LA BALANÇOIRE À BASCULE COMME ENTREE POUR LA CONCEPTUALISATION DU CONCEPT DE MOMENTS D'UNE FORCE EN CLASSE DE SECONDE

AKOUA Dahouessa A. Thérèse
Laboratoire de Recherche en Didactique ENS Abidjan
KOFFI Kouakou Innocent
ENS Abidjan.

Résumé

Cette étude aborde la question des activités expérimentales et de modélisation dans l'enseignement des moments d'une force en classe de seconde C dans le système éducatif ivoirien. Elle compare les activités expérimentales et de modélisation des élèves de la pratique d'enseignement traditionnel (PET) à celles de la pratique d'enseignement expérimental avec la balançoire à bascule (PEBB). Elle repose sur la théorie de l'action conjointe en didactique. L'intérêt de cette étude est d'innover l'utilisation de la balançoire dans l'enseignement des moments d'une force et améliorer la qualité des activités expérimentales et de modélisation des apprenants. Les données ont été recueillies à l'aide des enregistrements vidéo transcrits et d'une grille d'entretien semi-dirigé. Les résultats révèlent que la PEBB des moments d'une force favorise les activités expérimentales et de modélisation des élèves tandis que la PET réduit les activités des élèves à des résolutions mathématiques des problèmes physiques.
***Mots clés** : Activités expérimentales, modélisation, moments d'une force, TACD, topo-genèse*

Abstract

This study addresses the issue of experimental and modeling activities in teaching moments of force in 10th grade science classes in the Ivorian education system. It compares the experimental and modeling activities of students in traditional teaching practices (PET) with those in experimental teaching practices using a seesaw (PEBB). It is based on the theory of joint action in didactics. The aim of this study is to innovate the use of the swing in teaching moments of force and to improve the quality of students' experimental and modeling activities. Data were collected using transcribed video recordings and a semi-structured interview grid. The results reveal that PEBB for moments of force promotes students' experimental and modeling activities, while PET reduces students' activities to mathematical solutions to physical problems.
***Keywords:** Experimental activities, modeling, moments of a force, TACD, topogenesis*

Introduction

Cette étude s'inscrit dans le cadre scientifique de la didactique. Elle vise l'analyse des activités expérimentales et de modélisation dans l'enseignement des moments d'une force en classe de

la seconde C dans le système éducatif ivoirien. Elle repose sur la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) (Sensevy, 2013) qui aborde le rôle de chaque joueur (l'enseignant et apprenant) dans le jeu didactique. Selon la TACD, l'enseignement et l'apprentissage sont le résultat d'une action conjointe entre l'enseignant et les élèves (Sensevy et Mercier, 2007). Le savoir est coconstruit par une interaction constante influençant l'évolution de l'apprentissage. Elle se situe dans le cadre général de l'approche socioconstructiviste de l'apprentissage (Vygotsky, 1934-1997) qui met l'accent sur le jeu des interactions sociales et de l'activité de l'apprenant. Les auteurs développent trois concepts intrinsèquement liés à l'action conjointe. Le premier est la méso genèse permettant d'examiner la construction des objets d'apprentissage en classe. Le deuxième est la chrono-genèse qui constitue un cadre d'analyse des différentes temporalités dans la classe. Et le troisième est la topo-genèse servant d'outil d'étude des différentes positions occupées par les acteurs. Notre intérêt se porte particulièrement sur la topo-genèse. Celle-ci permet d'expliquer la dynamique des interactions pendant la pratique de classe. Dans une séquence, l'enseignant occupe souvent la position du détenteur du savoir, de celui qui organise la tâche, qui pose les questions, qui valide les réponses. Il est en position haute didactiquement. Dans l'action conjointe, il essaie de modifier cette position. Il va tendre à se placer en position basse pour laisser les élèves explorer, expérimenter, se tromper et construire par eux-mêmes de nouvelles connaissances. Cela implique des moments où l'élève est en tâtonnement et en erreur puis des moments où il réussit. L'apprenant participe activement à la construction collective du savoir. La topo-genèse permet d'observer la manière dont l'élève va progressivement construire le savoir en passant de l'ignorance à la compréhension, de la difficulté à la maîtrise, de la dépendance vis-à-vis de l'enseignant à une autonomie croissante dans la tâche. Pour l'auteur, la topo-genèse est l'étude de la co-construction et de la transformation des rôles et des positions didactiques des acteurs à travers les diverses interactions.

En Côte d'Ivoire, les programmes éducatifs de l'enseignement secondaire sont pensés pour répondre aux besoins de l'apprenant en lien avec son âge, son développement intellectuel et ses connaissances disciplinaires (Demba, 2020). Les apprenants entrant au cycle secondaire ont un âge compris entre douze et vingt ans. Ces élèves découvrent pour la première le concept des moments d'une force comme

grandeur physique. L'analyse portant sur les prescriptions officielles montre que deux objectifs sont explicités. Il s'agit de montrer aux apprenants le concept de moment en le mettant en relation avec la force et le bras de levier d'une part et de les amener à établir expérimentalement l'expression du moment d'une force et les conditions d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe d'autre part.

La réalisation de ces objectifs passe par des activités réalisées par les apprenants et des tâches que l'enseignant leur propose. Ces tâches consistent d'une part à offrir la possibilité aux apprenants de manipuler un dispositif expérimental, d'observer les phénomènes, d'identifier les facteurs qui entrent en jeu et de les mesurer. La conclusion obtenue est formalisée par la suite sous la forme d'expression mathématique. Cependant, les prescriptions officielles ne précisent pas le dispositif didactique à utiliser pour atteindre ces différents objectifs. Certes il existe un dispositif scolaire classique pour l'étude des moments d'une force mais, il n'est pas assez présent dans les matériels didactiques de nombreux établissements. Quand il existe, son usage reste donc très routinier et contraignant. Les enseignants ont l'attitude de dispenser les savoirs sans expérience ou de faire une expérience démonstrative centrée sur l'enseignant avec le dispositif très scolaire et absent de l'environnement immédiat des apprenants. Aussi, l'enseignement demeure trop abstrait et éloigné des faits quotidiens pourtant abondants et qui peuvent contextualiser le concept de moment. Cette situation nous amène à réfléchir sur la question du lien entre le concret et le concept des moments d'une force en classe de seconde C dans le système éducatif ivoirien à travers deux parties essentielles de ce travail. La première partie développe l'épistémologie de l'enseignement de la physique. La seconde expose la démarche méthodologique et les résultats relatifs à la description de la pratique d'enseignement traditionnel (PET) et de la pratique d'enseignement expérimental avec la balançoire à bascule (PEBB).

