

# Difficultés des élèves à appréhender la notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces en classe de 3<sup>e</sup> mc au Benin

**MICHOAGAN Midingoï Dèdèwanou**

*Doctorant*

*Didactique des disciplines*

*Didactique de Physique Chimie Technologie*

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE D'ABIDJAN

UNIVERSITÉ ALASSANE OUATTARA

00229-97-27-88-26 /00229-40-34-65-44

midmichd@yahoo.fr /dieudonnemichoagan@gmail.com

*Supervisé par :*

*Professeur Titulaire de Didactique des*

*Disciplines*

00 225 07 08 85 08 40

Sharlissan@hotmail.com

## Résumé :

*Les difficultés des élèves à appréhender des notions d'équilibre en physique ont leurs sources dans l'utilisation du formalisme mathématique en physique. Pour connaître ces difficultés notre travail de recherche est basé sur les erreurs des élèves à partir desquelles nous avons identifié les différentes catégories de difficultés. Mais quelle est la nature des difficultés des élèves de la classe de 3<sup>e</sup> au cours de l'apprentissage de la notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces sur un plan incliné ? A l'analyse des pratiques de deux enseignants des classes de 3<sup>e</sup> MC dans la commune d'Avrankou, nous avons abouti à deux catégories de difficultés qui sont l'une épistémologique et l'autre didactique. Pour ce faire nous avons mobilisé le cadre théorique de la Double Approche Didactique et Ergonomique (DADE) de Robert & Rogalski (2002) ; Robert (2008), Masselot & Robert (2002). De celle-ci, nous retenons notamment des éléments méthodologiques : une analyse des pratiques à différents niveaux (global, local et micro) et une analyse en termes de composantes de pratiques.*

---

## Abstract

*The pupils' difficulties in understanding notions of balance in physics have their sources in the use of mathematical formalism in physics. To find out about these difficulties, our research work is based on the errors of the pupils from which we identified the different categories of difficulties. But what is the nature of the*

*difficulties of the pupils of the 3rd class during the learning of the concept of equilibrium of a solid subjected to forces on an inclined plane ? In the analysis of the practices of two teachers of the 3rd MC classes in the municipality of Avrankou, we came up with two categories of difficulties, one epistemological and the other didactic. To do so, we have mobilized the framework of the Dual Approach Didactic and Ergonomic (DADE) of Robert & Rogalski (2002); Robert (2008), Masselot & Robert (2002). From this one, we retain in particular methodological elements: an analysis of practices at different levels (global, local and micro) and an analysis in terms of the components of practices.*

---

## **Introduction :**

L'utilisation du formalisme mathématique en physique assez peu questionnée peut-être facteur de l'échec chez les élèves béninois comme d'autres pays. Nous recherchons les sources dans les pratiques enseignantes au cours de notre travail de recherche dont le thème est intitulé : « difficultés des élèves à appréhender la notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces en classe de 3<sup>e</sup> ».

## **II. Problématique, objectifs, questions de recherches, hypothèse :**

### ***2.1. Problématique***

La traduction vectoriellement, graphiquement et algébriquement d'une situation physique d'équilibre (statique) est un travail difficile au cours de l'apprentissage des savoirs enseignés chez les élèves.

### ***2.2. Objectifs :***

Le but fondamental de notre recherche est d'identifier les difficultés des élèves lorsqu'ils sont mis en situation de traduire vectoriellement (et graphiquement) une situation physique d'équilibre (statique). Spécifiquement, notre recherche vise à doter le système éducatif béninois et du monde d'un outil didactique permettant de repérer rapidement les difficultés d'un élève face à la notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces. Également elle vise à ressortir les difficultés qu'ont les élèves de la classe de 3<sup>e</sup> sur : le concept d'équilibre, le bilan des forces appliquées à un solide posé sur un plan incliné, la condition d'équilibre d'un solide, la traduction de l'expression vectorielle de cette condition en graphique

(représentation des forces appliquées au solide en équilibre) et la traduction de la forme graphique en forme algébrique.

### **2.3. Questions de recherches :**

Mais quelle est la nature des difficultés des élèves de la classe de 3<sup>e</sup> au cours de l'apprentissage de la notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces sur un plan incliné ?

### **2.4. Hypothèse :**

La nature des difficultés des élèves au cours de l'apprentissage de la notion d'équilibre est d'ordre épistémologique et didactique.

## **III. Contextualisation et problématisation**

### **3.1. Contextualisation :**

Les écoles de notre pays ont assez de difficultés dont les responsabilités sont partagées par les acteurs des systèmes. Celles de l'enseignement secondaire de la formation technique et professionnelle sont caractérisées par de mauvaises conditions de travail, participant chaque année à un échec massif aux examens de fin d'année (DDESFTP-O<sup>1</sup>. (2018). *Bilan moral des résultats de fin d'année du BEPC*. Porto-Novo). Notre constat nous amène à dire que cet échec provient de la PCT surtout de sa partie physique. Pour preuve assez d'élèves choisissent les séries littéraires au détriment des séries scientifiques dans le souci de fuir la PCT. Ce qui nous amène à rechercher les difficultés des élèves à apprendre les notions d'équilibre d'un solide sur un plan incliné.

### **3.2. Problématisation**

#### **3.2.1. Revue de littérature :**

- Nos recherches nous ont permis d'affirmer que des travaux de recherche en didactique des sciences ont abordé les difficultés des élèves à appréhender la notion d'équilibre statique d'un solide soumis à des forces. Ces travaux ont relevé que la modélisation des objets physiques du monde des événements à des théories de la physique pour expliquer l'équilibre statique nécessite la maîtrise des notions de vecteurs. Nous pouvons citer les travaux de : (Viennot, L. (1989)),

(Graham, R. et Aguirre, J. (1989)), (Cissé, B. (2011)), (Marouf, A. et Kouhila, M. (2001)), (Aguirre (1988)), Canu Michael (2014), Khadidja, R. (2016), et Michel, V. (1975).

