les résultats enregistrés dans ce tableau montrent que la majorité des enseignants (93%) n'ont pas choisi la réponse correcte, par conséquent le sens de l'inertie chez ces derniers serait ambiguë ou ne maîtrisent pas du tout ou en partie cette notion.

- Nous avons relevé que 7% uniquement d'enseignants ont choisi la réponse correcte (réponse en fond gris dans le tableau).

- Toutefois, nous avons repéré qu'un groupe d'enseignants (10%) ont coché la réponse correcte et en même temps une ou plusieurs réponses fausses ce qui attesterait chez ces derniers d'une interprétation équivoque de l'inertie.

- Par contre 26% (près d'un quart) des enseignants ont coché plusieurs réponses fausses ce qui témoigne et confirme la non compréhension de la notion d'inertie chez ces derniers.

- 38% des enseignants ont choisi la réponse ②, ces derniers feraient donc la confusion entre le concept et le principe d'inertie, confusion probablement sur le plan conceptuel ou sémantique entre résistance et persévérance de l'objet.

- En cochant la réponse ①, 7%, des enseignants ne distinguent pas résistance au mouvement et résistance à la variation de l'état de mouvement ainsi que la non prise en compte de l'état de repos.

Dans le but d'avoir plus de détails sur les différents types de réponses et de consolider nos résultats nous avons fait suivre cette enquête d'une série d'interviews.

4.3. Interviews

Pour approfondir les prospections, nous avons mené des entretiens (avec enregistrements) avec des enseignants de lycée au nombre de 10, ayant une ancienneté de 20 ans en moyenne.

Nous leur avons posé les questions suivantes en leur demandant de justifier leurs réponses:

Question 1: Que signifie l'inertie pour vous ?

Question 2: La notion d'inertie a été omise dans les programmes. Pour vous, ceci présente-t-il un handicap pour la compréhension de ce concept par les élèves ?

Question 3: existe-t-il un symbole désignant l'inertie ?

Dans le but de mettre les enseignants dans des conditions favorables pour donner des réponses non biaisées, nous avons chargé un enseignant de lycée que nous avons entraîné à cette technique d'investigation pour mener ces entretiens.

Résultats des interviews

Question 1: « Que signifie l'inertie pour vous ? »

6 enseignants (soit 60%) ont donné des réponses erronées on peut citer quelques-unes :

- on dit qu'un corps est inerte si aucune force extérieure n'agit sur lui
- corps au repos ou en mouvement rectiligne et uniforme
- il n'existe pas de corps au repos dans l'univers

Par contre les quatre autres enseignants (40%) ont donné des réponses correctes.

Question 2 : « La notion d'inertie a été omise dans les programmes. Pour vous, ceci présente-t-il un handicap pour la compréhension de ce concept par les élèves ? »

Pour cette question, 6 enseignants (soit 60%) ont déclaré que l'omission du concept d'inertie dans les programmes empêche la compréhension de ce concept et ils ont suggéré de réécrire ces programmes, après une évaluation objective.

Par contre pour deux enseignants ceci n'a aucun effet sur la progression de l'enseignement de ce concept, puisque les élèves arrivent à résoudre leurs exercices concernant le principe d'inertie (et non le concept d'inertie), alors que les réponses des deux autres enseignants restant sont hors contexte (non exploitables).

En résumé, bien qu'il s'agisse d'enseignants ayant une longue expérience, on relève chez ces derniers la non compréhension profonde du concept d'inertie et une confusion entre concept et principe d'inertie qui certainement a un effet négatif sur le savoir enseigné et par conséquent le savoir acquis par les élèves.

5. Conclusion et perspectives:

En nous appuyant sur l'histoire et l'épistémologie du concept d'inertie, sur l'analyse des programmes et des manuels scolaires ainsi que sur notre enquête, notre travail nous a permis de montrer que les concepts fondamentaux de la physique que nous pensions maîtriser ne sont pas aussi faciles qu'on le croyait, notamment le concept d'inertie car il est intimement lié à l'essence même de la matière, par conséquent la transposition didactique pour ce concept comportera inévitablement un certain nombre de difficultés.

