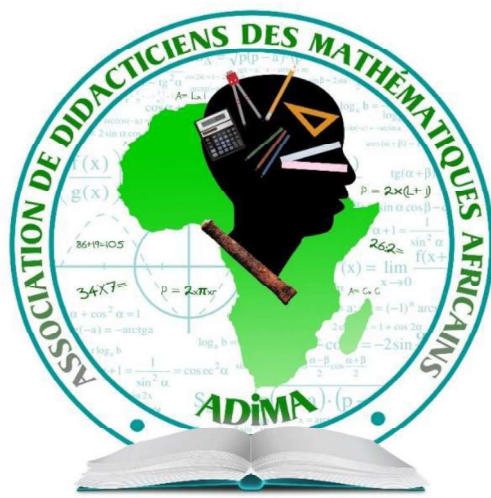


*Actes du premier colloque de l'Association de
Didacticiens des Mathématiques Africains*

ADiMA 2016 - 1



**LA DIDACTIQUE DES MATHÉMATIQUES : ENTRE SPÉCIFICITÉ ET
OUVERTURE VERS D'AUTRES SCIENCES - ENJEUX ET PERSPECTIVES POUR
L'AFRIQUE**

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE YAOUNDÉ (CAMEROUN)

16 AU 19 AOÛT 2016

Actes édités par :

Adolphe ADIHOUE, Université de Sherbrooke (Canada/Bénin)

Mamadou Souleymane SANGARÉ, École Normale Supérieure de Bamako (Mali)

Alexandre MOPONDI BENDEKO MBUMBU, Université Pédagogique Nationale de Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Judith SADJA, Université de Yaoundé 1 - École Normale Supérieure de Yaoundé (Cameroun)

Janvier 2017

TABLE DES MATIÈRES

CRÉATION OFFICIELLE DE L'ADiMA ET PRÉPARATION DU COLLOQUE	1
REMERCIEMENTS	2
PRÉSENTATION DU COLLOQUE ADiMA 2016	5
INTRODUCTION AUX ACTES DU COLLOQUE D'ADiMA 2016	8
LES CONFÉRENCES PLÉNIÈRES	11
• Didactique des Mathématiques comme Science Autonome, en relations étroites avec d'autres domaines de savoirs Alexandre MOPONDI BENDEKO MBUMBU	12
• Les apports de la didactique des mathématiques à l'étude des questions d'enseignement des mathématiques au Sénégal Moustapha SOKHNA	17
• Les perspectives d'avenir de la recherche en didactique des mathématiques en Afrique Adolphe ADIHOU	38
• Soutenir la recherche en didactique des mathématiques en Afrique : Réflexions et suggestions Corneille KAZADI	62
LE SÉMINAIRE	68
• La Théorie des Champs Conceptuels : Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance Judith SADJA et Patrick TCHONANG YOUKAP	69
LES COMMUNICATIONS ORALES : OUTILS DIDACTIQUES POUR LES SITUATIONS D'ENSEIGNEMENT ET DE FORMATION D'ENSEIGNANTS DE MATHÉMATIQUES	85
• La géométrie dynamique dans l'enseignement des mathématiques au Cameroun. Présentation des résultats d'une enquête sur état de lieux à propos de la Géométrie Dynamique André Georges MOLUH	86
• Enseignement du calcul élémentaire des probabilités au Bénin Henri DANDJINO et Alain BRONNER	116
• Outils didactiques pour la conception d'un dispositif de formation initiale d'enseignants : une étude de cas en géométrie élémentaire au Mali Sinaly DISSA et Mamadou Souleymane SANGARÉ	143
• Les problèmes de construction géométrique : un outil pour le renforcement et la consolidation des apprentissages en mathématique au secondaire (Une expérimentation en classe de Seconde Ahonankpon Florent GBAGUIDI	160
• Repères théoriques sur les apports de la didactique des mathématiques en contexte à travers l'utilisation des outils dans l'enseignement et l'apprentissage des figures géométriques planes et des solides Jean TCHEUFFA NZIATCHEU	186
• Analyse de pratiques de futurs enseignants du secondaire au Gabon lors d'une formation à l'articulation visualisation-raisonnements en géométrie Guy-Roger KABA et Lucie DeBLOIS	213
• Planification de l'enseignement de la moyenne en utilisant les ressources documentaires numériques Gaël NONGNI et Lucie DeBLOIS	235
• Quelles sont les probabilités à enseigner au collège tunisien? Mounir DHIEB et Mohamed Hatem KEFI	255