Cissé, B. (2017) dans son article intitulé « Didactique et pédagogie : deux sciences complémentaires » a défini la didactique comme une discipline qui vise à identifier les principaux concepts à transmettre, anticiper les difficultés d'apprentissage relatives à ces concepts, cerner les prérequis nécessaires dans le niveau de formation requis, identifier les représentations des apprenants, définir en lien avec l'approche pédagogique, les processus d'apprentissage. Elle s'appuie sur la maîtrise du contenu, en particulier sur une connaissance fine de l'histoire de l'évolution des connaissances en cause. Dans un contexte où l'accès au savoir brut n'est plus un enjeu, l'expertise de l'enseignant ou du formateur est envisagée davantage dans un souci de compétence didactique que dans un objectif purement « transmissif ». L'exemple est l'analyse du passage d'un équilibre vertical à un équilibre horizontal. Du savoir savant aux savoirs à enseigner des formes sont nécessaires. Cela est expliqué par Chevalard, Y. (1985) : « les savoirs savants » sont mis en forme pour les rendre accessibles aux apprenants au prix d'une transformation en rapport avec l'âge et les acquis préalables des élèves. Ce processus nécessite des contraintes. Philippe, P. (1998) déclare que ces contraintes de transmission ont inévitablement des incidences sur les savoirs enseignés. Michel, V. (1975) nomme ce processus de transformation du savoir « transposition didactique » : « toute pratique d'enseignement présupposé ». Cette transmission des concepts scientifiques en « savoirs enseignés » prend par les canaux décrits par Chevalard, Y. (1985), Philippe, P. (1998) et Michel, V. (1975). « La notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces » contient trois concepts fondamentaux qui sont les concepts de « équilibre », « solide » et « forces » contenant chacun une clarification « pivot » traduisant leur forme scientifique. Les élèves ont préalablement leur conception c'est-à-dire chacun a sa représentation sur ces concepts, constituant des obstacles à l'apprentissage. Ils rencontreront alors des difficultés au cours du processus enseignement-apprentissage-évaluation qui se reposent sur l'usage des notions de mathématiques. Le travail de Viennot, L. (1989) révèle que les vecteurs sont un outil

indispensable pour la représentation des concepts physiques comme la vitesse, la force, le champ électrique... les résultats de ses travaux confirment que plusieurs savoirs faire de référence maths sont associés à la manipulation des vecteurs :

- Reconnaître et utiliser les coordonnées d'un vecteur,
- Déterminer la norme d'un vecteur,
- Déterminer la somme ou la différence des vecteurs,
- Calculer le produit scalaire entre deux vecteurs.

Pour ma part, l'élève qui n'arrive pas à manipuler l'un de ces savoirs aura de difficultés à appréhender des notions d'équilibre statique. En mathématiques les vecteurs permettent d'étudier des déplacements et de modéliser des translations. Très rapidement les manipulations sur les vecteurs ne se font que sur leurs coordonnées et plus à partir des représentations géométriques. Tandis qu'en physique les vecteurs sont utilisés pour représenter plusieurs grandeurs différentes : forces, champ électrique, vitesse, accélération. On demande surtout aux élèves de savoir :

- Additionner ou soustraire des vecteurs pour calculer la résultante des forces ;
- Projeter des vecteurs pour calculer la composante d'une force selon une direction donnée ;
- Calculer la norme d'un vecteur ou d'une somme de vecteurs ;
- Réaliser un produit scalaire pour calculer le travail d'une force.

Cette notion de mathématique s'avère indispensable dans l'apprentissage de la notion d'équilibre statique d'un solide soumis à des forces. (Viennot, L. (1989).) fait constater que « les élèves voient souvent le vecteur comme un scalaire. Plus généralement ils vont oublier de mettre la flèche sur le vecteur. Ils ont du mal à additionner deux vecteurs. Ils les mettent souvent queue à queue plutôt que tête à queue. Ce sont des erreurs fréquentes que les élèves commettent ». Comme cette notion de mathématique intervient dans l'explication de

la condition d'équilibre d'un solide, les élèves rencontrent de difficultés lors du changement conceptuel. L'enseignant opère dans ce cas un parachutage. Khadidja, R. (2016) l'explique comme suit : « les représentations symboliques des concepts de la physique sont souvent parachutées par l'enseignant sans être discutées avec les élèves. L'élève est amené à accepter des modèles tout faits sans qu'il soit impliqué dans les processus intellectuels (problématique, conceptualisation, modélisation, formalisation, etc.) qui mènent à leur élaboration. Il est tout simplement sollicité pour appliquer ces modèles afin de répondre à des questions écrites sur des situations elles-mêmes décrites » Khadidja, R. (2016). Ce parachutage de concepts fait que les élèves ne ressentent pas les difficultés lors du processus d'apprentissage. C'est lors de l'évaluation que l'on s'en rend compte.

Pour expliciter ces difficultés d'articulation mathématiques-physique, Cissé, B. (2011) s'intéresse aux

« Concepts vecteurs et grandeurs physiques vectorielles ». A partir des résultats d'analyse des manuels des mathématiques et de la physique de la seconde S au Sénégal et de la première S en France, l'auteur estime que les situations physiques introduites dans les manuels de mathématiques manquent de réalisme du point de vue de la problématique physique et que les objets mathématiques ne sont utilisés que comme outils. Un mauvais usage de ces outils est un élément qui conduit l'élève dans les erreurs.