1. Épistémologie de l'enseignement de la physique au lycée

La plupart des physiciens note que les sciences physiques étant une discipline expérimentale, il faut donc accorder beaucoup d'importance aux activités pratiques (Giuseppin 1996). Pour Liard, (1907) la physique est la science du réel et du concret. Elle est l'école de

la rigueur, de l'observation méticuleuse, le domaine des faits et non de l'imagination. Ces deux acceptions de la physique forment le substrat d'une méthode expérimentale. Dès lors, la participation et l'activité de l'élève ont une place importante dans l'enseignement de la physique. Les séances où les élèves manipulent du matériel font partie depuis 1902 de l'enseignement de la physique-chimie au secondaire (Belhoste, 1990). À l'instar de tous les didacticiens de la physique (Martinand, 2010, Tiberghien et al 2002) qui considèrent les activités de modélisation comme essentielles pour enseigner et apprendre les sciences, Boilevin (2013) se référant à Toussaint (1995) suggère que la physique à enseigner s'appuie sur la méthodologie propre à la pratique du physicien caractérisée par des activités de modélisation. L'apprentissage de la physique est lié aux relations établies entre le champ des théories et modèles (Bécu-Robinault, 2015). Le recours à un enseignement des modèles et de la modélisation en classe de sciences favorise la communication des idées et des connaissances par le passage d'un modèle mental à un modèle matérialisé (Buckley et Boulter, 2000). L'enseignement de la physique, marqué par la modélisation part du champ empirique pour arriver au champ théorique, du particulier pour aller au général, du concret pour aller à l'abstrait, (Martinand, 2010). L'expérience est prise comme le point de départ de tout enseignement des sciences physiques. Tiberghien et Vince (2011) décrivent l'activité de modélisation en physique comme la mise en relation de deux mondes différents. Le premier est celui des objets, des évènements, du champ expérimental qui renvoient à ce qui est accessible par la perception de façon directe (observation) ou par le biais d'instruments de mesure. Le deuxième est celui des théories, des modèles et des constructions théoriques qui renvoient aux concepts généraux et aux constructions abstraites permettant d'étudier des objets et évènements de la réalité empirique. Hestenes (2010), didacticien de la physique soutient que les modèles dans l'enseignement de la physique s'articulent autour d'une double structure. Une structure physique qui fait référence à une intuition physique relevant des objets et des évènements du monde réel et une structure mathématique, qui fait référence à une intuition mathématique relevant des représentations symboliques. Dorier et al. (2013) définissent la modélisation mathématique comme un processus de correspondance entre deux systèmes en tenant compte des objets en jeu, des relations les liant et des questions posées. Ces auteurs incluent dans ce processus en

plus de la construction du modèle, la discussion et l'étude de la correspondance entre les systèmes en mettant l'accent sur la signification et les rétroactions du processus. La modélisation met en correspondance des éléments d'un domaine extra-mathématique (la physique) et le domaine mathématique (Niss, Blum & Galbraith, 2007). Descartes (1637) présente la modélisation algébrique comme le moyen et la possibilité d'exprimer des grandeurs de deux manières différentes en nombre égal au nombre des termes inconnus.

La revue de littérature sur l'enseignement/apprentissage de la physique accorde un intérêt particulier aux activités expérimentales et de modélisation. En mécanique, la seule vue du dispositif aurait sans doute apporté une aide sensible aux difficultés liées à la géométrie de l'espace (Giuseppin, 1996). L'auteur ajoute qu'un fait n'est concret pour un enfant que lorsque qu'il le connaît par son expérience personnelle. Cependant les activités expérimentales connaissent des difficultés dans le système éducatif ivoirien (Kouamé et al, 2020). Alors, l'intérêt de la manipulation d'un dispositif expérimental par des élèves soulève des questionnements dans l'enseignement des moments d'une force en classe de seconde C. Comment aller du concret connu des apprenants au concept abstrait des moments d'nue force ?

De façon générale, Comment favoriser les activités expérimentales et de modélisation dans l'enseignement des moments d'une force avec la balançoire à bascule en classe de seconde C ?

En d'autres termes, en introduisant la balançoire à bascule dans le milieu didactique, quelles sont les activités des élèves dans l'enseignement des moments d'une force orientées vers les activités expérimentales et de modélisation ?

Le dispositif expérimental concret et familier des apprenants que nous mobilisons pour la conceptualisation des moments ici est la balançoire à bascule présent dans les aires de jeux, (voir figure n°1).

Figure n°1 : balançoire à bascule

Notre objectif principal est d'analyser l'impact des deux pratiques enseignantes sur la qualité des activités expérimentales et de modélisation des apprenants. Notre démarche dans cette communication est descriptive. Elle consiste à décrire les activités des élèves dans l'enseignement des moments d'une force et à identifier les outils opératoires qui leur sont proposés pour établir des rapports entre le concret de leur environnement et les modèles théoriques.

L'étude postule que la pratique d'enseignement expérimentale avec la balançoire à bascule (PEBB) des moments d'une force favorise plus des activités expérimentales et de modélisation des élèves que la pratique d'enseignement traditionnel (PET) des moments d'une force. De façon spécifique, la (PEBB) offre plus d'outils didactiques qui génèrent les activités expérimentales et de modélisation des apprenants pour établir des rapports entre le concret de leur environnement et les modèles théoriques.

2. . Méthodes de recherche

2.1. Terrain d'études et instruments

L'étude a été réalisée dans deux Directions Régionales de l'Éducation Nationale et de l'Alphabétisation (DRENA) de Côte d'Ivoire

durant l'année académique 2023/2024 avec deux établissements scolaires mixtes en genre (garçons/filles). Il s'agit des DRENA d'ABIDJAN 1 au sud et d'ABENGOUROU à l'est.

Dans la DRENA d'Abidjan1, notre terrain d'enquête a été l'un des établissements publics d'excellence du pays. Le Lycée classique d'Abidjan (LCA) situé à Cocody. Créé et ouvert durant l'année scolaire 1945-1946 sous le nom de cours secondaire protestant d'Abidjan, cet établissement secondaire évolue rapidement pour devenir le Lycée Classique d'Abidjan. À partir de 1969, Il devient un établissement du second cycle avec les niveaux seconde, première et terminale. Pour l'année académique 2023/2024, le Lycée Classique d'Abidjan a ouvert 18 classes de seconde C. Celles qui ont fait l'objet notre enquête sont : la 2nde C_5, la 2nde C_6, la 2nde C_{15} et la 2nde C_{16}. Le second établissement est le Lycée Moderne d'Abengourou créé en 1966. À l'origine collège moderne, il est devenu un Lycée quelques années plus tard. Pour l'année académique 2023/2024, le Lycée Moderne d'Abengourou a ouvert 10 classes de seconde C. Celles qui ont servi pour notre enquête sont : la 2nde $C_{2,}$ la 2nde C_8, la 2nde C_5 et la 2nde C_9.