LES COMMUNICATIONS ORALES : HISTOIRE ET ÉPISTÉMOLOGIE DES MATHÉMATIQUES EN DIDACTIQUE DES MATHÉMATIQUES	290
<ul style="list-style-type: none"> • Les perspectives historiques dans l'enseignement des mathématiques au secondaire au Bénin Gervais M. A. AFFOIGNON 291 • Apport d'une étude historique et institutionnelle des développements limités au début de l'université : Vers une alternative d'une meilleure conceptualisation Rahim KOUKI et Yassine HACHAÏCHI 314 • Quels savoirs enseignables en didactique des mathématiques en formation d'enseignants? Le cas de l'École Normale Supérieure (ENS) de Yaoundé Lawrence DIFFO LAMBO et Désiré Magloire FEUGUENG 324 • La Didactique des mathématiques en Tunisie : Genèse et état des lieux Samia ACHOUR et Mounir DHIEB 337 	
LES COMMUNICATIONS ORALES : DIDACTIQUE DES MATHÉMATIQUES ET OUVERTURE VERS D'AUTRES SCIENCES	377
<ul style="list-style-type: none"> • Processus didactique et développement des compétences pour la résolution de problèmes en mathématiques chez les apprenants de CM2 Renée Solange NKECK BIDIAS 378 • Mathématiques et sciences physiques quels liens? Analyse sémio épistémologique de la structure de ces disciplines Ayina BOUNI 397 • Exploration des difficultés d'élèves de quatrième à propos du concept de la résultante de forces au Bénin Euloge S. LEZINME, S. Eugène OKÉ et Joël TOSSA 408 • Formation initiale dans les ENIEG et développement des compétences en didactique des mathématiques des enseignants du primaire Renée Solange NKECK BIDIAS et Désiré Magloire FEUGUENG 424 • Le logarithme dans l'enseignement secondaire au Congo-Brazzaville en mathématique et en chimie Fernand MALONGA MOUNGABIO 458 	
LA COMMUNICATION PAR AFFICHE	476
<ul style="list-style-type: none"> • Peut-on apprendre ou enseigner les mathématiques en « jouant »? Yannick KOUAKEP TCHAPTCHIÉ 477 	
LES PARTICIPANTS ET PARTICIPANTES AU COLLOQUE DE L'ADiMA 2016	481

REMERCIEMENTS

Le comité de réalisation du colloque et de la mise en place de l'ADiMA (CRCMP-ADiMA) remercie tout d'abord Judith NJOMGANG NGANSOP épouse SADJA qui a accepté de conduire cette aventure. Au tout début à Alger, tous avaient cru en elle. L'ampleur et la qualité de son travail méritent un remerciement spécial.

Le CRCMP-ADiMA remercie l'École Normale Supérieure (ENS) de Yaoundé et plus particulièrement son directeur pour son implication et pour avoir accepté d'héberger ce premier évènement en Afrique dans les locaux de l'ENS de Yaoundé.

Il remercie également les commanditaires suivants pour leur soutien :

INSTITUTIONS	CONTRIBUTION
Imprimerie Nationale	Don en espèces
Société Pasta	Don en espèces
AIMS Cameroon	Reprographie
Hôtel Le Relais Saint Jacques	Don en espèces
École Normale Supérieure	Locaux du colloque
Agence universitaire de la francophonie (AUF)	Billets d'avion et contribution pour actes
École des Travaux Publics	Inscription de 3 enseignants et transport des participants
Collège Jean Tabi (Yaoundé)	Inscription de 3 enseignants

