

# Influence des éléments contextuels dans l'apprentissage de la mécanique Newtonienne en classe de seconde en Côte d'Ivoire

## 1. Contexte et problématique.

L'analyse des programmes de sciences physiques des deux dernières décennies montre que la mécanique de Newton est la plus stable face au changement comparativement aux autres domaines de la physique (Optique). Le programme officiel de mécanique des lycées et collèges de Côte d'Ivoire, introduit le concept de force en classe de 3ème (grade 9 de la classification internationale), à partir de l'étude du poids, comme un exemple de force. Au cours de la scolarité le concept de force s'enrichit. Ainsi, à partir de la classe de Seconde (grade 10) il est abordé selon deux aspects. Un aspect définitionnel et un aspect quantitatif.

La définition met en relief l'idée de cause et d'effet, comme nous pouvons le lire dans le manuel officiel des classes de Seconde au chapitre 2, intitulé « actions mécaniques », à la section 1.4 : **«Nous attribuons tous les effets observés lors des situations précédentes, effets dynamiques et statistiques, à la même cause. Cette cause commune est appelée force»**. (Nanzouan et coll., 1999, p. 15). C'est une activité définitoire par dénomination dans laquelle l'idée de «cause» est la référence du concept de force ou l'analogue de la force. Dans cet ouvrage, l'étude de la caractéristique de la force est introduite à partir d'un dispositif constitué d'un fil au bout duquel est suspendue une boule (Nanzouan et coll., 1999, figure 3. page 15). Quant au concept du poids, il est abordé sous la section intitulée « action mécanique répartie en volume ». Les savoirs à enseigner sur le poids sont contenus dans les définitions 1 et 2 relevés dans le même manuel.

### Définition 1.

Facette 1. Le poids d'un corps est la force d'attraction que la Terre exerce sur ce corps. C'est une définition par attribution. Poids et force d'attraction que la terre exerce sur l'objet sont équivalents dans cette définition. En d'autres termes, les expressions « force d'attraction que la terre exerce sur l'objet » est un attribut fondamental du poids. Elle définit le poids en se référant à l'attraction entre la terre et l'objet. Le concept d'attraction est supposé être un acquis.

### Définition 2.

facette 2. La direction du poids est la verticale.

Facette 3. Le poids est dirigé de l'objet vers la Terre,

facette 4. l'intensité du poids se mesure à l'aide d'un dynamomètre

facette 5. Le vecteur poids et le champ de pesanteur  $g$  ont la même direction et le même sens.

Facette 6. Le poids est proportionnel à la masse.

Ces différentes facettes donnent un ensemble d'informations sur le poids. Certaines facettes (1, 2, 5) donnent des indications qualitatives pour le tracer du vecteur poids, d'autres (4, 6) au contraire sont centrés sur la valeur du poids.

La force est étudiée en classe de seconde de manière nominative: la tension du fil, la réaction du support, le poids, la tension du ressort, la poussée d'Archimède. Leurs caractéristiques qualitatives (direction, sens, point d'application, unités) sont explicitées. Les forces électrostatiques, magnétiques, et les forces gravitationnelles sont nommées à travers les objets entre lesquels elles existent. Les études menées en classe de troisième et complétées par le chapitre 2 explorent les savoirs qualitatifs sur le concept de force. La force est dans ce cas étudiée pour elle-même, elle n'est impliquée dans aucune relation quantitative avec d'autres grandeurs physique ; seule la relation entre le poids et la masse et le champ de pesanteur est connue, mais elle est définie en soi.

Ces savoirs qualitatifs font très peu l'objet d'évaluation. Les dix huit exercices que comporte le chapitre action mécanique, ne comptent que trois exercices (1, 2 et 3) où il est demandé de représenter des forces déjà connues et seulement un exercice qui demande la réalisation de la tâche « inventaire des forces » sur des masses marquées accrochées à des ressorts (Nanzouan et coll., 1999, exercices 11 page 23).

L'analyse du concept de force dans les programmes de mécanique montre l'insuffisance de la phase qualitative de la conceptualisation du concept de force. Les facettes de savoirs décontextualisés ne facilitent pas le développement de la phase qualitative de la résolution de problème. La problématique se résume en la question principale: Comment les élèves des classes de seconde scientifique conceptualisent-ils la force en mécanique ? En d'autres termes comment le concept fondamental de force est-il mobilisé par les élèves dans la phase qualitative qui précèdent l'usage des relations mathématiques. En effet, la dimension quantitative est développée à travers la mobilisation des lois de mouvement de Newton à savoir, le principe des actions réciproques et le Principe d'inertie à travers les conditions d'équilibres en classe de seconde, puis le théorème de la variation de l'énergie cinétique en classe de première et la relation fondamentale de la dynamique (deuxième loi de Newton) en classe de terminale. Or l'application de telles lois est toujours précédée d'une phase d'investigation qui consiste à identifier l'objet mécanique étudié, l'ensemble des forces extérieures en jeu, leurs directions et leur sens. La valeur de la force est continue ensuite par l'utilisation des relations mathématiques qui expriment les lois de mouvement.

L'hypothèse formulée est que les idées des élèves à propos du concept de force sont plus proches du sens commun que de la signification physique donnée par le modèle newtonien.

L'objectif général est d'analyser les formes de compréhension du concept de force des élèves de classe de seconde hormis des relations quantitatives.

Cette étude se situe dans la continuité des recherches menées par les didacticiens des sciences sur les conceptions des élèves sur le concept de force, dans la mesure où elle cherche à expliciter les formes de

difficulté d'apprentissage du concept de force à travers l'activité qui consiste à faire l'inventaire des forces sur un objet.

La première partie de cette investigation définit la difficulté conceptuelle et la conception, puis explicite la question des conceptions en mécanique, d'abord celles de la physique Newtonienne, puis celles observées chez des apprenants dans d'autres ères socioculturelles que celles de la Côte d'Ivoire. Ensuite, la deuxième partie se consacre à l'étude des conceptions des d'élèves ivoiriens en classe de seconde sur le concept de force. La dernière partie propose des contributions didactiques et épistémologiques sur les définitions non quantitatives du concept de force ou sur la formulation des facettes de savoirs sur la force.