Deux catégories de population ont été ciblées. Il s'agit des enseignants et des apprenants. En ce qui concerne les enseignants, la population mère qui a été utilisée pour le tirage de l'échantillon de base est constituée de 47 enseignants de physique-chimie dont 30 de sexe masculin au Lycée Classique d'Abidjan et 17 enseignants dont 02 de sexe féminin au Lycée Moderne d'Abengourou.

Nous avons procédé à un échantillonnage privilégiant des enseignants tenant deux classes de seconde C pour la nécessité de comparer deux pratiques enseignantes du même enseignant. Ainsi, les séquences d'enseignement de quatre enseignants de physique-chimie (deux du lycée classique et deux du lycée moderne d'Abengourou) de notre population de recherche répondant aux critères sont exploitées. Nous les désignons par A, B, C et D pour garder l'anonymat. Quant aux apprenants, notre échantillon est constitué des élèves de la seconde C de ces quatre enseignants. Ces élèves ont l'âge compris entre 14 et 20 ans. Vu que chaque enseignant possède deux classes de seconde C, les élèves de la première classe constituent le groupe témoin (A1, B1, C1, D1) et ceux de la deuxième classe, le groupe expérimental (A2, B2, C2, D2).

Tableau 1 : récapitulatif des groupes d'élèves par enseignant

Groupe d'élèves	Enseignant A	Enseignant B	Enseignant C	Enseignant D	Pratiques
Groupe témoins	2C_A1	2C_B1	2C_C1	2C_D1	PET
Groupes expérimentaux	2C_A2	2C_B2	2C_C2	2C_D2	PEBB

Pour collecter les données, nous avons eu recours à deux techniques d'acquisition: l'enregistrement vidéo et l'entretien semi-dirigé avec les enseignants. Les films vidéo ont été intégralement transcrits avant d'être exploités. Quant à la méthodologie, elle repose sur l'étude comparative des deux pratiques d'enseignement. Nous comparons la qualité des activités expérimentales et de modélisation des apprenants générées par la pratique d'enseignement traditionnel (PET) et celles générées par la pratique d'enseignement expérimental avec la balançoire à bascule (PEBB) des moments d'une force. Dans cette étude portant sur la construction des connaissances par des activités expérimentales et de modélisation, les transcriptions nous permettront d'observer objets et notions mobilisés, les interactions et les tâches proposées par les enseignants et selon quelle logique d'action ils contribuent à l'atteinte des objectifs fixés au sein du réseau de contraintes locales (manque de matériels didactiques). Dès lors, nous avons choisi l'approche d'analyse qualitative. Elle nous permettra de décrire et de comparer les instruments didactiques déployés et les activités qu'offrent chaque pratique aux apprenants.

2.2. Présentation des résultats

Les PEBB et PET constituent les variables indépendantes. Nous pratiquons un découpage des séquences d'enseignement en trois moments didactiques selon les programmes éducatifs et guides d'exécution physique-chimie seconde C : la phase de présentation, la phase de développement et la phase d'évaluation des apprentissages.[1] Les résultats comportent une dimension qualitative et une dimension quantitative. La dimension quantitative consiste à examiner la capacité de

[1] Programmes éducatifs et guides d'exécution physique-chimie seconde C, P. 52-55 https://dpfc-ci.net/wp-content/uploads/dpfc_fichiers/2019-2020/programmes%20secondaires

chaque pratique à engager la majorité des apprenants dans la réalisation des expériences et la manipulation des objets concrets. La dimension qualitative, quant à elle nous conduira à mesurer la capacité de chaque pratique à améliorer la construction du savoir par les apprenants. Les variables dépendantes observées sont d'une part située du côté des apprenants et d'autre part du côté des enseignants. Les critères qui définissent l'apprentissage dans le cadre constructiviste et socioconstructiviste sont multiples et dépendants du moment didactique. La présentation des résultats dans cette session consistera à décrire et à examiner les activités des élèves pendant la phase de développement selon les deux pratiques d'enseignement (la PET et la PEBB). À ces résultats s'ajoutent ceux de l'auto-évaluation des pratiques recueillies des enseignants. Nous n'exploitons pas tous le corpus développé dans le cadre de la thèse pour cette communication. Nous examinons les apports de la pratique expérimentale avec la balançoire à bascule (PEBB) et la pratique traditionnelle de l'enseignement du moment (PET) au moyen d'une matrice de quatre critères surtout au niveau de la manipulation dans la phase de développement.

- L'objet est-il source de motivation, se prête-t-il aisément à la découverte des concepts de moments ? les élèves parviennent - ils à manipuler aisément l'objet didactique ?
- Les tâches proposées aux apprenants entrainent-elles des activités cognitives, motrices suffisamment complexes des apprenants pour les conduire au raisonnement ?
- Les interactions déployées au sein de la classe sont–elles majoritairement verticales, horizontales ou mixtes dans des proportions raisonnables ?
- Les notions manipulées par les enseignants et par les apprenants dans leurs discours, au tableau, dans les cahiers, ou dans les gestes convergent-elles vers la conceptualisation du concept de moment ?

Ces indicateurs nous permettront de mesurer le degré d'implication ou d'investissement des apprenants.

2.2.1 : Description des tâches, des interactions et des objets et notions manipulés de la (PET)

Dans l'examen de la réalisation des consignes, nous exploitons dans un premier temps le synopsis de la séquence d'enseignement de l'enseignant D pour l'analyse de l'exécution de celle qui consiste à monter le concept de moment en le mettant en relation avec la force et le bras de levier. Et nous utiliserons le synopsis de la séquence d'enseignement de l'enseignant B dans l'examen de l'exécution de celle qui consiste à amener les apprenants à établir expérimentalement l'expression du moment d'une force et les conditions d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe.

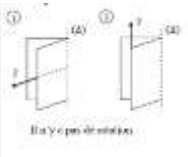
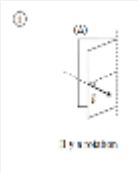
- *L'examen de l'exécution de la première expérience*

Pour la description de la mise de la première expérience, nous utiliserons le synopsis de la séquence d'enseignement de l'enseignant D avec le groupe d'élèves 2C_D1 présenté dans le tableau ci-dessous. Nous désignons le groupe classe par GC, l'enseignant par la lettre P et l'élève par la lettre E. Ces désignations sont procédées de la D1précisant le précisant le groupe d'élèves et du nombre 12 correspondant à la première expérience du deuxième moment didactique et les tours de parole successifs numérotés à partir de 1.