Les comités (CRCMP-ADiMA, CS¹, CLO²) remercient sincèrement les relecteurs pour la collaboration efficace apportée à la tenue de ce premier colloque de l'ADiMA. Leurs avis critiques et constructifs ainsi que leurs suggestions ont permis d'améliorer les textes proposés au double plan scientifique et rédactionnel. Ainsi, leur expertise, leur professionnalisme et leur générosité ont contribué au succès du colloque et ont permis de donner un caractère hautement scientifique aux communications. Leurs commentaires sur les textes relus ont été très appréciés par les auteurs. Ils leur ont permis de peaufiner leur présentation, et par ricochet, de mieux comprendre les défis et les enjeux de l'enseignement et de l'apprentissage des mathématiques en Afrique, ainsi que de la formation des enseignants. Par ailleurs, leur contribution a permis aux auteurs et aux participants d'apprécier à leur juste valeur la pertinence de la création de l'association et de la tenue du colloque. Les commentaires pris en compte par les auteurs ont permis d'avoir des actes dignes d'un colloque scientifique de didactique des mathématiques pour cette jeune association. La diffusion des actes facilitera, entre autres, la compréhension des problématiques de la formation des enseignants en Afrique et au-delà de ses frontières.

¹ Le comité scientifique.

² Le comité local d'organisation.

RELECTEURS	TITRE ET INSTITUTION DE PROVENANCE
Ayina BOUNI	Chargé de cours École Normale Supérieure de Yaoundé Cameroun ayinabounijp@yahoo.fr
Faïza CHELLOUGUI	Maître-assistante Faculté des Sciences de Bizerte Université de Carthage Tunisie chellouguifaiza@yahoo.fr
Viviane DURAND-GUERRIER	Professeure des universités Université de Montpellier France vdurand@math.univ-montp2.fr
Ghislaine GUEUDET	Professeure des universités École Supérieure de Professorat et d'Enseignement (ESPE) Université de Bretagne Occidentale France ghislaine.gueudet@espe-bretagne.fr
Fernand MALONGA	Maître-assistant Enseignant-chercheur École Normale Supérieure Université Marien Ngouabi Congo malongaf@gmail.com
Hussein SABRA	Maître de conférences Université de Reims Champagne-Ardenne École Supérieure du Professorat et de l'Éducation (ESPE) France Hussein.sabra@univ-reims.fr
Mamadou SANGARÉ Souleymane	Maître de conférences au département d'enseignement et de recherche de mathématiques École Normale Supérieure de Bamako Mali mamadoussangare@yahoo.fr

Les membres des comités remercient les collègues ayant répondu à l'appel de communication, mais qui n'ont pas pu assister à l'édition de Yaoundé et espèrent vivement leur présence à la deuxième édition du colloque de l'ADiMA qui se tiendra au Bénin.

Les membres des comités tiennent à remercier aussi les bénévoles pour leur implication.

BÉNÉVOLES	TITRE ET INSTITUTION DE PROVENANCE
Patrick TCHONANG YOUKAP	Professeur des Lycées Doctorant - Université de Yaoundé 1
Yannick KOUAKEP TCHAPTCHIÉ	Étudiant – Université de Yaoundé 1
Yvonne ZOBA	Étudiante – Université de Yaoundé 1

Enfin, les membres des comités remercient sincèrement madame Francine Boisvert de l'université de Sherbrooke au Québec de son soutien pour la réalisation des actes du premier colloque de l'ADiMA.

INTRODUCTION AUX ACTES DU COLLOQUE D'ADiMA 2016

Les actes du colloque présentent les versions écrites des conférences, d'un séminaire (en deux phases), des communications orales et de communication par affiche réalisés au cours du colloque. Ces présentations ont été possibles à la suite d'un appel de propositions de communication et d'une relecture des propositions par des chercheurs de haut niveau en didactique des mathématiques. Les actes et les diaporamas des conférences sont disponibles en format électronique sur le site Internet de l'ADiMA. La diversité des textes reflète le thème du colloque : *la didactique des mathématiques : entre spécificité et ouverture vers d'autres sciences - enjeux et perspectives pour l'Afrique*.