## 2. Cadre théorique

Vergnaud (1989) parle de véritables difficultés conceptuelles dans l'apprentissage des concepts scientifiques en s'appuyant sur l'idée d'obstacle épistémologique de Bachelard (1968). Giordan et De Vecchi proposent une approche définitionnelle de la conception comme *un processus personnel par lequel un apprenant structure au fur et à mesure les connaissances qu'il intègre* (Giordan et de Vecchi, 1987, p 85). Des études ont été conduites pour modéliser les conceptions des élèves en dynamique et en cinématique (Viennot, 1996). D'autres études soutiennent la prise en compte des conceptions alternatives dans les stratégies d'enseignement de la physique (Joshua et Dupin, 1989). Ceci a donné des orientations de recherche sur un type particulier de problèmes, appelés situation-problèmes pour faire émerger les conceptions alternatives (De Vecchi et Carmona-Magnaldi, 2002, Robardet, 1999).

La modélisation des modes de raisonnement des élèves ont conduit à s'intéresser à l'approche historique des concepts. Le regard du côté de l'histoire des sciences donne des éclairages nouveaux sur certaines productions des élèves. C'est dans cette voie que l'histoire du concept de force fait l'objet de discussion (Garcia, 1982). Dans cette perspective, les didacticiens se sont appuyés sur les historiens des sciences (Jammers 1962 ; Koyré, 1968) pour mettre en relief que dans l'évolution de la mécanique plusieurs explications du mouvement des objets avaient eu cours depuis Aristote (384-322 av JC) à nos jours. Ainsi certaines explications développées au cours de l'évolution de la physique avait des similitudes avec certaines productions des élèves et étudiants. Cette comparaison des productions a porté particulièrement sur l'impetus développé par Buridan (1300-1360) pour expliquer les mouvements des corps. Les caractéristiques de la dynamique de l'impetus de Buridan sont largement développées dans les travaux de Lindemann (2000). L'auteur relate l'explication du mouvement de projectile par Buridan :

le lanceur imprime un certain impetus dans le corps en mouvement, lequel impetus agit dans la direction vers laquelle le lanceur a mû le corps., vers le haut ou vers le bas, latéralement ou circulairement. C'est par cet impétus que la pierre est mue après que le lanceur a cessé de la mouvoir. Mais cet impetus est continuellement diminué par l'air qui résiste et par la gravité de la Terre qui l'incline

dans une direction contraire à celle dans laquelle l'impetus était naturellement prédisposée à la mouvoir. (Lindemann, 2000, p 77)

La conception ainsi décrite donne des éclairages didactiques pour comprendre et modéliser des difficultés conceptuelles des élèves à propos du concept de force. Par ce que la dynamique de l'impetus est un condensé de sens commun imbriquant à la fois ce nous appelons actuellement, force, vitesse ou quantité de mouvement. Des indices de tels amalgames se retrouvent dans les expressions « imprimée » « diminue » « agit » qui confère une nature très complexe à ce concept. L'approche historique de l'évolution des explications permet d'étudier ce qui convient d'appeler difficultés conceptuelles (Vergnaud, 1989) et elles sont à différencier des autres formes de difficultés. Elles s'expriment surtout dans le processus de conceptualisation. En effet, Astolfi (2004) montre que l'erreur des élèves est plurielle en regardant leurs origines. Celles qui nous intéressent sont celles qui témoignent des conceptions alternatives qui portent sur les concepts de force dans le domaine de la physique. Ces difficultés conceptuelles ou procédurales sont liées aux représentations cognitives que les apprenants développent au sujet du concept de force dans des contextes variés. Il est davantage question de montrer les difficultés conceptuelles liées à la compréhension des concepts de force que d'autres types de difficultés qui entravent la résolution d'un problème classique. Avant d'aborder les conceptions des élèves au sujet de la force, nous répondrons d'abord à la question « Qu'est-ce que le concept de force dans le modèle newtonien ? »

### 3. La conception newtonienne du concept de force.

La définition en science est quantitative, elle nous apprend à mesurer la force (Robardet et Guillaud, 1997). Elle ne spéculer pas sur la nature de la force d'être la cause ou l'effet du mouvement, ou de nous apprendre ce qu'est la force en soi. Des auteurs soutiennent par ailleurs que dire que la force est la cause ou l'effet du mouvement, c'est faire de la métaphysique (Ogborn, 1993 ; Jaballah, 2006, Lemeignan et Weil-Barais, 1993). Feynman (1999) souligne que la deuxième loi, appelée également, à juste titre, relation fondamentale de la dynamique répond à la question, «comment un objet modifie-t-il son mouvement?». La réponse qui en résulte, «un **objet** modifie son mouvement si **quelque chose** agit sur lui», est fondamentalement l'idée contenue dans la deuxième loi de Newton. On voit bien que « **objet** » et « **quelque chose** » sont issus du champ empirique et possède une nature matérielle, c'est-à-dire des objets du monde matériel (Lemeignan et Weil-Barais, 1993). La deuxième loi stipule que «la vitesse de changement en fonction du temps d'une quantité appelée quantité de mouvement est proportionnelle à la force», ou en d'autres termes «le changement de la quantité de mouvement d'un corps provoqué par une force agissant sur lui est proportionnel à cette force en grandeur et en direction» (Lecourt, 1999, p. 614). Newton l'appela, théorème du centre d'inertie (écrite avec le symbolisme mathématique sous la forme :  $\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$ , où  $\vec{F}$  est la somme vectorielle des forces,  $\vec{P}$  est le vecteur quantité de mouvement et  $dt$ , la variation du temps). Cette relation indique non seulement des changements en grandeur de la quantité de mouvement ou de la vitesse, mais aussi de leur direction. Cette loi met en relation le concept de force et le concept de quantité de mouvement, en grandeur et en direction. Or d'un côté, le concept de force et de l'autre, celui de quantité du mouvement tissent des relations avec d'autres concepts, et sont également impliqués dans la formulation d'autres lois. Dès lors, la

deuxième loi fédère un ensemble de concepts structurés et planifiés pour être des savoirs à enseigner en mécanique dans les classes de collèges et de lycée. En effet, elle intègre d'une part, la cinématique par l'intermédiaire de l'accélération, la vitesse, de la position, et d'autre part, la dynamique par l'intermédiaire du concept de masse, de force, et de la quantité de mouvement. Elle organise donc la majorité des concepts enseignés en mécanique dans l'enseignement secondaire, intègrent d'autres lois, comme le principe d'inertie ou des théorèmes, comme le théorème de la variation de l'énergie cinétique. Le concept de travail, d'énergie et de puissance en mécanique entretiennent des relations avec la deuxième loi. Le champ conceptuel de cette loi permet d'étudier des problèmes de mécanique au sujet du mouvement des corps matériels. L'intérêt de cette deuxième loi vient de son très large domaine d'application. Les phénomènes de chute libre, du mouvement des projectiles, du mouvement des satellites autour des planètes, des oscillations mécaniques sont dans le domaine d'application de la deuxième loi. Bien entendue, elle n'est plus valide à l'échelle atomique et subatomiques ou pour les systèmes matériels ou corpuscules élémentaires ayant des vitesses dans le référentiel galiléen non négligeables par rapport à celle de la lumière dans le vide.