Dans le contexte marocain, on note les travaux de Marouf, A et Kouhila, M. (2001) sur les difficultés rencontrées par les élèves lors de l'étude de situations mécaniques modélisables en termes de "Force" au collège. Les activités de modélisation en question concernent la définition du système étudié, l'inventaire des forces qui agissent sur le système et la représentation de ces forces à l'aide des entités vectorielles. Ces difficultés évoquées par Marouf, A et Kouhila, M. (2001) sont fondamentales dans le processus enseignement-apprentissage-évaluation de l'équilibre statique d'un solide en mécanique. A partir du support d'enseignement, l'élève a le droit ou le devoir à l'identification des types de forces qui agissent sur le solide. Sinon il ne pourra pas faire l'inventaire des forces qui agissent sur le système d'étude. L'usage du vocabulaire approprié dans l'inventaire est autre point focal. Ensuite son travail évoque la

représentation des forces par conséquent une traduction graphique de la condition d'équilibre. L'enseignant doit mettre à la disposition de l'élève le nécessaire pour qu'il apprenne alors qu'ils ont de difficultés à l'intégration des processus d'apprentissage. Marouf, A et kouhila, M. (2001) attribuent ces difficultés d'acquisition des premières notions de mécanique principalement à la non-intégration des processus de modélisation et de conceptualisation dans les structures cognitives des collégiens marocains. Le changement de conception dans ces conditions s'effectue difficilement.

Graham, R et Aguire, J. (1989) ont écrit l'article *titré* « les conceptions des étudiants en cinématique vectorielle » dont l'objectif fondamentale est de déterminer l'effet que l'instruction c'est-à-dire la traditionnelle méthode d'enseignement « expositoire » en cinématique vectorielle a sur les idées préconçues des étudiants en considérant les travaux précédents sur les caractéristiques vectorielles notamment de Graham, R. et Aguire, J. (1989) et de Aguire, J. (1988). Graham, R. et Aguire, J. (1989) et Aguire, J. (1988) sont parvenus qu'une compréhension des caractéristiques des vecteurs (composition des vitesses orthogonales, indépendance de la direction des composants, indépendance du temps des composants, indépendance de l'ampleur des composants) est crucial pour comprendre la cinématique vectorielle et d'autres sujets de physique dans lesquels d'autres quantités vectorielles sont présentes. Comme dans le cas de notre travail de recherche sur

« La notion d'équilibre statique d'un solide puisqu'il l'est sous l'effet des forces lesquelles sont représentées par des vecteurs. La méconnaissance de ces dernières sera l'une des causes des erreurs que peuvent commettre les élèves lors de la traduction vectorielle des conditions d'équilibre d'un solide soumis à des forces. Graham, R. et Aguire, J. (1989), pour atteindre l'objectif principal de leur recherche, ont pris un échantillon de soixante-treize

(73) étudiants de première année qui avaient récemment terminé un cours de mécanique comprenant la cinématique bidimensionnelle, qu'ils soumettent à l'expérience suivante. Il applique un coup de pied à un projectile (bloc) le long d'une ligne horizontale, agissant au centre de la masse de bloc afin d'éviter sa rotation et tire une « flèche » sur sa face pour montrer l'orientation du bloc avant qu'il n'atteigne une table

inclinée (air-table). Ensuite ils prennent appui sur ces travaux de recherches pour élaborer quatre séries de questionnaires portant sur les quatre caractéristiques des vecteurs (horizontal et vertical) vitesses du bloc auxétudiants puis obtiennent les résultats suivants :

- ✓ Un pourcentage important d'étudiants n'avait pas changé leurs idées cinématiques vectorielles malgré l'instruction ; à peine quelques-uns ont l'approche conforme à la conception des physiciens.
- ✓ Environ la moitié des élèves (52 %) ont prédit que les deux vitesses influencent le mouvement du bloc et leur combinaison produit une sorte de chemin parabolique. Un tiers a également prédit une combinaison de deux vitesses mais la résultante en une ligne droite, un chemin diagonal. Environ 15% ont prédit un chemin séquentiel en deux étapes. En conclusion ces étudiants ont une vue non combinée de la composition des vitesses.
- ✓ Près de la moitié des étudiants (48 %) ont dessiné le bloc avec son orientation, représenté par la flèche tracée sur elle toujours tangentiel au chemin à tout point. Cette réponse a été interprétée comme une confusion ou le maintien d'une 'méprise'. Peut-être ils confondent la direction de vecteur vitesse instantané résultante avec la direction de la composante horizontale. Ils ont du mal à comprendre le concept d'indépendance d'orientation lors de la composition des vitesses orthogonales simultanées et ont maintenu leur vision intuitive. D'autres élèves ont montré que l'orientation initiale (horizontale) du bloc reste inchangé tandis qu'il se déplace le long du chemin parabolique montrant avec ceci, apparemment, leur compréhension de l'indépendance des directions des composantes orthogonales. Un petit pourcentage des étudiants (6%) croyaient que l'orientation du bloc changerait progressivement d'un cap horizontal à un cap vertical; un pourcentage significatif des étudiants (12 %) n'était pas engagé à cet égard question.
- ✓ Malgré l'instruction et la mise en garde données aux étudiants sur la vitesse horizontale environ la moitié des étudiants (52 %) ont prédit que la composante horizontale

ne serait pas affectée par l'augmentation de la composante verticale après l'augmentation de la pente de l'inclinaison. Cependant la moitié des étudiants (52 %) ont prédit que la composante horizontale ne serait pas affectée par l'augmentation de la composante verticale. Il est clair que ces étudiants n'ont pas encore saisi le concept de l'indépendance des magnitudes des composants orthogonaux.

Après discussion sur ces résultats, ils concluent qu'il y a certaines similarités entre les conceptions tenues par les étudiants du collège et les idées préconçues identifiées pour les élèves du secondaire.

Ces chercheurs ont expliqué l'utilisation du formalisme mathématique en physique. Les enseignements que nous pouvons tirer de ce travail de recherches de Graham, R. et Aguire, J. (1989), pour notre travail de recherche est la fonction des idées préconçues des élèves. Ces idées sur les notions des vecteurs en mathématiques comme dans les sciences physiques étudiés en classe de quatrième dans le programme scolaire de notre pays au niveau de la troisième situation d'apprentissage (SA3) (INIFRCRF (2015). *Guide et programme révisés de P.C.T de la classe de 4e*) intitulé « interactions mécaniques : forces et poulies » vont agir considérablement sur l'apprentissage de la notion d'équilibre statique alors que le solide est en équilibre sous l'effet des forces.