En définissant, l'inertie comme étant « la résistance de l'objet à la variation de son état de mouvement ou de repos », notre étude historique nous a permis de mettre en évidence, à travers les grands changements conceptuels depuis Aristote à Newton, des ambiguïtés relatives aux expressions formulées: résistance au mouvement, résistance au changement de

mouvement et persévérance dans le mouvement d'un objet, ambiguïtés entraînant inéluctablement des confusions entre concept et principe d'inertie, résultat d'ailleurs consolidé par notre enquête. Aussi, selon les conceptions aristotéliennes, la position de repos ou l'immobilité d'un objet due à son inertie est considérée comme l'état naturel de l'objet qui est en son « lieu naturel », alors que c'est une qualité qui doit être attribuée à la matière pendant qu'elle demeure en une place, comme le mouvement en est une qui lui est attribuée, pendant qu'elle en change.

Le concept d'inertie, ou l'inertie tout simplement est presque étrange dans la pensée des élèves et des étudiants, parce qu'il est déjà peu ou pas du tout cité dans les programmes officiels de physique comme la montré notre analyse des programmes, par conséquent pour les enseignants et ipso facto pour les apprenants le sens du concept aurait moins d'importance que le principe qui en découle. En effet, l'intérêt de la notion d'inertie est beaucoup plus sur le plan de la compréhension des fondements de la physique plutôt que sur le plan purement formel ou «calculatoire».

Il est donc urgent de soutenir ces programmes en multipliant les applications sur l'inertie avec des évaluations sous forme de questions qualitatives en relation avec la compréhension du concept tout au long des trois années de lycée ainsi qu'en début d'université, afin de maîtriser la notion et de consolider les acquis.

Aussi, notre étude nous a permis de mettre en évidence certaines lacunes et incohérences présentent dans les programmes d'enseignements qui pourraient être à l'origine de certaines difficultés rencontrées par les apprenants et aussi de certaines conceptions erronées chez les élèves.

Tout d'abord, la notion d'inertie n'est explicitée nulle part dans les trois niveaux d'étude au lycée, bien que les programmes traitent les mouvements de translation et de rotation, ce qui représente pour les élèves un obstacle à la compréhension de ce concept.

Aussi, aucune distinction n'a été faite entre la masse inertielle, la masse gravitationnelle et la masse pesante, par conséquent, ceci entraînerait certainement chez les élèves un risque de confusion entre ces types de masses.

Si le programme de 1^{ère} année secondaire a traité la notion de repère inertiel, aucune indication sur les repères non inertiels n'a été donnée pour les autres années. De même, les programmes n'ont pas traité le concept de

force inertielle (force fictive) et sa comparaison à la force réelle.

Aussi, le programme de mécanique de 1^{ère} année d'université a traité les trois lois de Newton et a présenté le concept d'inertie d'une manière très superficielle et a traité la deuxième loi de manière globale sans distinction, là aussi, entre la masse inertielle et la masse gravitationnelle.

La non compréhension de ce concept dépasse l'élève et se retrouve au niveau de beaucoup d'enseignants comme l'a révélée notre enquête, on relève chez ces derniers une ambiguïté entre concept et principe d'inertie qui inévitablement entache le savoir acquis par les apprenants, d'où la nécessité d'organiser pour ces enseignants des séminaires de perfectionnement pour la maîtrise des concepts fondamentaux de physique notamment le concept d'inertie.

La présentation d'un aperçu historique sous forme de situation problème dans les programmes d'enseignements est fortement recommandée pour appréhender la notion d'inertie.

La proposition d'exercices pertinents concernant le concept et le principe d'inertie dans les manuels scolaires introduits de manière graduelle au lycée et en début d'université permettrait aux apprenants une meilleure maîtrise.

Aussi, dans une perspective curriculaire, une évaluation des programmes puis une réécriture est fortement indiquée.

Enfin, cette recherche mérite d'être approfondie par l'étude des concepts directement liés à l'inertie tels que la masse inertielle, forces d'inertie et repères d'inertie, dont les résultats peuvent servir de points d'appui pour des propositions de remédiations pour l'étude de la dynamique de manière générale.

6. Liste bibliographique:

Astolfi J. P., Darot E., Ginsburger-Vogel Y. et Toussaint J., (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*, De Boeck Univ., 1^{ère} édition, 2^{ème} tirage, Paris Bruxelles.

Azzaoui H., Benjelloun N., El Hajjami A., Ajana L. (2014). Identification des conceptions des enseignants marocains de physique, du secondaire qualifiant. À propos de l'inertie, du mouvement inertielle et du monde qu'il nécessite, *Revue de l'EPI*, Repéré le 05/04/2021 sur :

<https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1403f.htm#BPAGE>.