Tableau 2 : Synopsis de la séquence d'enseignement avec le groupe d'élèves 2C_D1

Acteurs	*Tours de parole*	*Images*
PD1121	Intéressons-nous à la porte	
PD1122	Nous allons exercer des actions mécaniques sur la porte pour voir si elle va tourner.	
PD1123	La première force qu'il va exercer c'est d'appuyer du haut vers le bas	
PD1124	Voyons si cette force va faire tourner la porte.	
PD1125	Viens. Appuie vers le bas. il exerce une force, quelle est sa direction ? oui	
ED1121	Verticale	

PD1126	Très bien c'est une direction verticale. Cette force, fait-elle tourner la porte ?	
ED1122	Non	
PD1127	La porte ne tourne pas. L'axe de rotation ici passe par les gonds de la porte. L'axe de rotation des gonds ici est-il vertical ou horizontal ? Oui	
ED1123	Vertical	
PD1128	L'axe de rotation est vertical. Il exerce aussi une force qui a une direction verticale	
PD1129	Que peut-on dire de l'axe de rotation et de la droite d'action de la force ? oui	
ED1124	L'axe de rotation et de la droite d'action de la force ont la même direction	
PD11210	La même direction, donc elles sont comment ?	
ED1125	Elles sont parallèles	
PD11211	Très bien elles sont parallèles. Dans ce cas, la porte tourne-t-elle ?	
ED1126	Non monsieur	
PD11212	Il faut tirer sur la porte vers toi ; en tirant vers lui Y a-t-il rotation de la porte ?	
ED1127	Il n'y a pas de rotation	
PD11213	La droite d'action de cette force est-elle verticale comme l'autre ?	
ED1128	Elle est horizontale	
PD11214	Très bien, quand on construit cette droite d'action, elle vient rencontrer quel axe ici ?	
ED1129	Elle vient rencontrer l'axe de rotation	
PD11215	Ici également, y a-t-il effet de rotation ?	
ED1129	Il n'y a pas de rotation	
PD11216	Ici la droite d'action n'est ni parallèle, ne rencontre pas non plus l'axe de rotation. En poussant l'axe de cette manière, y 'a-t-il une rotation ?	
ED11210	Oui monsieur	
PD11217	Il y a rotation. Merci à ta place.	
PD11218	Vous allez prendre la fiche. La première figure vous enlever et coller	

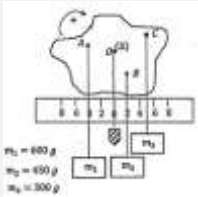
PD11219	la figure 1, dans quel cas sommes-nous ?	
ED11211	on est dans le cas où la droite d'action rencontre l'axe de rotation	
PD11220	La droite d'action de la force rencontre l'axe de rotation. Y a-t-il rotation ?	
GC1121	Non monsieur	
PD11221	On va écrire ici pas de rotation. la figure 2, dans quel cas sommes-nous ?	
ED11212	On est dans le cas où la droite d'action est parallèle à l'axe de rotation	
PD11222	Parallèle à l'axe de rotation, Y a-t-il rotation ?	
ED11213	Non monsieur pas de rotation ;	
PD11223	Figure 3, la droite d'action n'est pas parallèle à l'axe et ne le rencontre pas, qu'est-ce qu'on a observé ?	
ED11214	On a observé qu'il y'a rotation de la porte	
PD11224	Notez : une force a un effet de rotation sur un solide mobile autour d'un axe fixe si sa droite d'action : Ne rencontre pas l'axe de rotation N'est pas parallèle à l'axe de rotation.	

Interprétation : Pour montrer que l'effet de rotation d'une sur un solide mobile autour d'un axe, l'enseignant fait exercer par un apprenant une force sur la porte de la salle de classe dans trois directions différentes par rapport à l'axe des gonds. À chaque action mécanique exercée, l'enseignant amène la classe à observer le phénomène, le communiquer et ensemble ils formulent la conclusion. Rappelons que la tâche consiste à montrer aux apprenants le concept de moment en le mettant en relation avec la force et le bras de levier. Cependant, l'effet du bras de levier n'a pas été mis en évidence seul l'effet de la force a été traité. Les interactions sont verticales entre l'enseignant et les élèves. Les apprenants répondent aux questions suscitées par l'enseignant. Le guidage oral est très strict. Le déroulement est linéaire, tiré par l'enseignant.

- *L'examen de l'exécution de deux dernières expériences*

Nous exploitons le synopsis de la séquence d'enseignement de l'enseignant B pour décrire l'exécution des deux dernières expériences. Elles visent à amener les apprenants à établir expérimentalement l'expression du moment d'une force et les conditions d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe. Les désignations GC pour le groupe classe, P pour l'enseignant et E pour l'élève sont précédées de la lettre B1 précisant le groupe d'élèves et du nombre 22 correspondant aux deux dernières expériences de la phase de développement et les tours successifs de parole numérotés à partir de 1

Tableau 3 : Synopsis de la séquence d'enseignement *avec le groupe d'élèves 2C_B1*

ACTEURS	TOURS DE PAROLE	IMAGES
PB1221	Vous allez faire un tableau à 6 colonnes et 3 lignes : m1, m2 puis m3. Remplissez le tableau. On a m1, la masse c'est combien 0 virgule	
EB1221	600	
PB1222	en kilogramme, ça fait 0, combien ?	
EB1222	0,6kg	
PB1223	0,6 x10 = ?	
EB1223	6	
PB1224	On a F1 égal à 6N. F2, 450g ; ça fait 4,5 N. nous avons également F3 ça fait 3N. si on fait le bilan, quelles sont les autres forces qui s'exercent sur le solide ? oui	
EB1224	Le poids	
PB1225	le poids $\vec{P}$, c'est tout ?	
EB1225	Non monsieur, il y a la réaction	
PB1226	Le poids $\vec{P}$ et la réaction $\vec{R}$, la somme algébrique des moments est égale combien ?	
EB1226	Zéro	
PB1227	la semaine prochaine nous allons formaliser tout cela et le noter	
EB1227	Monsieur ce que vous avez écrit	

PB1228	Sigma, c'est un signe qui veut dire somme en mathématique	

Interprétation : Les tâches proposées aux apprenants consistent à relever les valeurs théoriques de la fiche de schéma, à convertir les unités, à calculer, à faire le bilan des forces et la somme algébrique des moments et à conclure. La consigne recommande d'amener les apprenants à établir expérimentalement l'expression du moment d'une force et les conditions d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe. Cependant, l'activité principale demandée aux élèves est la détermination mathématique des conditions d'équilibre du solide mobile d'un axe fixe à partir des valeurs théoriques. Il n'y a pas eu de manipulation d'objets concrets pour mesurer des valeurs expérimentales. Les interactions sont verticales entre l'enseignant et les élèves. Les notions manipulées sont liées à la masse, à la force et à la somme algébrique.

2.2.2 : Description des tâches, des interactions et des objets et notions manipulés de la PEBB

Pour une analogie dans la comparaison, nous retenons les mêmes enseignants. Dans l'examen de l'exécution de la première expérience nous exploitons le synopsis de la séquence d'enseignement de l'enseignant D. Pour l'analyse de la mise en œuvre des deux dernières expériences, nous utiliserons le synopsis de la séquence d'enseignement de l'enseignant B.