Pour aider à la conceptualisation du concept de force et la mobilisation de la deuxième loi pour résoudre des problèmes de mécanique, des recherches en didactique de la physique ont été menées sur les principes et les concepts de la mécanique en vue de leur enseignement (Caillot, Dumas-Carré, 1976 ; Caillot, Goffard, Dumas-Carré, 2005, Lemeignan & Weil-Barais, 1993). Des investigations sur la confusion faite par les apprenants entre la force et l'énergie a motivé à mettre clairement en relief les caractéristiques distinctives du concept de force et de celle d'énergie comme indiquées dans le tableau 2.

**Tableau 1.** Concept de force et concept d'énergie du point de vue de la physique

Énergie	force
Décrit un système	Décrit l'interaction entre deux systèmes (inter-système)
Grandeur scalaire	Grandeur vectorielle
Multiforme (énergie chimique, électrique, cinétique, potentielle, etc.)	Uniforme
Transférable : transfert multiforme et sens du transfert	Non transférable
conservée	Non conservée
Dégradable	

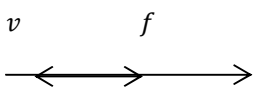
Le tableau, extrait des travaux de Lemeignan et Weil-Barais (1993) montre que la force en physique ne décrit pas un système, ce n'est pas une grandeur d'état. Les conséquences sont diverses. En particulier, cela signifie que la force n'appartient pas à un objet, mais elle existe lorsqu'il y a une interaction entre deux objets. Sur le plan didactique, il est indiqué de dire « la force exercée par (l'objet A) sur (l'objet B). En effet, s'il est scientifiquement convenable de dire l'énergie potentielle de pesanteur **de** la balle par exemple, en revanche on ne peut pas dire la force **de** la balle. En outre la force est uniforme dans le sens où il n'existe pas une variété de formes de forces, comme il en existe pour l'énergie. Par conséquent, il n'ya pas plusieurs

types /formes de forces comme les ouvrages ont l'habitude de présenter : force musculaire, force de contact, force à distance, force magnétique, force électrique, en associant au concept de force, issu du champ théorique de Newton, au contexte matériel dans lequel où l'on étudie le phénomène issu du champ empirique. Une telle catégorisation, selon Lemeignan et Weil-Barais (1993) ne respecte pas les contraintes épistémologiques du concept de force, bien que cela soit d'un usage courant pour expliquer certaines situations. Ce qui signifie que la nature des objets entre lesquels une interaction existe n'impose pas un nom particulier ou ne crée pas de catégorie de force. La force est un concept unique qui rend compte d'une diversité de situations d'interactions. Dès lors on appelle force en mécanique, l'action exercée par un objet sur un autre. Ainsi, en physique, le concept de force est un concept théorique, inventé pour expliquer des phénomènes de mouvements. Il est à distingué du phénomène et des objets du champ empirique. Les interactions entre les objets, par exemple, entre l'homme et la table, l'électron et le proton, la Terre et la lune, l'aimant et le clou, etc., sont modélisables par le concept de force. Par ailleurs, Jaballah (2006) fait remarquer que, n'étant pas une "chose", la force n'est pas une cause. D'un autre part, la typologie, fait « penser que les forces se trouvent dans le monde des objets matériels » (Lemeignan & Weil-Barais, 1993, p. 59). Cette forme de conceptualisation serait à l'origine de conception anthropomorphique du concept de force (Maarouf & Kouhila, 2001). Cette analyse didactique et épistémologique du concept de force dans le champ d'application du théorème du centre d'inertie permet de discriminer ce qui relève des conceptions alternatives dans le raisonnement des apprenants et du savoir savant.

#### **4. Les conceptions alternatives des élèves des lycées et collèges et des étudiants au sujet de la force dans divers pays**

La revue des questions sur les conceptions (McDermott, 1983) montre que les travaux de recherche décrivant le savoir des élèves sur le mouvement des objets sont extrêmement divers. Le tableau ci-dessous en décrit certaines et montrent les caractéristiques génériques de ces conceptions et obstacles qui les sous-tendent. Elles sont extraites des premiers travaux de Viennot (1979, 1996) qui montrent l'adhérence entre la force et la vitesse.

**Tableau 2.** Concept de force du point de vue du sens commun

Productions des élèves	Modèles de conceptions	Obstacles épistémologiques
Relation établie entre la force et la vitesse : <i>Force = 0 donc Vitesse = 0</i>	Dans l'esprit des élèves : sans force, il n'y a pas de mouvement	
Dessin de force :  <i>(Vecteur vitesse et vecteur force dessinés colinéaires)</i>	Il existe dans l'esprit des élèves une relation linéaire entre force et vitesse.	Causalité linéaire ou capital force
Noms attribués : La force du marteau, la force du jongleur ; la force motrice, la force du pied, la force de frappe, etc.	Dans l'idée des élèves, chaque objet possède une force. La force est pour eux une grandeur intrinsèque.	Anthropomorphisme des objets physiques

Le tableau synthétise les idées des élèves sur la force. Elles sont produites pour répondre à diverses situations-problèmes. Ce sont des idées communes construites au cours des expériences quotidiennes. Le schéma de force montre que la force et la vitesse sont proportionnelles. Cette forme de conceptualisation entretient des liens de continuité, en certains points, avec les idées de Buridan qui avaient cours dans l'explication du mouvement à l'époque médiévale et développées dans les travaux de Lecout (1999) et Lindermann (2000). En revanche, ces connaissances sont en rupture avec celles qui sont partagées par la communauté scientifique de notre époque.

Le concept de force a la caractéristique propre d'appartenir à la fois au langage scientifique et aux langages communs. Le caractère familier fait qu'il a un statut particulier qui pose le problème de la distinction de ce qui est langage quotidien du langage scientifique. En effet, selon Bachelard *l'idée scientifique, trop familière se charge de concret psychologique trop lourd, qu'elle amasse trop d'analogies, d'images, de métaphores, et qu'elle perd peu à peu son vecteur d'abstraction*» (Bachelard, 1938, p. 17).