Billette J., (2005). *Leibniz et le principe d'inertie*, Thèse Ph.D, Faculté des

- études supérieures, Université de Montréal. Repéré le 05/10/2021 sur : https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/16511/Billette_Jacques_2005_these.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Blay, M. (1998). Les règles cartésiennes de la science du mouvement dans Le Monde ou traité de la lumière, In : *Revue d'histoire des sciences*, 51(2) et (3). «Pour Descartes» Mathématiques et physique cartésiennes. pp. 319-346, p. 337, doi : [10.3406/rhs.1998.1325](https://doi.org/10.3406/rhs.1998.1325)
- Chevallard Y., (1985). *La transposition didactique*, La pensée sauvage, Grenoble.
- Coppens N., (2007). *Le suivi des conceptions des lycéens en mécanique : développement et usages d'exercices informatisés*. Thèse doctorat, Université Paris 7, Denis Diderot, Repéré le 04/03/2021 sur : http://tel.archivesouvertes.fr/docs/00/20/38/91/PDF/these_et_annexes_nc.pdf
- Dijksterhuis E. J., (1961). Translated by Dikshoorn C., The mechanization of the world picture, *Oxford University Press*.
- Eckstein S. G., Shemesh M., (1989). Development of children's ideas on motion: Intuitive vs logical thinking. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 327-336.
- Galili I., (1993). Weight and gravity: teachers' ambiguity and students' confusion about the concepts. *International journal of science education*, 15 (2), 149-162.
- Gil-Perez D., (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique, *Aster*, n° 17, pp.41-64, Paris.
- Givry D., (2003). Le concept de masse en physique : quelques pistes à propos des conceptions et des obstacles. *Didaskalia*, n°22, pp.41-67.
- Hulin M., (1987). *La physique ou l'enseignement impossible*, Séminaire de Philosophie et Mathématiques, fascicule 11, pp.1-30, IREM, Paris nord. Repéré le 04/05/2021 sur : http://www.numdam.org/article/SPHM_1987__11_A1_0.pdf
- Koyré A., (1968). *Études newtoniennes*, Paris : Éditions Gallimard.
- Koyré A., (1986). *Études galiléennes*, Paris Hermann, Editions des sciences et des arts.
- Lounis A., (2002). Formation des enseignants et didactique de la physique. *Les cahiers du CREAD*. 18 (59), pp.159-164, Algérie.
- McDermott L., (1997/1998). *Conception des élèves et résolution de problèmes*. In livre de l'ICPE, Résultats de recherches en didactique de la

physique au service de la formation des maîtres. Chapitre C1. (A. Tiberghien, L. Jossem, j. Barojas, Producteurs, & ICPE), Consulté le 9 octobre 2012 sur :

<http://icar.univ-lyon2.fr/gric3/ressources/ICPE/francais/partieC/C1.pdf>

Ministère de l'Éducation Nationale, (2005,2006 et 2007). Programmes de physique 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} Années Secondaires. Alger.

Ministère de l'Éducation Nationale, (2005,2006 et 2007). Livres scolaires officiels de sciences physiques, 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} Années Secondaires, ONPS, Alger.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, (1998). Programme de physique (Mécanique), 1^{ère} année d'université Ecole Normale Supérieure Kouba. Alger.

Ouarzeddine, A. (2020). Styles pédagogiques utilisés dans les manuels scolaires algériens des sciences physiques -2^{ème} génération- du cycle d'enseignement moyen. *Revue des sciences humaines de l'université Oum El Bouaghi*, 7 (3), 1723 – 1734.

Piaget J., (1974). *Réussir et comprendre*, PUF, Paris.

Sadykov B.S., (2006). About a physical nature of inertia and its relation to gravitation, part I, *Russian Physics Journal*, 49 (7), 720-726.

Simaciu I., (2000). The concept of inertia in physics, *Physics Department of University "Petroleum - Gas"*, Ploiesti, Romania, Conference Paper August 2003, DOI: 10.13140/2.1.4508.0000

Simonet J-M., (2010). *Isaac Newton, Principes mathématiques de la philosophie naturelle, Définition. Axiomes ou Lois du Mouvement* document produit en version numérique, p. 47. Consulté le 10/04/2021 sur: http://classiques.uqac.ca/classiques/newton_isaac/principes_math_philo_naturelle/principes_tome_I/newton_t1L1_01.pdf.

Viennot L., (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.

Viennot L., (1996). *Raisonnement en physique, la part de sens commun*. pp.73-104, De Boeck et Larcier. Bruxelles.