- L'examen de l'exécution de la première expérience

Nous utiliserons, le synopsis de la séquence d'enseignement de l'enseignant D avec le groupe d'élèves 2C_D2 présenté dans le tableau ci-dessous. Dans la mise en œuvre de la PEBB, des groupes de travail constitués sont désignés le sigle GT, le groupe classe par GC, l'enseignant par la lettre P et l'élève par la lettre E. Ces désignations sont précédées de la lettre D2 précisant le groupe d'élèves et du nombre 12 correspondant à la première expérience du développement et les tours successifs de parole numérotés à partir de 1.

..

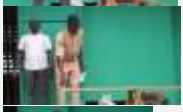
Tableau 4 : Synopsis des travaux pratiques avec le groupe d'élèves 2C_D2

Acteurs	Tours de parole	Images
PD2121	La planche qu'elle a utilisée pour soulever la brique est appelée un levier et le chevron, support sur lequel est posée la planche est l'appui	
PD2122	Noter sur votre feuille de brouillon on a un levier et un appui. Recommence au bout, là, voilà, c'est facile à soulever	
PD2123	Maintenant tu viens au milieu, tu avances, il faut soulever comme tout à l'heure	
PD2124	Que constatez-vous ?	
GC D2121	Moi monsieur	
PD2125	Oui	
GTD2121	Elle n'arrive pas à soulever la brique.	
PD2126	Lorsqu'elle s'approche du chevron c'est plus difficile pour elle de soulever la brique	
PD2127	Lorsqu'elle est à l'extrémité, elle arrive à soulever facilement la brique ; lorsqu'elle s'approche du support c'est difficile pour elle de soulever la brique	
PD2128	Un autre groupe	
PD2129	Commence au bout	
PD21210	Viens tout à fait à côté, maintenant, il ne peut plus	
GTD2122	Non, monsieur	
PD21211	Une autre équipe	
GCD2122	Moi monsieur	

PD21212	Oui exerce une force sur la planche dans cette direction en poussant comme ça. Arrive-t-elle à soulever la brique ?	
GTD2123	Non monsieur	
PD21213	Fait-elle bouger la planche ?	
GTD2124	Non monsieur	
PD21214	La planche ne bouge pas, la brique non plus n'est pas soulevée	
PD21215	Noter tout ça. Ici quelle est la direction de cette force, la force qu'elle exerce ?	
GTD2125	Sa direction est suivant la planche,	
PD21216	Suivant la direction de la planche. Maintenant elle va exercer une force dans cette direction, la planche bouge-t-elle ?	
GTD2126	Non monsieur	
PD21217	La planche ne bouge pas. Comment sa direction est-elle par rapport au support d'appui ?	
GCD2123	Moi monsieur, monsieur	
PD21218	Oui	
GTD2126	La droite d'action de la force qu'elle exerce est parallèle	
PD21218	Très bien parallèle au support. Maintenant l'autre force, la droite d'action qui venait rencontrer l'appui	
GTD2127	Est perpendiculaire	
PD21219	Elle est perpendiculaire et elle rencontre l'axe du support.	
PD21220	Bien la force exercée par votre camarade pour soulever la brique est-elle parallèle à l'axe ?	
GTD2128	Non monsieur	

PD21221	Elle exerce la force vers le bas, la droite d'action de cette force-là rencontre-t-elle le support ? oui	
GTD2129	Non, elle ne le rencontre pas	
PD21222	Non, elle ne le rencontre pas. Comment la droite d'action de cette force est-elle par rapport à l'axe du support ?	
GCD2124	Monsieur	
PD21223	Oui	
GTD2129	Elle est perpendiculaire	
PD21224	L'autre cas là on a vu c'était	
GTD21210	Parallèle	
PD21225	Parallèle, perpendiculaire et rencontre l'axe du support. Cette fois-ci elle est perpendiculaire et ne rencontre pas l'axe support.	
PD21226	La condition pour que la force agisse	
GTD21211	Elle est perpendiculaire et ne rencontre pas le support.	
PD21227	Bien, perpendiculaire et ne rencontre pas le support.	
PD21228	Quel type de mouvement la planche effectue-t-elle ?	
PD21229	La planche effectue un mouvement de cette manière autour de ce support	
GCD2125	Moi monsieur	
PD21230	Oui	
GTD21212	Un mouvement de rotation	
PD21231	Très bien, la planche tourne autour du support, on a un mouvement de rotation autour du support	
PD21232	Qui peut rappeler tout ce qu'on vient de faire ? Oui	

ED2121	Au nous avons placé à l'extrémité de la planche	
PD21233	Avant la planche	
GCD2126	Moi monsieur	
PD21234	Palenfo	
ED2122	Avant la planche, nous avons sélectionné trois personnes pour essayer de soulever la brique sans support	
PD21235	C'est-à-dire de leur propre main, avec seulement leur force.	
PD21236	Tanhassa , arrive-t-elle à soulever la brique avec les mains ?	
GCD2127	Non monsieur	
PD21237	Qu'a-t-elle a utilisé ? elle a utilisé la planche	
GCD2128	Oui monsieur	
PD21238	Avec la planche seule, arrive-t-elle à soulever la brique ?	
GCD2129	Non monsieur	
PD21239	Avec la planche, au départ elle a exercé la force par rapport au support. où se situait- elle ?	
GCD21210	À l'extrémité	
PD21240	Elle était un peu plus loin du support. Alors quand elle est loin du support, qu'on observe-t-on ? oui	
ED2123	Elle arrive à soulever la brique	
PD21241	Quand elle est loin du support, elle arrive à soulever la brique. Plus elle se rapproche du support, qu'observe-t-on ?	
ED2124	Elle a du mal à la soulever	
PD21242	Elle a du mal à la soulever	
PD21243	Donc ici-là, on a deux grandeurs qui entrent en jeu. Qu'exerce-t-elle ? oui	

ED2125	Une force	
PD21244	La force est caractérisée par son intensité, n'est-ce pas ?	
GCD21211	Oui monsieur	
PD21245	Au départ elle exerce une force avec une intensité. Quand elle s'approche ou qu'elle s'éloigne, de quelle notion parle-t-on ? oui	
ED2126	De la distance	
PD21246	Très bien, cela nous amène à parler de la distance. Donc dans cette expérience quelles sont les deux grandeurs principales ? oui	
ED2127	La distance et l'intensité	
PD21247	La distance et l'intensité de la force . Lorsqu'elle s'éloigne du support d'appui, comment la distance varie-t-elle ? comment l'intensité de la force varie-t-elle ?	
GCD21212	Monsieur,	
PD21248	Oui, qui n'a-t-il pas encore parlé ? oui mon petit là	
ED2128	L'intensité de la force change	
PD21248	Quand on est plus proche du support, on est obligé d'exercer plus d'effort.	
ED2128	Lorsque la distance augmente, l'intensité de la force diminue	
PD21249	Si vous diminuez la distance, vous êtes obligés d'exercer plus de force.	
PD21250	Quel est le rôle de la planche appelée le levier ?	
ED2129	Elle nous permet de mieux soulever un objet	
PD21251	L'idée y est	
ED2129	Elle nous permet de ne pas exercer assez de force…..elle facilite la tâche	