En effet, le sens commun fait un amalgame entre les concepts de force et d'énergie: l'un est utilisé à la place de l'autre. En effet, l'idée quotidienne de la force fait d'elle une grandeur transférable comme l'énergie. Pour certains la force « se donne », « se transmet » ou un objet « possède de la force », ainsi l'expression « la force de » est très largement répandue même au cours des enseignements de la mécanique. Or le fait d'attribuer à un objet ou de considérer la force comme une propriété intrinsèque d'un objet est en rupture avec ses caractéristiques épistémologiques modernes. Alors nous demandons comment les élèves des

l'enseignement secondaire en Côte d'Ivoire, conceptualisent-ils le concept de forces ? Ces conceptions sont-elles semblables à celles décrites dans la revue de littérature ?

## **5. Exploration des difficultés d'apprentissage du concept de force des élèves de seconde scientifiques en Côte d'Ivoire.**

### **5.1. Échantillon**

Notre échantillon est constitué d'apprenants des classes de seconde scientifiques des lycées publics de Côte d'Ivoire..

### **5.2. Recueil des données**

Nous utilisons le questionnaire. Les questions portent sur le concept de force. Les questions sont construites comme des tests pour l'évaluation des connaissances. Nous avons construit quatre situations-problèmes en fixant quatre contextes différents. La seule tâche demandée est l'inventaire des forces extérieures qui s'exercent sur les objets et la schématisation de ces forces. L'activité consiste à nommer les forces, puis à les représenter par des vecteurs.

La première situation, notée M1, concerne une boîte de craie posée sur une table horizontale. Le plan de la table est confondu avec le plan horizontal. Le plan du support et le plan horizontal sont un. La situation est simple. Elle n'est pas une situation-problème. Elle n'est pas choisie pour faire émerger une conception. La boîte de craie est schématisée par un parallélogramme et la table par un plan horizontal. C'est une situation classique, surdidactifiée (Antibi et Brousseau, 2002), elle est utilisée systématiquement dans les séances d'enseignement et dans les manuels pour illustrer les conditions d'équilibre d'un solide soumis à deux forces ou pour introduire la notion de réaction du support.

La deuxième situation, notée M2, utilise la même boîte de craie posée sur une table que l'on incline de manière à la faire glisser le long de la table. Cette situation est modélisée par un objet plan en mouvement sur un plan incliné. L'inclinaison permet de disjoindre le plan horizontal du plan du support. L'inclinaison du plan ajoute un élément contextuel nouveau par rapport au cas M1 précédent. La situation M2 est une situation a-didactique, problématique, elle évalue la compétence à tracer le vecteur poids dans un contexte complexe, parce que le plan horizontal qui sert de référence du tracé du poids et le plan du support qui sert de référence du tracé de la réaction sont deux plans distincts. Il y a nécessité de faire des investigations pour tracer le poids et la réaction.

Le troisième cas désigné M3, est construit sur le même modèle que M2. Le plan est incliné, l'objet est également en mouvement sur le plan, mais la forme de l'objet change. L'objet est sphérique. Le changement de la forme introduit un élément contextuel nouveau par rapport à M2 et à M1. La forme sphérique, appelle peut-être intuitivement au roulement, au mouvement et la forme plane à la stabilité.

La quatrième situation, M4 est celle d'un tir de coup franc par un joueur de Foot -Ball. Cette situation se particularise par l'absence de support, l'objet est en l'air. Le contexte est également différents des autres contextes, mais la tâche reste la même.

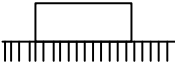



Le choix de ces contextes est fait en référence avec les caractéristiques des conceptions étudiées dans la revue de littérature, surtout l'idée de mettre les objets en mouvement appelle des conceptions différentes lorsqu'ils sont au repos. Le choix du plan incliné et de la forme des objets sont des aspects contextuels nouveaux. Les éléments de chacun des contextes constituent des indicateurs de surfaces, susceptibles d'influencer le mode de raisonnement des apprenants. Dans chacune de ces situations, il est question d'identifier des forces. La consigne formulée est la même: Nommer et dessiner la ou les force(s) qui s'exerce(nt) sur les objets choisis comme système (la boîte de craie dans les situations M1 et M2 ; la balle dans les situations M3 et M4). Ce type de consigne conduit à une résolution qualitative permettant de révéler les conceptions alternatives des apprenants sur le concept de force à travers les schématisations, les désignations des forces. En outre, cette tâche met à l'épreuve la procédure mobilisée par les apprenants pour la recherche des forces. Ces situations sont choisies pour révéler des difficultés conceptuelles et procédurales. La situation M1, M2 et M3 sont présentées à la même classe comportant 35 élèves. Ainsi, nous pouvons suivre l'évolution des conceptualisations des mêmes élèves selon le contexte de la situation proposée. La situation M4 est présentée à 192 élèves dont les 35 pour explorer éventuellement le raisonnement mobilisant la conception impetus.

**5.3. Résultat : Schématisation et inventaire des forces qui s'exercent sur une boîte de face plane posé sur un plan horizontal**

la Situation M1 a été proposée 35 élèves d'une classe de seconde (Koffi, 2002)<sup>1</sup> d'un établissement d'excellence.

**Tableau 3.** Typologie des représentations géométriques des forces sur plan horizontal

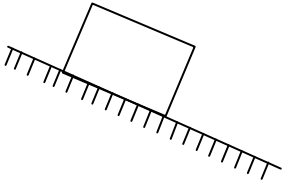



Situation: une boîte de craie est posée sur la table du professeur. Nommer et représenter la les forces qui s'exercent sur la boîte de craie	Transcription des diagrammes de forces observées en classe de seconde.	Description des productions et codage.	Nombre de cas observés
		<p>Le poids (flèche verte) est dessiné normal au plan de contact entre le solide A et le support. La réaction normale (flèche rouge) est dessinée normale au plan du support. <b>L'inventaire est exhaustif.</b></p>	<p>35</p>

<sup>1</sup>Koffi (2002). difficulté d'apprentissage du concept de force. Memoire de DEA

La direction du poids est - elle dessinée normale au plan de support ou au contraire dessinée normale au plan horizontal. La situation M1, ne permet pas de trancher. Ce contexte particulier est ambigu, il cache en réalité des difficultés réelles que les autres contextes vont faire émerger. Cette situation est a priori réussie par la totalité des 33 élèves de seconde c interrogée.