. Si les élèves avaient des mauvaises idées sur les notions de vecteurs forces, ils ne pourront pas faire le bilan des forces appliquées au solide pour le maintenir en équilibre, ils ne peuvent pas représenter ces forces et par conséquent ils auront de difficultés à appréhender la notion d'équilibre d'un solide. Il faudrait que l'enseignant mette en place une méthode adéquate pour opérer un changement conceptuel au sein des élèves lors du processus enseignement- apprentissage.

### **3.2.2. Cadre théorique :**

Nous avons mobilisé le cadre théorique de la Double Approche Ergonomique et Didactique (DAED) de Rogalski et Robert, A. (2002), de Robert, A. (2008) et Robert et Masselot (2002) pour notre recherche. De celle-ci, nous retenons notamment des éléments

méthodologiques : une analyse des pratiques à différents niveaux (global, local et micro) et une analyse en termes de composantes de pratiques.

#### **IV. Méthodologie :**

##### ***4.1. Population cible de l'enquête et échantillonnage***

Pour cerner notre problématique nous avons choisi de suivre les pratiques de deux enseignants de sciences physiques (A) et (B) de la commune d'Avrankou et leurs élèves : cinquante-deux (52) élèves dans la classe de l'enseignant (A) dont treize (13) redoublants et quarante-six (46) dans celle de (B) dont huit redoublants constitués en des binômes.

Les raisons des choix sont les expériences professionnelles des enseignants et les différents problèmes des élèves suivant les situations de leur collège.

##### ***4.2. Technique d'investigation :***

Le corpus est organisé en trois phases qui sont l'entretien séparément avec les deux enseignants, l'observation d'une séquence de cours dans les classes de 3<sup>e</sup> de ces enseignants et l'évaluation des élèves de l'enseignant (A).

Nous nous sommes servis d'un questionnaire de 16 questions pour l'entretien, (Voir annexe 1).

Quant à la phase d'observation de classe nous nous sommes servis d'une sous-activité avec son corrigé type élaboré par l'enseignant (A) (Voir Annexe 2). Elle comporte une capacité<sup>2</sup> et trois habitués. Nous avons utilisé un chronomètre pour prendre le temps de travail, un enregistreur de son pour enregistrer le son, un appareil photo pour prendre les vues, d'un appareil caméra pour filmer quelques parties de la séquence, d'une fiche pour noter les niveaux d'organisations des pratiques des enseignants et leurs composantes cognitives, médiatives et institutionnelles.

Enfin nous avons élaboré un sujet d'évaluation ponctuelle d'étape<sup>3</sup> aux élèves en modifiant la variable. (Annexe 3).

### 4.3. Procédure d'enquête :

Nous avons de prime abord mis à la disposition des enseignants une série de questions auxquelles ils ont répondu. En deuxième lieu, nous avons suivi la séance de cours de chacun sur « l'équilibre d'un solide en translation sur un plan incliné et soumis à trois forces, la troisième habileté (question 3) constituée de quatre sous-habilités a, b, c et d en suivant de bout en bout les pratiques des enseignants et en prenant soin de noter les organisations des enseignants puis des élèves pour pouvoir dégager les difficultés des élèves selon les critères que nous avons prédéfinis puis en photographiant quelques images. En troisième lieu nous avons fait l'évaluation aux élèves de l'enseignant (A). A partir des données issues de chacune des phases et des critères liés aux erreurs, nous avons enfin retenu les difficultés des élèves par catégories pour déduire leur nature.

## V. Principaux résultats :

### 5.1. Résultats issus des analyses des données de l'entretien, de la sous-activité et de son corrigé :

Il résulte des analyses des données que nous avons recueillies au cours de l'entretien avec les enseignants, de la sous-activité et de son corrigé type des critères caractérisant les erreurs des élèves consignées dans le tableau 1 ci-dessous en attribuant à chaque erreur un numéro noté  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  et  $\varepsilon$  pour les raisons de simplicité de lecture.

Numérotations	Critères	Erreurs étudiées	Nature des erreurs
$\alpha$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ecriture des expressions des forces ;</li> <li>- Positionnement des points d'application des forces,</li> <li>- Prononciation du nom des forces ;</li> <li>- Lecture des mots ;</li> </ul>	Le vocabulaire adéquat n'est pas correctement utilisé	Épistémologique

$\beta$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usage des règles de calcul;</li> <li>- Prise de mesure de l'angle ;</li> <li>- L'unité des longueurs vectorielles des forces et des intensités calculées</li> </ul>	L'intensité des forces est un calcul numérique incorrect	Didactique
$\gamma$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Positionnement des instruments géométriques pour construire les vecteurs,</li> <li>- Usage de notions de positions relatives des droites dans l'espace (droites parallèles, droites perpendiculaires, droites sécantes..).</li> </ul>	Les instruments géométriques ne sont pas correctement disposés pour représenter les forces.	Didactique
$\delta$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'écriture mathématique de la somme vectorielle des forces ;</li> <li>- Le positionnement de l'égalité séparant les deux membres ;</li> </ul>	La condition d'équilibre n'est pas bien traduite et utilisée	Epistémologique
$\varepsilon$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le passage de la forme vectorielle à la forme graphique ;</li> <li>- Le passage de la forme graphique à la forme numérique.</li> </ul>	Mauvaise utilisation du formalisme de mathématiques en physiques	Didactique

Tableau 3: Caractéristiques des erreurs commises par les élèves

### ***5.2. Résultats issus des analyses des données issues de l'observation et de l'évaluation :***

Grâce au tableau caractéristique inventé pour relever rapidement les erreurs des élèves nous avons après des analyses retenues :

- De la phase de l'observation nous sommes convaincus que les difficultés des élèves se retrouvent au niveau de l'inventaire des forces, l'écriture vectorielle de la condition d'équilibre d'un solide posé sur un plan incliné soumis à l'action de trois forces, l'utilisation des objets de géométrie, la traduction de l'expression vectorielle en expression graphique, la traduction

de l'expression graphique en expression algébrique, la manipulation du scalaire, l'utilisation de la règle de trois et la reconnaissance de l'unité de grandeurs algébriques.  
Voici les images de quelques erreurs

- La formule  $P=T+R$



Photo1 : Production de deux types d'erreurs par les élèves

- Lors de la prise de notes par les élèves, un élève malgré que la production est au tableau a fait encore une erreur sur le scalaire.