PD21252	Exactement elle facilite la tâche du bras, donc la distance entre la droite d'action de la force et l'appui est appelée le bras de levier.	
PD21253	Comment cette distance doit-t-elle être par rapport à la droite d'action de la force ?	
ED21210	Elle doit être perpendiculaire	
PD21254	Elle doit être perpendiculaire. Cela est-il suffisant ?	
ED21211	La droite d'action de la force ne doit pas rencontrer l'axe	
PD21255	Elle doit être perpendiculaire et la droite d'action de la force ne doit pas rencontrer l'axe	

Interprétation : Dans la PEBB les groupes de travail d'apprenants exécutent eux-mêmes les activités expérimentales en utilisant la balançoire constituée de la planche et de l'assemblage de chevrons. Par la différence d'effort fourni en fonction de l'éloignement ou le rapprochement par rapport au chevron de celui qui fait l'effort, l'enseignant amène les apprenants à percevoir l'impact de la force et du bras de levier sur le mouvement de rotation de la planche. Les interactions sont à la fois verticales entre l'enseignant et les élèves puis horizontales entre l'apprenant et pairs par les manipulations et par la formulation collective des observations au sein des groupes.

2.2.2.1. L'examen de l'exécution de deux dernières expériences

Nous exploitons ici également le synopsis de la séquence d'enseignement de l'enseignant B pour décrire l'exécution des deux dernières expériences. La tâche consiste à amener le groupe d'élèves 2C_B2 à établir expérimentalement l'expression du moment d'une force et les conditions d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe. Les groupes de travail d'apprenants constitués sont désignés GT, le groupe classe par GC, l'enseignant par la lettre P et l'élève par la lettre E. Ces désignations sont précédées de la lettre B2 précisant le groupe d'élèves et du nombre 22

correspondant aux deux dernières expériences du développement et les tours successifs de parole numérotés à partir de 1.

Tableau 5 : Synopsis des travaux pratiques avec le groupe d'élèves 2C_B2

Acteurs	Tours de parole	Images
PB2221	Allez pour la pesée. Les rapporteurs vous venez pour noter les masses	
PB2222	Comment as-tu trouvé ?	
GTB2221	72	
PB2223	72kg est pour qui ?	
GTB2222	Dagri	
PB2224	Et l'autre ?	
GTB2223	Monsieur 60 kg	
PB2225	Vous venez, on s'assoit sur la planche pour le jeu d'équilibre	
PB2226	Dagri avance un peu,	
GTB2224	Ouattara attention, tu es au bout	
PB2227	Doucement, c'est bon, on va repérer les positions	
PB2228	Tiens, il faut mesurer les distances	
GTB2225	Monsieur, 77	
PB2229	77, l'unité ?	
GTB2226	77 cm	
PB22210	Vous notez. Pour qui les 77 cm?	
GTB2227	77cm pour Dagri	
GTB2228	Monsieur, Ouattara 95cm	
PB22211	Deux autres groupes 3 et 4 à la pesée. Noter leur masse.	
GTB2229	50, Grah 50kg	
PB22210	Relève la tête, combien ?	
GTB22210	50 Kg	
PB22211	et l'autre ?	
GTB22211	35 kg, N'guessan 35 Kg	
PB22212	35kg, Ok, vous venez pour le jeu d'équilibre de la planche	

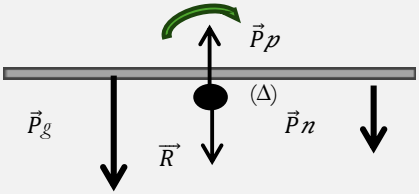
PB22213	Essayer de croiser les pieds par l'arrière, doucement	
PB22214	On essaie de jouer sur la distance	
PB22215	Doucement, c'est bon	
PB22216	On va marquer les positions	
PB22217	Mesurer les distances de la position à l'axe de rotation matérialisé par la ligne au milieu de la planche.	
PB22218	N'guessan de 35 kg, combien pour la distance ?	
GTB22212	78cm	
PB22219	le représentant de 50 kg	
GTB22213	Monsieur, Grah	
PB22220	Oui Grah, combien trouvez-vous ?	
GTB22214	59 cm	
PB22221	Vous avez bien compris. Vous avez un poids en étant avec votre camarade vous avez ajusté les distances et a ramené la planche à l'équilibre horizontal.	

Interprétation : Les élèves manipulent la balance, la balançoire et le décamètre. Ils parviennent par des jeux de modification de leur position à un moment donné à maintenir la planche horizontale par rapport au sol. Tous ces moments de manipulation et des différents types d'interactions aident l'apprenant à se construire intuitivement les facteurs qui influencent l'équilibre avant de passer aux mesures quantitatives. Les conditions de réalisation sont explicitées par les mesures : mesure des masses des joueurs et mesure de leur distance par rapport à l'appui. Les tours de paroles entre les acteurs montrent une forme de conceptualisation collective.

Tableau 6 : Établissement expérimental des conditions d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe avec le groupe d'élèves 2C_B2

PB22224	**NOUS ALLONS FAIRE LES CALCULS POUR TIRER LA CONCLUSION DE L'EQUILIBRE QUE VOUS AVEZ REALISE. CEUX QUI ETAIENT ASSIS SUR LA PLANCHE POUR LE JEU**
EB2221	Ouattara
PB22225	La masse de Ouattara ?
GTB22215	56
PB22226	Sa distance ?
GTB22216	95
PB22227	56 Kg en Newton donc on va noter 560 pour le poid 0,95m. Avec qui était-il ?
GTB22217	Dagri
PB22228	La masse de Dagri ?
GTB22218	72 kg, monsieur
PB22229	72kg, donc 720N ; sa distance ?
GTB22219	77
PB22230	L'unité ?
GTB22220	77 cm
PB22231	77cm, donc 0,77 m
PB22232	Les valeurs de N'guessan et Grah
GTB22221	Monsieur N'guessan 350Net 0,78m
PB22233	Oui, les valeurs de Grah
GTB22222	Le poids 500N et la distance 0,59m
PB22235	Remplissez le tableau
	Je reprends 1: Poids : N'guessan 350N ; Grah 500N ; Distances : N'guessan 0,78m ; Grah 0,59
PB22236	2 : Poids Ouattara 560N ; Dagri 720N ; Distances : Ouattara ; 0,77m et Dagri 0,95m
PB22237	Vous calculez le produit Pxd, vous essayez d'arrondir l résultats à cause des imprecisions des valeurs mesuré Vous avez fini ?
GTB22223	Oui, monsieur