#### 5.4. Résultat: Schématisation et inventaire des forces qui s'exercent sur un objet plan glissant sur un plan incliné

**Tableau 4.** Typologie des représentations des vecteurs sur un objet plan en mouvement sur un plan incliné

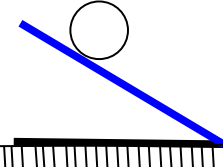

<p>Situation : une boîte de craie posée sur une table inclinée. La boîte de craie glisse le long de la table inclinée.</p>	<p>Transcription des diagrammes de forces observées en classe de seconde.</p>	<p>Description des productions et codage.</p>	<p>Nombre de cas observés</p>
			
		<p>La réaction normale (en rouge) est représenté perpendiculaire et support (bleu). Le poids (en vert) est représenté vertical :</p> <p>Le nombre de force est correcte et les schématisations sont correctement faites : <b>L'inventaire est exhaustif , note IE</b></p>	<p>28</p>
		<p>Le poids (vert) est représenté perpendiculaire au plan du support (bleu). La réaction Normale (Rouge) est représentée orthogonale au plan du support (bleu) :</p> <p>Le nombre de force est correct, mais la schématisation du poids est incorrecte : L'erreur porte sur la direction du poids, notée, <b>DIP</b></p>	<p>5</p>
		<p>Le poids (vert) est représenté normal au plan horizontal.</p> <p>Le nombre de force est incorrect. omission de la réaction normale. l'erreur est due à l'absence de la réaction normale, notée <b>Absf</b>.</p>	<p>1</p>
		<p>SR</p>	<p>1</p>

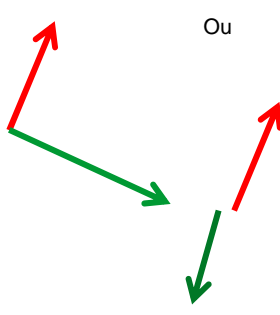
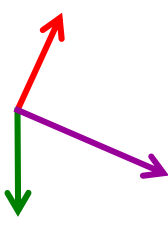
Nous constatons que la majorité des élèves interrogés (28 sur les 35) élaborent un inventaire exhaustif et une schématisation correcte. En revanche, 5 élèves sur les 35 mettent en place un inventaire non exhaustif, avec

des schématisations incorrectes du poids, de type\_DS. La Direction du poids est Orthogonale au plan du Support . Cette erreur apparaît chez cinq élèves de seconde sur 35. Le poids est dessiné perpendiculaire à la ligne du plan incliné comme dans le cas où le support était horizontal. Ici le plan horizontal et le plan du support sont disjoints. L'élève est amené à rechercher le plan horizontal de manière explicite et consciente pour dessiner la flèche du poids. La flèche du poids doit avoir sa droite d'action perpendiculaire à la ligne du plan horizontal. Cette erreur de schématisation du poids peut être produite parce que le contexte de la situation le permet. Ce qui n'est pas le cas dans la situation de la question 1, où le plan horizontal et le plan du support de l'objet pris comme système sont confondus. Cette situation M2 peut donc informer l'enseignant sur le niveau de conceptualisation des élèves au sujet du vecteur poids. Elle constitue une bonne situation pour évaluer les acquisitions sur les caractéristiques géométrique du vecteur poids. L'erreur sur la schématisation du poids apparaît chez 23 élèves sur les 69 élèves de seconde dans le contexte de la situation M2 dans une autre étude (Koffi, 2002).

### 5.5. Résultats : Schématisation et inventaire des forces qui s'exercent sur objet sphérique roulant sur un plan incliné

Tableau 5. Typologie des représentations de forces sur un objet sphérique en mouvement sur un plan incliné

Situation : un balle ronde roule sur une table inclinée. Nommer et représenter la ou les forces qui s'exercent sur la balle.	Transcription des diagrammes de forces observées en classe de seconde.	Description des productions des élèves	Nombre de cas observés
		<p>La <b>réaction normale</b> (flèche en rouge) est représenté perpendiculaire au support (ligne bleue de la situation). Le <b>poids</b> (flèche en vert) est représenté vertical .</p> <p><b>Le nombre de force est correct et les schématisations sont correctes :L'inventaire est exhaustif , note IE.</b></p>	21

		<p>Le poids (flèche verte) est dessiné normal au support (segment bleu du schéma colonne 1) ou dessiné parallèle au support dans le sens descendant.</p> <p><b>L'erreur porte sur la schématisation du poids: La direction du poids est incorrecte. Type_P_dir</b></p>	3
		<p>Le poids (flèche en vert) est représenté normal au plan horizontal (ligne noire hachurée de la colonne 1).</p> <p>La réaction normale est représentée perpendiculaire au support (ligne bleue de la situation).</p> <p>Une force supplémentaire (violet) est également représentée dans le sens du mouvement de la balle.</p> <p>L'erreur porte sur l'existence de la force supplémentaire, noté, force colinéaire à la vitesse. type_FIIV</p>	11

Nous constatons que 21 élèves sur 35 donne la production correcte (inventaire exhaustif et schématisation correcte) en revanche 14 élèves sur les 35 font une production erronées. Les caractéristiques de ces erreurs sont :

1. **type\_PSupp.** La direction du poids est orthogonale au plan du support . Cette erreur apparaît chez trois élèves de seconde sur 35.
2. **type\_FIIV.** La force est tracée colinéaire à la vitesse.

Cet erreur apparaît la plus fréquente, 11cas sur l'ensemble des 14 productions incorrectes. Pourtant elle n'apparaît à la situation M2 chez les mêmes élèves de seconde.