En effet, les systèmes éducatifs en Afrique sont confrontés à plusieurs défis, notamment la demande pressante d'éducation de masse et de qualité des populations, la prise en compte de la production accélérée de connaissances scientifiques et leur transformation en objets d'enseignement. En mathématiques, ces défis se posent avec plus d'acuité dans l'enseignement, dans la formation des enseignants et dans la recherche en didactique des mathématiques.

Certes, la didactique des mathématiques est considérée sur le plan institutionnel comme un domaine autonome de savoirs universitaires qui propose une démarche scientifique pour aborder les problématiques liées à l'enseignement et à l'apprentissage. Mais elle se nourrit aussi de l'apport fécond d'autres domaines de savoirs tels que les sciences de l'éducation, l'épistémologie des mathématiques et des sciences expérimentales, les technologies de l'information et de la communication (TIC), etc.

Aussi, c'est à travers les allers-retours entre la spécificité de la didactique et son ouverture vers d'autres domaines scientifiques que se situe la thématique du premier colloque de l'Association de didacticiens des mathématiques africains (ADiMA).

Cette thématique a été développée suivant un dispositif composé de huit plénières données par des chercheurs de haut niveau, d'un séminaire (en deux phases) organisé en vue de présenter les apports des théories didactiques dans l'enseignement, de deux communications par affiche⁴ et, en parallèle, de seize communications orales. Chacune des activités est présentée dans les tableaux ci-dessous.

Les huit conférences plénières :

Jean-Pierre ADJABA BIWOLI	État des lieux de l'enseignement des mathématiques au Cameroun
Daniel TIEUDJO	État des lieux de l'enseignement des mathématiques au Cameroun
Renée Solange NKECK BIDIAS	État des lieux de l'enseignement des mathématiques au Cameroun
Alexandre MOPONDI BENDEKO MBUMBU	Didactique des Mathématiques comme Science Autonome, en relations étroites avec d'autres domaines de savoirs

⁴ Un seul texte a été soumis.

Moustapha SOKHNA	Les apports de la didactique des mathématiques à l'étude des questions d'enseignement des mathématiques au Sénégal
Nicolas Gabriel ANDJIGA	Les apports de la didactique des mathématiques à l'étude des questions d'enseignement des mathématiques au Cameroun
Adolphe ADIHOUE	Les perspectives d'avenir de la recherche en didactique des mathématiques en Afrique
Corneille KAZADI	Soutenir la recherche en didactique des mathématiques en Afrique : Réflexions et suggestions

Le séminaire (en deux phases) :

Judith SADJA et Patrick TCHONANG YOUKAP	La théorie des Champs Conceptuels : Forme opératoire et forme prédictive de la connaissance
-----------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------

Les seize communications orales :

Outils didactiques pour des situations d'enseignement et de formation d'enseignants de mathématiques	
André Georges MOLUH	La géométrie dynamique dans l'enseignement des mathématiques au Cameroun : présentation des résultats d'une enquête sur état de lieux à propos de la Géométrie Dynamique
Henri DANDJINOUE et Alain BRONNER	Enseignement du calcul élémentaire des probabilités au Bénin
Sinaly DISSA et Mamadou Souleymane SANGARÉ	Outils didactiques pour la conception d'un dispositif en formation initiale d'enseignants : Une étude de cas en géométrie élémentaire au Mali
Ahonankpon Florent GBAGUIDI	Les problèmes de construction géométrique : un outil pour le renforcement et la consolidation des apprentissages en mathématique au secondaire
Jean TCHEUFFA NZIATCHEU	Repères théoriques sur les apports de la didactique des mathématiques en contexte à travers l'utilisation des outils dans l'enseignement et l'apprentissage des figures géométriques planes et des solides
Guy-Roger KABA et Lucie DeBLOIS	Analyse de pratiques de futurs enseignants du secondaire au Gabon lors d'une formation à l'articulation visualisation-raisonnements en géométrie
Gaël NONGNI et Lucie DeBLOIS	Planification de l'enseignement de la moyenne en utilisant les ressources documentaires numériques
Mounir DHIEB et Mohamed Hatem KEFI	Quelles sont les probabilités à enseigner au collège tunisien?