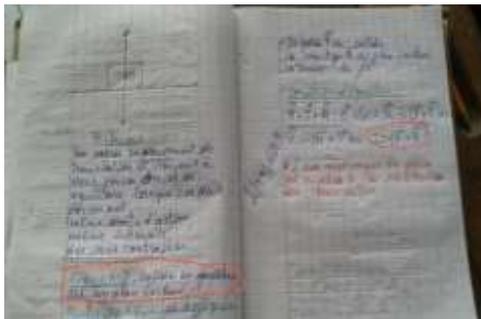
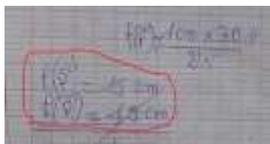
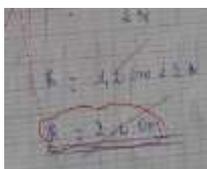


Photo2 : Présentation d'erreur sur l'escalier

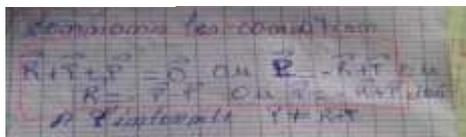
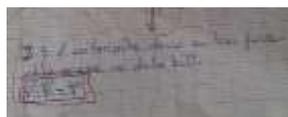
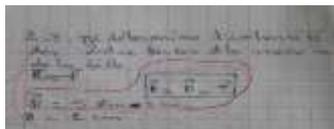
- De la phase d'évaluation des élèves la confirmation par endroit de la reproduction des mêmes difficultés. Voici les images de quelques erreurs qui en témoignent :
  - Au lieu de tirer la tension  $\vec{T}$  la majorité ont tiré le poids  $\vec{P}$  comme dans le cas du cours. Sachant qu'il y a changement de variable dans l'évaluation.
  - Au lieu de  $l(\vec{P})=15\text{cm}=0,15\text{m}$  un élève écrit :

Photo3 : erreurs des élèves dans la phase d'évaluation sur l'unité de longueur

- Au lieu  $R= 2,4 \text{ N}$  et  $T= 0,4\text{N}$  un élève écrit :  $R=2,4 \text{ cm}$  et  $T=0,4\text{cm}$

Photo4 : erreurs des élèves dans la phase d'évaluation sur l'unité de l'intensité

- Au lieu de  $\vec{P} + \vec{R} = -\vec{T}$  des élèves écrivent :



**Photo5** : erreurs des élèves dans la phase d'évaluation sur l'expression vectorielle de la condition d'équilibre

- Le tableau récapitulatif suivant :

- Questions	Les erreurs commises					Nature des difficultés
	$\alpha$	$\delta$	$\gamma$	$\varepsilon$		
3. a	$\alpha$					Épistémologique
3. b	$\alpha$	$\delta$				Épistémologique et didactique
3. c	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\varepsilon$	Épistémologique et didactique
3. d	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\varepsilon$		Épistémologique et didactique

**Tableau 4** : Nature des difficultés correspondant aux erreurs des élèves

Nous en dégageons que les « difficultés des élèves à appréhender la notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces en classe de 3<sup>e</sup> » sont de deux natures : d'ordres épistémologique et didactique.

En plus ces difficultés sont en grande partie liées aux notions de mathématiques. La mise en traduction vectoriellement (et graphiquement) d'une situation physique d'équilibre (statique) est donc difficile aux élèves qui ne peuvent pas réussir dans ces conditions. Ce qui rejoint notre perception : l'utilisation du

formalisme des mathématiques en physique est facteur d'échec chez les élèves béninois comme d'autres pays.

Dans les pratiques des enseignants nous retenons que grâce à l'utilisation des outils d'apprentissage comme les discours verbaux, les instruments de géométrie, les inducteurs, les jeux de questions dirigées, les relations d'aide, les discours verbaux et autres ont permis la gestion des activités dans les classes. Cela relève du style didactique que les enseignants ont adopté. L'enseignant (A) a utilisé un style mixte et l'enseignant (B) un style interrogatif. Les deux enseignants ont mal géré le temps didactique. L'enseignant dans ses improvisations, sûr de sa routine n'atteint pas souvent les objectifs de la séquence de classe. Cela influe les productions des élèves lors des évaluations. C'est le cas de l'enseignant (A). En général les pratiques des deux enseignants observées ont été favorables à la construction des savoirs enseignés aux élèves. Seulement qu'ils n'ont pas bien préparé la séquence de classe. Les élèves ont également adopté un bon comportement. Nous avons par conséquent découvert qu'un contrat didactique est signé entre l'enseignant et les élèves. Y, C. (1985) l'explique par cette déclaration : « les savoirs, l'enseignant et les élèves forment un triangle didactique en rétroaction. Les élèves doivent suivre l'enseignant dans sa mission d'enseignement et au même moment rester câbler sur les diverses notions des savoirs dans une situation de classe ». Le seul comportement que devra avoir tout élève qui veut évoluer dans son cursus scolaire sinon il sera confronté à des difficultés d'ordres épistémologiques et didactique » révélées par notre travail de recherche à la fin de la résolution de notre question de recherche suivante : « Mais quelle est la nature des difficultés des élèves de la classe de 3<sup>e</sup> au cours de l'apprentissage de la notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces sur un plan incliné »?