### 5.6. Analyse de la schématisation du poids selon les contextes.

**Tableau 6.** *Le schéma du poids selon les contextes*

Situations-problème	Description des contextes	Type de schématisation du poids et leur nombre	
M1	Surface de contact entre l'objet et le support est plane et horizontale. Le plan du sol est horizontal ; La surface de contact et le sol sont plans et horizontaux, ils sont parallèles. Le système est un objet de face plane de forme parallélépipédique	Poids dessiné perpendiculaire par rapport au sol et par au plan de contact.	33 cas sur 33
M2	La surface de contact est plane. Le sol est plan. Le plan du sol et la surface de contact sont sécants. Le système est un objet de face plane de forme parallélépipédique.	Poids dessiné perpendiculaire par rapport au plan du sol	28 cas sur 33
		<b>type_P-Supp</b> : Poids dessiné perpendiculaire par rapport à la surface de contact.	5 cas sur 33
M3	La surface de contact est plane. Le sol est plan. Le plan du sol et la surface de contact sont sécants. Le système est un objet de forme sphérique.	Poids dessiné perpendiculaire par rapport au plan du sol	21 cas sur 33
		<b>type_P-Supp</b> : Poids dessiné perpendiculaire par rapport à la surface de contact.	3 cas sur 33

Le tableau montre que selon le contexte, certains élèves dessinent le poids différemment. Le tracé de la direction du poids reste une difficulté procédurale pour des élèves en classe de seconde. Dans un autre contexte comme celui-ci-dessous, le tracé du poids d'un objet placé en divers points du globe terrestre et au hors du globe terrestre peut également informer sur la conceptualisation du poids.

## 5.6. Résultats : Schématisation et inventaire des forces qui s'exercent sur un objet projeté en l'air

La question est proposée à 192 élèves de seconde scientifique provenant de cinq classes de second C issus de cinq établissements scolaires situés dans les villes de Yamoussoukro, Agboville, Anyama et Abidjan. La question est la suivante : un joueur de Foot Ball tire un coup franc. La balle décrit un mouvement parabolique. Trois positions P1 (sur la partie ascendante), P2 (au sommet), P3 (sur la partie descente), sont indiquées sur la trajectoire. Les élèves étaient invités à dessiner la ou les forces qui s'exercent sur la balle en chacune des trois positions. Les productions des élèves comportent des schématisations et inventaire incorrects mais aussi des réponses erronées aux positions P1, P2 et P3 de l'objet balle considérée comme système. Le tableau ci-dessous indique les types de productions selon la position de la balle.

**Tableau 6.** : Typologie des représentations des forces sur une balle tirée en l'air

Positions de la balle en l'air	Nombre d'inventaires exhaustifs et de schématisations correctes du poids	Nombre de forces supplémentaires dessinées colinéaires à la vitesse selon les positions de la balle.	Nombre d'élèves de seconde scientifique ayant répondu à la question
P1	65	127	192
P2	133	59	192
P3	132	60	192

Du point de vue de la physique, seul le vecteur poids, action de la terre sur la balle, intervient dans l'inventaire des forces. Cependant d'après les descriptions des conceptions alternatives (figure 1), nous nous attendons à ce que les élèves produisent d'autres forces surtout celles qui sont dessinées tangentes à la trajectoire et dirigées dans le sens du mouvement. Nous constatons que la position P1 où la balle est entraînée de monter, possède plus de cas de dessins de types de force colinéaire au mouvement. En revanche à la position P2, où la balle ne monte plus, le nombre de forces colinéaires à la vitesse se divise par trois. Ce nombre reste quasiment le même pendant la chute de la balle.

## 5.7. Analyse croisées des productions.

### 5.7.1. Identification du modèle impetus

Nous suivons, non plus une à une les productions, mais pour la situation M3 où la balle est lancée en l'air, l'ensemble des représentations de force au cours du mouvement de la balle. Nous regardons ce que donne l'ensemble des schématisations de force en considérant comme unité, l'ensemble des schématisations obtenues aux positions successives de la balle en 1, 2 et 3. Nous avons observé, quatre types de représentation :

**La production correcte de type P\_1\_2\_3 :** Seul le poids est dessiné aux positions 1, 2 et 3. En plus de cet inventaire correct, trois catégories de schématisations incorrectes dans lesquelles, en plus du poids, des



forces fictives sont schématisées tangentes à la trajectoire et la flèche pointée dans le sens du mouvement de la balle. On note trois catégories qui illustrent la catégorie des inventaires non exhaustifs.

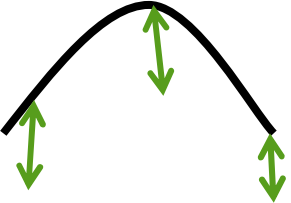
**Type F\_1** : une seule force fictive dessinée à la position P1 après le tir où la balle monte ;

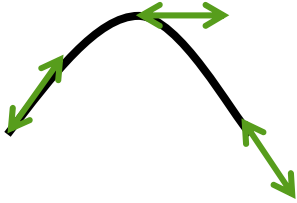
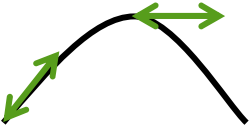
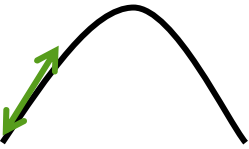
**Type F\_1\_2** : deux forces fictives dessinées successivement en P1 après le tir et aussi en P2 où la balle est au sommet de la trajectoire ;

**Type F\_1\_2\_3** : trois forces fictives sont dessinées aux trois positions, P1, P2, et P3. Aux positions P1 et P2, cette force est nommée par certains, force motrice ou force qui met en mouvement et par d'autre, force de frappe ou force du pied. En revanche, à la position P3 où la balle descend, d'autres noms sont attribués à savoir, force de descente ou force de chute.

Les schématisations de force colinéaire à la vitesse expriment des conceptions alternatives sur la relation entre la force et le mouvement, mais leur distribution selon les positions de la balle apporte d'autres informations sur leur conception sous-jacente : l'idée « d'impetus » peut être mobilisée pour modéliser certaines catégories d'inventaire et de schématisation des forces.

**Tableau 7:** Typologie des modèles de conceptualisation de forces dans le cas de la balle tirée en l'air.

Description des types d'inventaires et de schématisation	Transcriptions en imagées des types de schématisations observées chez les élèves de seconde scientifiques et codage	Modélisations des types d'inventaires et de schématisations des forces
<p>Le nombre de forces, les schématisations sont corrects : L'inventaire est exhaustif.</p>	 <p style="text-align: right;">P_1_2_3</p>	<p>«Modèle newtonien»: le poids est la seule force qui intervient aux trois positions P1, P2, P3 de la balle.</p>