GTB2222	Il reste un peu
PB22238	On va exploiter les résultats
PB22239	Les résultats de l'équilibre de la planche de N'guessan Grah
GTB2222	Monsieur
PB22240	Oui
GTB2222	Pour N'guessan 350x0,78=273
PB22241	Êtes-vous d'accord ?
GTB2222	Oui monsieur
PB22242	Nous allons écrire les résultats sous forme des valeu entières ; vous écrivez $2,73.10^2$
PB22243	Nous allons arrondir les valeurs, on retient $P_ndn = 3.10^2$
PB22244	Combien obtenez-vous pour le résultat de Grah? oui
GTB2222	500x0,59=295=$2,95.10^2$
PB22245	On $P_gdg=3.10^2$
PB22246	En comparant ces valeurs, que constatez-vous retenir ? o
EB2222	Ces valeurs sont égales
PB22247	Très bien, que pouvons-nous dire de P_Nd_N et P_Gd_G, ? oui
EB2223	$P_ndn = P_gdg$
PB22248	vous êtes d'accord ?
GC2221	Oui monsieur
PB22249	Bien, on va noter les résultats du binôme Ouattara / Dag
GTB2222	Moi monsieur
PB22250	Oui
GTB2223	Pour Ouattara 560x0,95=532=$5,32.10^2$
PB22251	Le chiffre après la virgule est inférieur_égal ou à 5 on noter, $P_Od_O = 5.10^2$; le deuxième, oui
GTB2223	Dagri : 720x0,77= 554=$5,54.10^2$
PB22252	Comme tout à l'heure le chiffre après la virgule est inférie ou égal 5 on va noter, $P_Dd_D = 5.10^2$
PB22253	Après ces résultats, que constatez-vous ? oui
EB2224	$P_Od_O = P_Dd_D$
PB22254	Bien, de façon générale que pouvons-nous dire du produ Pxd ou Fxd, le produit de l'intensité de la force par distance, le bras de levier ? oui
EB2225	Il ne change pas
PB22255	il ne change pas ou ? oui
EB2226	Il est constant
PB22256	À chaque équilibre le produit Fxd est constant. Ce produ Fxd est l'expression du moment de la force $\vec{F}$ noté $M_\Delta($
PB22257	Quelle peut être l'unité du moment ? oui

EB2227	Newton mètre
PB22258	Pourquoi ?
EB2228	On a fait F x d, or F en N et d en m
PB22259	Très bien, un banc pour lui ; ce n'est pas N/m parce qu'c ne divise pas ici mais on multiplie d'accord
GC2222	Oui monsieur
PB22260	Bien, on va reprendre l'équilibre de la planche réalisé p N'guessan et Grah
PB22261	À l'équilibre si on fait le bilan des forces, quelles sont l forces qui s'exercent sur la planche ? Oui
EB2229	Le poids de N'guessan et le poids de Grah
PB22262	il n'y a que ces deux forces ? Oui,
EB22210	Il y'a le poids de la planche
PB22263	Le poids $\vec{P}$ de la planche, et ?
EB22211	Le poids $\vec{P}$de la planche et la réaction de……
PB22264	Oui
EB22212	Et la réaction de l'appui
PB22265	Bien, on va choisir le sens positif de rotation, le sens l'aiguille d'une montre Le système : la planche Les forces extérieures appliquées au système sont : - Le poids de N'guessan $\vec{P}n$ -Le poids de Grah $\vec{P}$g -La réaction de l'appui : $\vec{R}$ $et\ l$e poids la planche : $\vec{P}p$
PB22266	+  Calculons la somme des moments de ces forces. $\Sigma M_{\Delta}(\vec{F}ext)$ = $M_{\Delta}(\vec{P}g)$+$M_{\Delta}(\vec{P}n)$+$M_{\Delta}(\vec{P}p)$+$M_{\Delta}(\vec{R})$ Notons l'expression des moments de chaque force. Oui
EB22213	$M_{\Delta}(\vec{P}n)$ = Pndn , $M_{\Delta}(\vec{P}g)$ = − Pgdg , $M_{\Delta}(p\vec{P})=0$
PB22267	Pourquoi $M_{\Delta}(\vec{P}p)=0$? oui
EB22214	la droite d'action du poids de la planche rencontre l'axe rotation
PB22268	Très bien, $M_{\Delta}(\overrightarrow{R})$ = 0 sa droite d'action rencontre au l'axe de rotation
PB22269	Remplaçons chaque moment par son l'expression $\Sigma M_{\Delta}(\vec{F}ext)$= −Pgdg+ Pndn+ 0+ 0 $\Sigma M_{\Delta}(\vec{F}ext)$= −Pgdg+ Pndn

	On a déjà calculé les valeurs $\Sigma M_{\Delta}(\vec{F}ext) = -3.10^2$N.m $+3.10^2$N.m $\Sigma M_{\Delta}(\vec{F}ext) = 0$
PB22270	Que pouvons-nous dire ? oui
EB22215	On peut dire que lorsque la planche est en équilibre somme des moments des forces extérieures est égale à zé
PB22271	Bien, cette expérience nous permet d'annoncer le théorèn des moments : si un solide mobile autour d'un axe fixe e en équilibre la somme des moments des forces extérieur par rapport à l'axe de rotation est égale à zér $\Sigma M_{\Delta}(\vec{F}ext) = 0$. Une condition d'équilibre d'un soli mobile autour d'un axe fixe.

Interprétation : Dans un premier temps l'enseignant amène les apprenants à établir l'expression du moment d'une force par le calcul du produit de l'intensité de la force par le bras de levier à partir des valeurs mesurées et à constater le résultat de chaque équilibre. Il les amène ensuite à faire l'étude de la planche en tant que système mécanique en faisant la somme des moments des forces extérieures à partir des valeurs expérimentales. Enfin, après interprétation du résultat et de la conclusion, l'enseignant amène les apprenants à généraliser le résultat et à définir le théorème des moments, condition d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe.

2.2.3. Résultats d'auto-évaluation des pratiques enseignantes

Selon l'enseignant B, la PEBB lui a permis d'avoir une meilleure approche de ce qu'il enseigne parce qu'elle apporte un dispositif qui est nouveau dans le domaine. Auparavant, le dispositif utilisé n'était pas dans le milieu des apprenants et était difficilement compris par eux. Avec la PEBB, l'enseignement des notions est plus facile puisque les apprenants voient ce que c'est que l'axe de rotation, ce que c'est que le bras de levier donc les notions sont plus faciles à véhiculer. Quant à l'enseignant D, la PEBB a été une expérience enrichissante pour lui et comme un jeu pour les élèves. Elle lui a permis de s'améliorer sur certaines choses dans son enseignement et a suscité l'enthousiasme et la participation des apprenants. Les expériences leur ont permis de mieux assimiler les notions mais il a déploré la durée des activités expérimentales et leur multiplicité.