## VI. Synthèses et perspectives :

### 6.1. Synthèse :

Il faut établir une stratégie pour identifier rapidement les erreurs des élèves lors d'une séance d'enseignement. C'est ce qui nous a poussé à inventer ce code didactique (tableau 3) pour recenser les erreurs des élèves des classes de 3<sup>e</sup> des CEG Djomon et Avrankou dans la commune d'Avrankou (tableau 3). Le tableau (4) représente l'outil

didactique que nous avons obtenu à partir de l'usage de ce code. Il nous a permis de mettre en évidence qu'au niveau de :

- La question 3.1 : es élèves ont une seule difficulté dont la nature est d'ordre épistémologique conformément aux erreurs  $\alpha$ .
- La question 3.2 : les élèves ont rencontré deux difficultés dont les natures sont d'ordres épistémologique et didactique conformément aux erreurs  $\alpha$  et  $\beta$ .
- La question 3.3 : les élèves ont rencontré cinq difficultés dont les natures sont d'ordres épistémologique et didactique conformément aux erreurs  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ .
- La question 3.4 : les élèves ont rencontré quatre difficultés dont les natures sont d'ordres épistémologique et didactique conformément aux erreurs  $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ .

Il en résulte que les difficultés des élèves à appréhender la notion d'équilibre statique d'un solide soumis à des forces sont de deux ordres : ordre épistémologique et ordre didactique. Ce qui confirme notre hypothèse. L'évaluation est intervenue pour le témoignage de ces deux ordres de difficultés et rendre compte de l'effet des pratiques enseignantes dans l'apprentissage des savoirs.

Les enseignants dans leurs pratiques ont fait en sorte que les élèves ont appris comme l'a martelé Chevallard, Y. (1986) dans sa déclaration : "L'enseignant n'a pas pour mission d'obtenir des élèves qu'ils apprennent, mais bien de faire en sorte qu'ils puissent apprendre". L'enseignant, le maître de la transposition, dans son enseignement doit s'assurer que les élèves apprennent. Les élèves quant à eux doivent à travers les moyens, les styles et les méthodes utilisés par l'enseignant, être très attentifs, habiles et assidus en classe. Cela mettra de l'ordre dans le mécanisme de transmission et d'acquisition des savoirs. Non seulement de l'ordre mais chacun des acteurs de la classe va se sentir concerner dans la construction des connaissances. Il suffit que l'une de ces deux personnes confonde son rôle pour qu'il s'installe une rupture du processus.

Toutes ces difficultés se produisent dans la tête des élèves donc sont mentales et ontologiques

## **6.2. Perspectives :**

Le développement des deux autres composantes (composantes personnelles et sociales) des enseignants de notre cadre théorique pourront nous apporter d'autres aspects des difficultés des élèves.

Nous suggérons à tous les enseignants de faire l'analyse à priori « des savoirs à enseigner » afin de prendre toutes les dispositions épistémologiques et didactiques pour remédier aux difficultés des élèves qui ne peuvent qu'apprendre sans franchir des obstacles.

Il nous sera commode d'approfondir notre travail de recherche pour la suite de notre formation en mettant en œuvre d'autres stratégies d'utilisation des outils d'investigations. Cela pourra engendrer d'autres catégories de difficultés des élèves à appréhender la notion d'équilibre statique d'un solide soumis à des forces.

Cependant, à l'institution chargée d'élaboration des programmes scolaires, nous formulons les vœux d'associer les didacticiens dans chacun des disciplines. Ils sont les plus indiqués pour l'analyse du phénomène d'enseignement, apprentissage et évaluation.

## **Conclusion :**

Notre travail de recherche est de mettre à la disposition des enseignants une stratégie didactique permettant aux élèves de mettre en traduction vectorielle (et graphique) une situation physique d'équilibre (statique). Pour y parvenir nous avons établi un corpus organisé en trois phases qui sont l'entretien séparément avec les deux enseignants, l'observation d'une séquence de cours dans les classes de 3<sup>e</sup> de ces enseignants et l'évaluation des élèves de l'enseignant (A). Ce qui nous a permis de retrouver les erreurs des élèves suivant les objectifs fixés et d'en déduire la nature de leurs difficultés.

De la phase d'entretien avec les deux enseignants nous avons retenu que les difficultés des élèves peuvent s'observer dans la manipulation des notions sur les calculs élémentaires, l'utilisation des instruments géométriques lors de la construction des forces et l'usage des notions sur les vecteurs. De la phase de l'observation nous sommes convaincus que les difficultés des élèves se retrouvent au niveau de l'inventaire des forces, l'écriture vectorielle de la condition

d'équilibre d'un solide posé sur un plan incliné soumis à l'action de trois forces, l'utilisation des objets de géométrie, la traduction de l'expression vectorielle en expression graphique, la traduction de l'expression graphique en expression algébrique, la manipulation du scalaire, l'utilisation de la règle de trois et la reconnaissance de l'unité de grandeurs algébriques. De la phase d'évaluation des élèves confirme par endroit la reproduction des mêmes difficultés. Cette intuition de mettre en place un code d'erreurs nous a permis de classer ces difficultés en deux catégories qui sont l'une épistémologique et l'autre didactique. Ce qui confirme l'hypothèse de notre travail de recherche. De plus nous remarquons que ces difficultés sont en grande partie des notions de mathématiques. La mise en traduction vectoriellement (et graphiquement) d'une situation physique d'équilibre (statique) est donc difficile aux élèves qui ne peuvent pas réussir dans ces conditions. Ce qui rejoint notre perception : l'utilisation du formalisme des mathématiques en physique est facteur d'échec chez les élèves béninois comme d'autres pays. La prise de conscience par les enseignants de sciences physiques lors de la préparation de leurs séquences de classe permettra la réduction du taux d'échec scolaire dans notre pays. Elle va l'amener à élaborer une stratégie comme l'outil didactique que nous avons inventé pour relever rapidement les erreurs des élèves dans le but d'assurer des bonnes pratiques de classe.