<p>trois forces supplémentaires sont dessinées aux positions 1, 2 et 3 de manière tangente à la trajectoire. Ces forces sont toutes orientées dans le sens du mouvement.</p> <p>L'inventaire n'est pas exhaustif du fait de la présence de ces forces supplémentaires en plus ou non du poids.</p>	<p>F_1_2_3</p> 	<p>« <b>Modèle continu_mouvement continu</b> »: La direction et le sens de la force sont les mêmes que celle de la : adhérence force et vitesse. La force et la vitesse sont colinéaires. Les forces supplémentaires sont dessinés aux trois positions consécutives 1, 2 et 3 de la balle comme si elles sont indispensable pour que le mouvement se poursuive. Le mouvement demanderait alors un effort continu pour se perpétuer.</p>
<p>Deux forces supplémentaires sont dessinées seulement aux positions 1 et 2 de manière tangentes à la trajectoire. Ces deux forces sont toutes orientées dans le sens du mouvement.</p> <p>L'inventaire n'est pas exhaustif du fait de la présence de ces deux forces supplémentaires en plus ou non du poids.</p>	<p>F_1_2</p> 	<p><b>Modèle d'impetus</b> : adhérence force et vitesse. Deux forces supplémentaires sont dessinées aux deux positions successives P1 et P2, indispensable pour la montée, à la chute de la balle, les élèves estiment qu'une force supplémentaire n'est plus nécessaire. Pour certains le poids joue déjà ce rôle.</p>
<p><i>Une seule force supplémentaire est dessinée uniquement à la position P1, juste après le tir. L'inventaire n'est pas exhaustif du fait de la présence de cette force supplémentaire en plus ou non du poids.</i></p>	<p>F_1</p> 	<p><b>Modèle d'imétus</b> : adhérence force et vitesse.</p> <p>L'idée de force motrice pour continuer le mouvement disparaît quelques instants, ce modèle est le plus proche de l'impetus de Buridan.</p>

Le schéma de force, et la distribution des schémas de forces sont des construits raisonnés. Le raisonnement qui sous-tend de telle production est analogue à celle développée par Buridan, la théorie de l'impetus. Le contexte de tir de balle en l'air fait émerger des conceptions alternatives. Au regard des élèves, les positions P1, d'une part, et P2 et P3 d'autre part, sont différentes en termes de forces extérieures.

### 5.7.3. Analyse des contextes d'apparition des forces dessinées colinéaire à la vitesse

**Tableau 9 :** Le modèle impetus dans des contextes différents

Modélisation de la situation	Description des contextes	Autres éléments contextuels	schématisation de force colinéaire à la vitesse
M4. une balle de foot en l'air après un choc dû au pied.	<b>La balle est projetée en l'air à l'aide d'un coup de pied. La balle est en mouvement dans l'air. L'action est exercée par un être vivant et l'objet est en mouvement.</b>	Juste après le choc et la balle monte	127cas sur 192 réponses
		Pendant la montée et atteint le point culminant	59 cas sur 192 réponses
		Après le point culminant et pendant la descente.	60 cas sur 192 réponses
M2. Pavé glisse sur un plan incliné sans vitesse initiale	Le système est un objet de faces planes de forme parallélépipédique. L'objet en forme de pavé se déplace sur le plan incliné. L'objet est mouvement le long du plan incliné. Un objet inerte mis en mouvement.	L'objet glisse après inclinaison de la table	0 cas sur 35 réponses
M3. Une sphère en mouvement sur un plan incliné sans vitesse initiale	Le système est un objet de forme sphérique. L'objet rond se déplace sur le plan incliné. L'objet sphérique est en mouvement le long du plan incliné	L'objet roule après inclinaison de la table	11cas sur 35 réponses

La situation M1 est présentée à 192 élèves de seconde. La position P1, juste après le coup de pied, a le plus grand score. Les points P2 et P3 obtiennent les mêmes scores.

Les situations M2 et M3 sont présentées aux mêmes élèves. Dans le cas M1 aucun élève ne trace de vecteur force colinéaire à la vitesse, par contre dans le cas M3, 11 élèves tracent des vecteurs force dans le même sens que la vitesse.

## Analyse et discussion

Au regard des élèves, les situations M2 et M3 sont différentes, de même que, les positions P1, d'une part, et les positions P2 et P3 d'autre part. Elles sont différentes en termes de forces chez certains élèves. Or en terme de bilan de forces, les situations M2 et M3 sont identiques, les positions P1, P2 et P3 sont également identiques. Qu'est-ce qui les distingue ? Du point de vue la physique seule la vitesse des objets varient, d'une situation à une autre (les objets étant différents), d'une position à une autre. Ni l'accélération, ni la résultante des forces ne varient. La nature des forces reste la même, il s'agit du poids et de la réaction dans les situations M1, M2 et M3. Quant à la situation M4, seul le poids intervient quelque soit la position de la balle en l'air. La confusion ou l'amalgame entre force et vitesse se manifeste à travers les situations proposées. L'analyse fine du contexte des situations montre que la forme des objets, l'un est sphérique, l'autre est un pavé droit, n'obtiennent pas le même score par les mêmes élèves dans les mêmes conditions de passation. L'objet rond dans les mêmes conditions reçoit plus de score que l'autre de forme pavé droit. L'objet sphérique possède-t-il une motricité en soi selon les élèves ? Le même objet dans les positions différentes dans l'air au cours du mouvement gagne des scores différents suivant sa position dans l'espace et dans le temps. Dans ce contexte qu'est-ce qui influence les élèves ? Le passé du projectile influence-t-il les forces qui s'exercent sur l'objet ? Pour les élèves, les objets portent-ils en mémoire les événements antérieurs ? La désignation des forces, tel que « force du pied » ou « force de descente » indiquent l'influence de l'histoire de l'objet sur la conceptualisation du concept de force.

Les objets, les événements, les phénomènes que l'on utilise dans les énoncés des situations influence les conceptualisations des élèves. Ces situations sont donc de véritables situations-problèmes pour les élèves. Les quatre contextes sont différents du point de vue des élèves, parce qu'ils font varier leur productions. Les éléments contextuels susceptibles de faire varier les productions des élèves sont des variables didactiques. Ils font partie du contexte conceptuel de la situation. La schématisation du poids est également influencé par la situation proposée. Le poids est le premier vecteur force que l'élève rencontre de son cursus scolaire. Les caractéristiques sont données dans les manuels et reprises par les enseignants. Le point d'application est un point singulier de l'objet, le centre de gravité ; la direction, est une droite singulière, la verticale passant par le centre de gravité, le sens est également singulier, dirigé du centre de gravité de l'objet vers le centre de gravité de la Terre. Comment de tels objets singuliers peuvent-ils se représenter sur le tableau, sur la feuille de papier à deux dimensions ? On s'aperçoit que les facettes de savoir sur le poids sont fortement décontextualisées. Les définitions ne sont donc opératoires. En effet, les expressions « suivant la verticale », « le haut vers le bas » donnent des informations complexes à mettre en œuvre à cause de l'absence d'un référentiel explicite, objectif et conventionnel. La coutume didactique sur le poids laisse beaucoup d'implicite. D'abord, la première habitude consiste à considérer implicitement les objets « tableaux » et « feuilles de cahiers des élèves » comme des références pour le tracé du poids. Cette coutume enseigne indirectement que le bord inférieur du tableau et les lignes des cahiers sont des droites appartenant au plan horizontal, ainsi, tous les tracés de poids leurs sont perpendiculaires. La deuxième coutume consiste à tracer le poids et la réaction normale dans les contextes où les deux supports sont confondus. Par exemple, la réaction est