Conclusion et discussion

Dans la PET dans la première tâche prescrite, l'enseignant fait exercer par un apprenant une force sur la porte de la salle de classe dans trois directions différentes par rapport à l'axe des gonds. À chaque action mécanique exercée par cet apprenant, l'enseignant amène la classe à observer le phénomène, le communiquer et ensemble ils formulent la conclusion. Cependant, l'effet du bras de levier n'a pas été mis en évidence seul l'effet de la force a été traité. Les interactions sont verticales. Quant à l'exécution de la deuxième tâche, dans la PET il n'y a pas eu de manipulation d'objets concrets pour mesurer des valeurs expérimentales. Les interactions sont verticales entre l'enseignant et les élèves. Les tâches proposées aux apprenants consistent à relever les valeurs théoriques de la fiche de schéma, à convertir les unités, à calculer, à faire le bilan des forces et la somme algébrique des moments et à conclure. L'activité des élèves a consisté à déterminer à partir des valeurs théoriques les conditions d'équilibre du solide mobile d'un axe fixe. Ces résultats dégagent des écarts entre ce qui est prescrit officiellement dans l'enseignement du moment d'une force et ce qui est réellement fait et enseigné dans les salles de classe.

Dans la PEBB, pour exécuter la première tâche l'enseignant fait exercer par plusieurs apprenants de différents groupes de travail les forces sur la balançoire constituée d'une planche et d'un assemblage de chevrons. Par la différence d'effort fourni en fonction de l'éloignement ou le rapprochement par rapport au chevron de celui qui fait l'effort, l'enseignant amène les apprenants à percevoir l'impact de la force et du bras de levier sur le mouvement de rotation de la planche. Les interactions sont mixtes. Concernant la deuxième tâche prescrite, les apprenants ont manipulé plusieurs objets réels (planche, chevrons, balance, et le décamètre) et réaliser plusieurs activités expérimentales telles que peser, équilibrer, repérer et mesurer. L'enseignant amène les apprenants à établir l'expression du moment d'une force par le calcul du produit de l'intensité de la force par le bras de levier à partir des valeurs mesurées et à constater le résultat de chaque équilibre. Il les amène ensuite à faire l'étude de la planche en tant que système mécanique en faisant la somme des moments des forces extérieures à partir des valeurs expérimentales. Enfin, après interprétation du résultat et de la

formulation de la conclusion, l'enseignant amène les apprenants à généraliser le résultat et à définir le théorème des moments.

La PEBB fournit à l'enseignant un dispositif didactique pour amener les élèves établir expérimentalement les conditions d'équilibre d'un solide. Elle offre plusieurs tâches expérimentales aux apprenants. En plus elle suscite la participation, l'autonomie d'un grand des apprenants à la réalisation de l'expérience. Elle déploie par conséquent le conflit-socio-constructiviste et d'interactions multiples et variées. Ces résultats confirment notre hypothèse qui atteste que la pratique d'enseignement expérimentale avec la balançoire à bascule (PEBB) des moments d'une force favorise plus des activités expérimentales et de modélisation des élèves que la pratique d'enseignement traditionnel (PET) des moments d'une force.

Bibliographie

BÉCU-ROBINAULT Karine, (2015). Un cadre épistémo-sémiotique pour concevoir des séances et analyser des pratiques d'étude et d'enseignement de la physique. Toulouse, HDR.

BELHOSTE Bruno,1990. L'enseignement secondaire français et les sciences au début du XXe siècle : La réforme de 1902 des plans d'études et des programmes. *Revue d'histoire des sciences*, pp. 371-400.

BOILEVIN Jean-Marie, 2013. *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants : regards didactiques*. De Boeck Supérieur.

BUCKLEY, Barbara C. et BOULTER, 2000. Carolyn J. Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In: *Developing models in science education*. Dordrecht: Netherlands, Springer pp. 119-135.

DEMBA, Hal Ahassanne, 2020. *L'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de la physique en situation d'enseignement en classe entière au collège en Côte d'Ivoire. Etude du cas d'un simulateur d'oscilloscope*. Thèse de doctorat. CY Cergy Paris Université.

BURGERMEISTER Pierre-François et DORIER, Jean-Luc, 2013. La modélisation dans l'enseignement des mathématiques en Suisse romande. Petit x, N°91, pp. 5-24.

HESTENES David, 2009. Modeling theory for math and science education. In: *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies: ICTMA* N°13. Boston, Springer, pp. 13-41.

PIERRE Gaidioz, VINCE Jacques, et TIBERGHIEN Andrée., 2004, Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *Bulletin de l'Union des Physiciens* 1907-2003, 98, N° 866, pp. 1029-1042.

GIUSEPPIN Michel, 1996. Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques. *Didaskalia*, 9, N° 1, p. 107-118.

KOUAME N'guessan, KONAN Kouadio, et AKA Boko. 2020**.** *Importance de la pratique expérimentale dans l'enseignement de la physique en classe de sixième*. Afrique Science 16 N° 1, pp. 329-347

LIARD Louis, 1907. *Circulaire aux Professeurs*, Bulletin de l'Union des Physiciens

MARTINAND Jean-Louis, 2010. *Schémas didactiques pour la modélisation en sciences et technologies*. Spectre, *40*, N° 1, pp. 20-24.

NISS Mogens, BLUM Werner et GALBRAITH Peter, 2007. Introduction. *Modelling and applications in mathematics education,* the 14th ICMI study, pp. 3-32.

Gérard Sensevy, 2013. Filmer la pratique. Un point de vue de la théorie de l'action conjointe en didactique. L.Veillard & A. Tiberghien. *Instrumentation de la recherche en Education. Le cas du développement d'une base de vidéos de situation d'enseignement et d'apprentissage* ViSA, MSH.

Sensevy.G, Mercier.A, (2007) Agir ensemble L'action didactique conjointe du professeur et des élèves. Presses Universitaires de Rennes

TIBERGHIEN Andrée, 1994. Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, 4, N° 1, pp. 71-87.

TIBERGHIEN Andrée et VINCE Jacques. 2002. Études de l'activité des élèves de lycée en situation d'apprentissage de la physique. *Pluralité des langues et des supports : Descriptions et considérations pédagogiques*.

TOUSSAINT Jacques, 1995. La physique et son enseignement. M. Develay, *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines. Une encyclopédie pour aujourd'hui.* ESF Paris, pp. 295-315.

VYGOTSKY Lev Semiovich, 1934-1997. Pensée et langage. Paris. La dispute