Histoire et épistémologie des mathématiques en didactique des mathématiques	
Gervais M. A. AFFOIGNON	Les perspectives historiques dans l'enseignement des mathématiques au secondaire au Bénin
Rahim KOUKI et Yassine HACHAÏCHI	Apport d'une étude historique et institutionnelle des développements limités au début de l'université : Vers une alternative d'une meilleure conceptualisation
Lawrence DIFFO LAMBO et Désiré Magloire FEUGUENG	Quels savoirs enseignables en didactique des mathématiques en formation d'enseignants? Le cas de l'École Normale Supérieure (ENS) de Yaoundé
Samia ACHOUR et Mounir DHIEB	La Didactique des mathématiques en Tunisie : Genèse et état des lieux
Didactique des mathématiques et ouverture vers d'autres sciences.	
Renée Solange NKECK BIDIAS	Processus didactique et développement des compétences pour la résolution de problèmes en mathématiques chez les apprenants de CM2
Ayina BOUNI	Mathématiques et sciences physiques : quels liens? Analyse sémio-épistémologique de la structure de ces disciplines
Euloge S. LEZINME, S. Eugène OKÉ et Joël TOSSA	Exploration des difficultés d'élèves de quatrième à propos du concept de la résultante de forces au Bénin
Renée Solange NKECK BIDIAS et Désiré Magloire FEUGUENG	Formation des enseignants dans les ENIEG et développement des compétences en didactique des mathématiques des enseignants du primaire
Fernand MALONGA MOUNGABIO	Le logarithme dans l'enseignement secondaire au Congo-Brazzaville en mathématique et en chimie

La communication par affiche :

Yannick KOUAKEP CHAPTCHIÉ	Peut-on apprendre ou enseigner les mathématiques en « jouant »?
Yvonne ZOBA	Introduction de discours théorique sur les manipulations algébriques outillant un travail de factorisation dans une séquence d'enseignement

Exploration des difficultés d'élèves de quatrième à propos du concept de la résultante de forces au Bénin :

Euloge S. LEZINME, S. Eugène OKÉ et Joël TOSSA

Laboratoire de Recherche en Didactique des Sciences et Technologies (LRDST),
Institut de Mathématique et Sciences Physiques (IMSP),
Université d'Abomey-Calavi
Bénin
lezinme@yahoo.fr

Laboratoire de Recherche en Didactique des Sciences et Technologies (LRDST)
Institut de Mathématique et Sciences Physiques (IMSP)
Faculté des Sciences et Techniques (FAST),
Université d'Abomey-Calavi
Bénin
eugene.oke@imsp-uac.org

Laboratoire de Recherche en Didactique des Sciences et Technologies (LRDST)
Institut de Mathématique et Sciences Physiques (IMSP)
Université d'Abomey-Calavi
Bénin
joeltossa@gmail.com ou joel.tossa@imsp-uac.org

Résumé : Le concept de force est introduit dans l'enseignement-apprentissage de la physique au collège à partir de la classe de quatrième au Bénin. Cette présentation s'appuie sur une étude qui vise à comprendre comment le concept de résultante de forces est utilisé par quelques élèves de cette classe. Des recherches antérieures dans des contextes non africains ont révélé que des conceptions erronées se manifestent de façon assez massive chez les élèves au cours de l'apprentissage de la mécanique. Le concept de force comme modélisation d'une interaction est difficile à concevoir pour certains élèves, notamment parce qu'on donne à ce vocable un grand nombre de sens différents dans le langage courant. En examinant les instructions officielles, l'organisation scientifique relative au concept de la résultante de forces semble être transparente dans les programmes de mathématiques et de sciences physiques en classe de 4^{ème}. Le contenu également semble aller de soi.

Mais quelle est la nature ou l'origine des difficultés des apprenants de la classe de classe de 4^{ème} à propos du concept de résultante de forces? En d'autres termes qu'est-ce qui explique les difficultés des apprenants de la classe de 4^{ème} à propos du concept de résultante de forces?