introduite à partir du poids dans le contexte où l'objet est posé sur une surface plane et horizontale, en outre cette situation est également utilisable pour l'étude de l'équilibre d'une solide soumis à deux forces. Ce contrat didactique forge un type de savoir implicite qui ne facilite plus la décentration des élèves.

## **5. Conclusion**

Des conceptions alternatives sur la relation entre la force et le mouvement sont modélisées. La structure des questions de la situation M4 ( balle tirée en l'air) a permis d'affiner les modèles explicatifs développés par les élèves pour appréhender la relation entre la force et le mouvement. Nous avons montré que des élèves ivoiriens mobilisent des conceptions en mécanique analogues à celles étudiées dans d'autres pays McDermott(1984), c'est le cas des forces qui sont schématisées tangentes à la trajectoire. La force étant comprise comme proportionnelle à la vitesse. Les conceptions sont donc des modes de pensées largement partagées par les individus. Elles existent avant l'enseignement et coexistent avec le savoir scientifique assimilé. En effet, selon Mc Dermott (1984), les résultats de recherche sur la compréhension des concepts fondamentaux de la mécanique, indiquent que certaines idées erronées sur le monde physique sont communes aux élèves de différentes nationalités, issus de milieux socioculturels différents, et de niveaux d'enseignement et d'âges variés. Cette donnée est vraie dans cette étude.

Elles émergent dans des conditions particulières, elles sont plus liées au contexte qu'au concept lui-même. Dans cette étude, les situations proposées aux élèves de seconde scientifique mobilisaient toutes le concept de force, mais le nombre de cas des difficultés conceptuelles variaient d'une situation à l'autre. Par exemple, nous avons utilisé le même dispositif dans les questions M2 et M3 (Fig. 2 et 3). Dans la situation M2, « livre glissant sur un plan incliné » (Fig. 2), il n'y a eu que deux élèves sur les 35 de la même classe de seconde qui ont fait l'inventaire et la schématisation des forces en introduisant une force fictive dans la même direction que le mouvement. En revanche, dans la situation M3, « une balle qui roule sur un plan incliné » (Fig.3), dix élèves de plus (en plus des deux) font la même schématisation. La situation M3 devient problématique pour ces dix élèves que ne l'était la situation M2.

Ces résultats ont une conséquence exploitable dans les pratiques d'enseignement. D'abord, ces situations peuvent être directement utilisables comme des situations-problèmes au sens de Giordan et de Vecchi (1999), dans la mesure où elles permettent de faire émerger les conceptions alternatives. Ainsi, certaines situations proposées aux élèves permettent d'évaluer leur compréhension conceptuelle, d'autres leur compétence à utiliser les outils mathématiques.

## **Bibliographie**

- Antibi, A. & Brousseau, G. (2002). Vers l'ingénierie de la détransposition. *Revue internationale des Sciences de l'Education*, 8, 45-47.
- Bachelard, G. (1938/1986). *La formation de l'esprit scientifique, contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris : Librairie philosophique J. Vrin.
- De Vecchi, G. & Carmona-Magnaldi, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Paris : édition Hachette

- Feynman, R., Leighton, R. & Sands, M. (1999). *Les cours de physique de Feynman*. Mécanique tome 1. Paris : Dunod
- Garcia, R. (1983). D'Aristote à la mécanique de l'impetus. Psychogenèse et physique prénewtonienne. In J. Piaget & R. Garcia, (Eds.), *Psychogenèse et histoire des sciences* (pp. 43-103). Paris : édition Flammarion
- Giordan, G. & De Vecchi, G. (1994). *Les origines du savoir*. Paris : Delachaux & Niestlé
- Jaballah, H.B. (2006). *La formation du concept de force dans la physique moderne Contribution à une épistémologie historique*. Paris : Harmattan
- Jammer, M. (1957). *Concept of force, a study in the foundation of the dynamic*  
New York: Harvard University Press.
- Koffi, K., I. (2002). *Analyse des difficultés des élèves du lycée en mécanique, proposition de re-médiation*. Mémoire de DEA, Ecole Normale Supérieure d'Abidjan et l'Université René Descartes Paris 5.
- Koyré, A. (1968). *Études newtoniennes*. Paris : Edition Gallimard.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette
- Maarouf, A. & Kouhila, M. (2001). La dynamique élémentaire dans l'enseignement fondamental marocain : analyse des difficultés d'apprentissage de la notion de force. *Didaskalia*, 18, 41-59.
- McDermott, L. (1983). Critical review of research in the domain of mechanics.  
*Proceedings of the first international workshop on research on Physic Education* (pp. 137-182). La Londe, les Maures : édition du CNRS
- MENFB (1996b). *Guides pédagogiques et programme des classes de Seconde*, Abidjan: MENFB/DPFC/S-SP.
- Nanzouan, S.P., Kouassi, N. & Tiamaoui, B.T. (1999). *Physique chimie Seconde C*. Paris : Les Classiques Africaines.
- Robardet, G. (1995). Situation problème et modélisation, l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Aster*, 7, 129-143
- Sallaberry, J., C. (2004). *Dynamique des représentations et construction des concepts scientifiques*. Paris : Edition L'Harmattan.
- Vergnaud, G. (1989). Difficultés conceptuelles, erreurs didactiques et vrais obstacles épistémologiques dans l'apprentissage des mathématiques. In N. Bednarz & C. Garnier, (Dir), *Construction des savoirs* (pp. 33-40). Ottawa : Cirade Agence d'Arc
- Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris: édition Hermann.
- Viennot, L. (1989). Bilan des forces et lois des actions réciproques, analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 951-971.