Dans les pratiques des enseignants nous retenons que grâce à l'utilisation des outils d'apprentissage comme les discours verbaux, les instruments de géométrie, les inducteurs, les jeux de questions dirigées, les relations d'aide, et autres ont permis la gestion des activités dans les classes. Cela relève du style didactique que les enseignants ont adopté. L'enseignant (A) a utilisé un style mixte et l'enseignant (B) un style interrogatif. Les deux enseignants ont mal géré le temps didactique. L'enseignant dans ses improvisations, sûr de sa routine n'atteint pas souvent les objectifs de la séquence de classe. Cela influe les productions des élèves lors des évaluations. C'est le cas de l'enseignant (A). En général les pratiques des deux enseignants observées ont été favorables à la construction des savoirs enseignés aux élèves. Seulement qu'ils n'ont pas bien préparé la séquence de classe. Les élèves ont également adopté un bon comportement. Nous

avons par conséquent découvert qu'un contrat didactique est signé entre l'enseignant et les élèves. Y, C. (1985) l'explique par cette déclaration : « les savoirs, l'enseignant et les élèves forment un triangle didactique en rétroaction. Les élèves doivent suivre l'enseignant dans sa mission d'enseignement et au même moment rester câbler sur les diverses notions des savoirs dans une situation de classe ». Le seul comportement que devra avoir tout élève qui veut évoluer dans son cursus scolaire sinon il sera confronté à des difficultés d'ordres épistémologiques et didactique » révélées par notre travail de recherche à la fin de la résolution de notre question de recherche suivante : « Mais quelle est la nature des difficultés des élèves de la classe de 3<sup>e</sup> au cours de l'apprentissage de la notion d'équilibre d'un solide soumis à des forces sur un plan incliné » ?

Le travail de cette recherche n'a pas été fait sans difficultés. Celles qui sont les plus visibles sont : la volonté des enseignants choisis (l'enseignant (B) n'a pas été dévoué pour la tâche), le manque d'élément pour faire l'analyse des composantes sociales des enseignants, la compréhension de tous les axes de la recherche en didactique, l'utilisation instantanée des outils d'investigation et l'observation des pratiques enseignantes....

Pour rehausser le niveau des élèves des lycées et collèges de notre pays, les institutions en charge de l'enseignement et l'apprentissage peuvent former les enseignants à base de cette stratégie de collecte des difficultés des élèves à appréhender des notions scientifiques pour réduire le taux d'échec scolaire.

## Bibliographie

Aguire José (1988), Idées préconçues des étudiants sur la cinématique vectorielle, Publié par *l'Association américaine des professeurs de physique* : Canada.

André Houssou (2018-2019), *Rapport moral du CEGI Avrankou*, document du conseil administratif, Dép : Ouémé ; MESTFP-Bénin.

Astolfi Jean-Pierre (1997, l'erreur : un outil pour enseigner, *Didaskali*/année 1998 / 13 pp. 165-167 Université de Genève : "Paris, ESF. p. 15.

Canu Michael (2014). *Apport de l'étude conjointe de systèmes dynamiques libres et commandés dans la compréhension des concepts d'équilibre et de stabilité* : Thèse doctorale, Paris Didérot

Cissé Ba (2011), *le vecteur en mathématiques et physique : Une étude épistémologique et didactique*, Français Edition : Livre broché – 4 janvier 2011.

DDESFTP-O (2018), *Bilan moral des résultats de fin d'année du BEPC*, document administratif de la direction départementale de l'Ouémé, Porto-Novu, MESTFP-Bénin.

DIPIQ (2008), *Guide et programmes révisé de P.C.T de la classe de 3<sup>e</sup>*. Direction de l'Inspection pédagogique, MESTFP, Cotonou : Bénin.

Dohou Paulin (2018-2019), *Rapport moral du CEG Adjomon*, document du conseil administratif du CEG DJOMON, com : Avrankou, dép : Ouémé, Bénin.

Graham Rankin et Aguirre José (1988), Conceptions des étudiants du Collège sur la cinématique vectorielle, *Enseignement de la physique, collection Thésaurus*, v24 n5 p290-94 septembre 1989 : Canada.

Guy Brousseau (1980), La théorie des situations didactiques, Université de Montréal, *archives GB.doc*.

Henri Carlin (2017), didactique et pédagogie : deux sciences complémentaires, *Supplément de Lignes de La lettre* du CEDIP, no28.

INIFRCRF (2015), *Guide et programmes révisés de physique, chimie et technologie de la classe de 4<sup>e</sup>*, Porto Novo, Bénin

Khadidja Raouf (2016), difficultés de mise en œuvre de la continuité mathématique-mécanique au secondaire collégial, registre sémiotique et transfert comme éléments d'analyse ; *maison des archives*, Vol 12 No 31 (2016) : ESJ édition de novembre : Maroc.

Marouf Abdeljalil et Mohammed kouhila (2001), Mise en relief des conceptions des enseignants marocains de physique du secondaire qualifiant : à propos du mouvement inertiel dans son rapport à la force ; *Groupe GIREST*, École Normale Supérieure, BP 2400 Marrakech, Maroc.

Mathieu, Jacques, dir (1991), Les dynamismes de la recherche au Québec. *Sainte-Foy, Presses de l'Université Laval* (Coll. « Culture Française d'Amérique », 272p. (ISBN2-7237-7264-1).

Michel Verret (1975), La transposition des objets d'enseignement et définition de l'espace ; *academya de France*.

Montesquieu (1748), *l'esprit des lois*, publié à Genève chez Barrillot et Fils.

Perrenoud Phillipe (2011), *Construire des compétences dès l'école*, ESF, Paris.

Pierre Varignon (1720-1730), introducteur du Calcul infinitésimal en France : *Revue d'histoire des sciences*.

Reuter Yves (1998), *De l'erreur au dysfonctionnement* : la gestion des valeurs dans la didactique de l'écriture. *Revue de recherches en éducation* (22).

Reuter Yves, dir. (2013), des concepts fondamentaux des didactiques, *Revue suisse de recherche pédagogique* 36(2)

Robert Aline (2008). La double approche didactique et ergonomique pour l'analyse des pratiques d'enseignants de mathématiques ; Université de Cergy Pontoise

Robert et Rogalski (2002), méthodologie de recherche de la double approche ergonomique et didactique, Université de Cergy Pontoise.

Roméo Campos et José Delgado (2006), *Ecologia: una mirada desde los sistemas Pontificia Universidad Javeriana*, 2006 - 412 pages.