Notre démarche méthodologique se décline en deux phases. Dans une première étape, les sujets de notre étude, ont été invités à répondre individuellement et par écrit à un questionnaire papier-crayon qui contient trois situations de même classe au sens de Vergnaud. Dans une deuxième étape, ces sujets ont passé des entretiens individuels pour expliciter leurs

réponses et présenter le sens qu'ils donnent à la résultante des forces. Chaque entrevue, réalisée à l'aide d'un guide a duré environ une demi-heure.

La théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1990) nous a permis d'appréhender des raisons qui pourraient expliquer l'échec des élèves interrogés dans l'utilisation du concept de résultante de forces sur des situations semblables que nous leur avons proposées. Cet échec de nos sujets semble d'origine didactique et épistémologique.

Cette étude pourrait ouvrir une voie visant à mieux comprendre les difficultés des élèves en mécanique de façon générale dans un contexte africain.

Mots clés : Résultante de forces, invariants opératoire, schème, règle d'action, théorèmes en acte.

Abstract : The concept of force is introduced into the teaching and learning of physics in college from the fourth class in Benin. This presentation is based on a study that aims to understand how the concept of resultant forces is used by some students in this class. Previous research in non-African contexts revealed that misconceptions arise so massive enough in the students in learning the mechanics. The concept of force as modeling of interaction is difficult to conceive for some students especially because it gives that term a lot of different meanings in everyday language.

By examining the official instructions, the scientific organization on the concept of the resultant force appears to be transparent in the curricula of mathematics and physics in third class of college. The content also seems obvious.

But what is the nature or origin of the difficulties learners of the third class of college about the concept of the resultant force? In other words how can we explain the difficulties of students of the third class of college about the concept of resultant force?

Our methodological approach comes in two phases. In a first step, the subjects of our study were called to respond individually and in writing a paper and pencil questionnaire that contains three same-class situations. In a second step, these subjects have passed individual meetings to explain their answers and present the meaning they give to the resultant force. Each interview, conducted with a guide lasted about half an hour.

The theory of conceptual fields of Vergnaud (1990) allowed us to understand the possible reasons of the failures of students surveyed in the use of the concept of resultant force in similar situations that we have proposed. We think that the failures of our subjects are didactic and epistemological origin.

This study may open a way to better understand students' difficulties in mechanical in an African context.

Keywords : resultant force, operating invariants, scheme, rule of action, theorem in act.

INTRODUCTION

Au Bénin, le concept de force¹²⁸ est introduit à partir de la classe de quatrième au collège. La représentation vectorielle d'une force en tant qu'objet mathématique, est un outil mathématique pour la physique. L'un des objectifs du programme de mécanique dans cette classe est de modéliser une interaction mécanique. En d'autres termes, il s'agit de caractériser l'action d'un ou de plusieurs corps. Il est nécessaire aux apprenants d'acquérir le concept de force et de résultante de forces en vue de les mobiliser de façon adéquate dans la résolution des problèmes dans des situations mécaniques.

Notre travail s'inscrit en didactique de la physique et se centre sur les difficultés liées à l'utilisation du concept de la résultante de forces dans un contexte africain.

Dans un premier temps, nous évoquons les difficultés et obstacles associés au concept de force et sa représentation vectorielle dans des recherches antérieures (Viennot, 1979 ; Coppens, 2007; etc.).

Ensuite, nous dégageons la question de recherche et nous décrivons la méthodologie mise en place pour cette étude afin de déboucher sur la présentation et l'analyse des résultats.

1. Revue de littérature

Des recherches en didactique de la physique ont montré que l'apprentissage de la mécanique présente des difficultés pour les élèves tout au long de leur scolarité (Viennot, 1979; Coppens, 2007 ; etc.). De ces études, nous retenons que les obstacles rencontrés par les élèves de façon générale en physique sont multiples et multiformes.