Schmit Christophe (2007), *équilibre et dynamique* : Thèse doctorale en Épistémologie ; Sous la direction de Patrice Bailhache. Soutenue en 2007. à Nantes.

Viennot Laurence (1989), Analyse du savoir lié aux vecteurs : utilisation en sciences, en maths, difficultés des élèves ; acces :ens-lyon ; *Institut Français de l'éducation*.

Yves Chevallard (1985), La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné. In: *Revue française de pédagogie*, volume 76.

## ANNEXE 1 : (sous-activé de la phase d'observation)

- Sous-activité : Conditions d'équilibre d'un solide susceptible d'effectuer un mouvement de translation et soumis à des forces.

Stratégie d'enseignement apprentissage : Travail individuel : 20 min ; Travail en groupe : 30 min ; Travail collectif : 40 min

Durée : 90min

Support :

On considère un solide de forme cubique déposé sur un plan horizontal.



Fig 1 : Solide en équilibre sur un plan horizontal

Masse du solide  $m=200\text{g}$  ; intensité de pesanteur  $g = 10\text{N/kg}$

Echelle : 1cm pour 1N

On considère un objet de forme cubique déposé sur un plan incliné.Fig



Fig 2 : Solide en équilibre sur un plan incliné

Masse de l'objet  $m = 50 \text{ kg}$  ;

Intensité de pesanteur  $g = 10 \text{ N/kg}$  ;

Angle d'inclinaison  $\alpha = 30^\circ$  ;

Echelle : 1cm pour 125 N.

Consigne :

1. Clarifie le concept d'équilibre d'un solide puis donne la

condition d'équilibre d'un solide.

2. Observe attentivement le schéma de chaque figure puis :
  - a) Fais le bilan des forces appliquées au solide ;
  - b) Écris la condition d'équilibre pour ce solide ;
  - c) Représente ces forces.
3. Observe attentivement le schéma de la figure 2 puis :
  - a) Fais le bilan des forces appliquées au solide ;
  - b) Écris la condition d'équilibre pour ce solide ;
  - c) Représente ces forces ;
  - d) détermine graphiquement les intensités des forces inconnues.

ANNEXE 2 : (Corrigé type de la sous-activité de la séquence de classe)

1. Clarification du concept d'équilibre : Un solide est en équilibre lorsque tous ses points sont immobiles ou lorsqu'il est au repos dans un milieu.

Condition d'équilibre d'un solide : Un solide susceptible d'effectuer un mouvement de translation est en équilibre lorsque la résultante de toutes les forces qui lui sont appliquées est nulle.

2.

- a) Bilan des forces appliquées au solide :

- Le poids  $\vec{P}$  du solide ;

- La réaction  $\vec{R}$  du support.

- b) Condition d'équilibre :

$$\vec{P} + \vec{R} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{R} = -\vec{P}$$

c) Représentation des forces

$$P = m \times g = 2N$$

$$P(\vec{P}) = P(\vec{R}) = 2cm$$

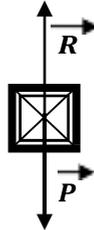


Fig 4 : Représentation des forces appliquées à un solide en équilibre sur plan horizontal.

a) Bilan des forces appliquées à l'objet :

- Le poids  $\vec{P}$  de l'objet en son centre de gravité perpendiculairement à l'horizontale;
- La réaction  $\vec{R}$  du plan incliné au point de contact de l'objet et support perpendiculaire au plan ;
- La tension  $\vec{T}$  du fil parallèle au plan incliné.

b) Condition d'équilibre :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{0} \Leftrightarrow (\vec{T} + \vec{T}) = -\vec{P}$$

c) Représentation des forces :

$$P = m \times g = 500N \quad \text{et} \quad P(\vec{P}) = 4cm$$

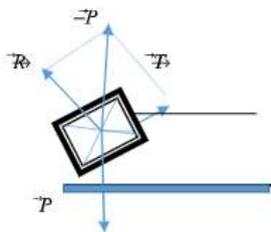


Fig 5: Représentation des forces appliquées à un solide en équilibre sur un plan incliné de la phased'observation

Graphiquement :

$$P(\vec{T}) = 2\text{cm} \text{ et } P(\vec{R}) = 3,4\text{cm}$$

Donc :  $\mathbf{T = 250N \text{ et } R = 425N}$

**ANNEXE : 3** (sujet d'évaluation ponctuelle d'étape de P.C.T)  
Compétence disciplinaire évaluée : CD1

Elaborer une explication d'un fait ou d'un phénomène de son environnement naturel ou construit en mettant en œuvre les modes de raisonnement propres à la physique, à la chimie et à la technologie.

Critère de perfectionnement : Production claire, raisonnements cohérents.

Durée : 30min

Contexte

Pour jauger le niveau d'acquisition de la connaissance des élèves d'une classe de 3e sur l'équilibre d'un solide soumis à des forces, un enseignant présente un document et des questions. En circulant dans la salle il remarque qu'un élève a tout faussé alors qu'un autre a produit un résultat plausible.

Support :

Document : Il bascule une bille de masse  $m$  suspendue à l'extrémité d'un fil inextensible et soutenue par un support posé sur un plan incliné. Après un bout de temps elle s'immobilise (voir le schéma ci-

dessous). Le dynamomètre indique 3N. L'échelle de réduction est 1cm pour 2N. L'intensité de pesanteur  $g=10\text{N.Kg}^{-1}$ . L'angle  $\alpha$  est égal à  $30^\circ$ .

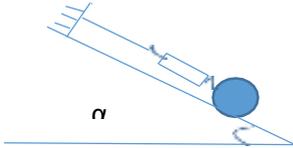


Fig 3 : Solide suspendu à un fil sur un plan incliné

Tâche : Aide l'élève en difficulté à élaborer la réponse plausible aux questions posées

Consigne :

1. Donner l'état de la bille après un bout de temps et donner les conditions.
2. Représenter les forces appliquées à la bille dans cet état.
3. Déterminer l'intensité des autres forces et la masse  $m$  de la bille