La façon dont chacun raisonne, en particulier en physique, n'est pas seulement l'effet de l'enseignement reçu. Il y a une manière « spontanée » de raisonner qui n'est pas quelconque et qui ne traduit pas seulement une absence ou une déformation de connaissances scolaires. Et il se pourrait bien, d'ailleurs l'idée n'est pas nouvelle, que certains échecs que l'on enregistre dans l'enseignement s'expliquent en partie par des conflits non explicités entre la matière enseignée et certains modes de raisonnement spontanés. (Viennot, 1979)

L'adolescent arrive en classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées : il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne. (Bachelard, 1934)

Les notions de mécanique telle que la force font partie de la vie courante avant leur introduction dans un cours de sciences. L'enseignement de la mécanique (force) doit donc se faire contre les conceptions erronées des élèves.

C'est dans cet ordre d'idées que les travaux de Coppens (2007), dans une démarche épistémologique, ont révélé que des conceptions erronées se manifestent de façon assez massive chez les élèves au cours de l'apprentissage de la mécanique. Le concept de force

¹²⁸ En mécanique dans le programme de physique.

comme modélisation d'une interaction est difficile à concevoir pour certains élèves notamment parce qu'on donne à ce vocable un grand nombre de sens différents dans le langage courant. Cela implique dans certaines situations les conceptions erronées suivantes :

- Tendance à considérer que les forces se transmettent par l'intermédiaire des objets (causalité linéaire);
- Tendance à considérer la force comme une propriété intrinsèque d'un objet (substantialité);
- Tendance à considérer que seuls les agents actifs, les êtres vivants peuvent exercer une force (causalité linéaire);
- Tendance à considérer que chaque mouvement implique l'action d'une force dans sa direction et son sens (impétus);
- Tendance à considérer qu'il existe une force après l'interaction (impétus).

À cette difficulté liée à la polysémie du terme "force" dans le langage courant, nous pouvons ajouter celle liée à la représentation vectorielle de la force.

Du point de vue de l'enseignement des grandeurs physiques vectorielles, l'introduction du vecteur pour modéliser les grandeurs physiques est relativement récente et a été sujet à de nombreux débats. Il est aussi important de noter que ce n'est pas dans les domaines les plus élémentaires que le vecteur s'est d'abord imposé (c'est avant tout en électromagnétisme avec les formules de Maxwell que les notations vectorielles ont permis des raccourcis d'écriture). Au niveau de l'enseignement, le vecteur est longtemps resté (de 1902 à 1942) dans le domaine de la cinématique (qui relevait alors des mathématiques mixtes). Son usage (dans l'enseignement) pour modéliser les forces est plus récent et rentre toujours en concurrence avec les aspects plus expérimentaux. Le vecteur reste perçu par les physiciens comme un objet du domaine des mathématiques. (Ba et Dorier, 2007).

Selon Ba (2007), Malgrange, Saltiel et Viennot ont réalisé en 1973, une enquête par questionnaire auprès d'étudiants entrant en première année d'université pour caractériser les significations que ceux-ci donnent aux vecteurs et leur utilisation en physique. Parmi les difficultés qu'ils ont repérées, la plus tenace est celle liée à l'addition vectorielle. Ils ont aussi repéré des difficultés dues au langage qui ne distingue pas un vecteur de son module.

Dans le même ordre d'idée, Sergio, Christian et Stephen (2003), pensent que :

Many students were not able to add or subtract vectors graphically after traditional instruction, and could not answer qualitative questions about vector addition and subtraction. A solid conceptual understanding of vector operations is not a typical outcome of the traditional introductory physics course. Without improving overall student understanding of these mathematical tools, we cannot expect that students will correctly apply vectors in mechanics. (Sergio, Christian et Stephen, 2003)

Ainsi des difficultés sont mises à jour par des recherches didactiques sur l'apprentissage du concept de force. Que disent les instructions officielles locales ?

2. Regard sur quelques instructions officielles

Dans les documents officiels, nous avons cherché à savoir dans quelle mesure les instructions officielles permettent aux élèves de mobiliser des raisonnements conformes à ceux de la géométrie dans la construction de la résultante des forces. Nous avons choisi d'examiner les programmes de 1998 (ancien) et ceux de 2007 (en cours d'exécution) en mathématique et en physique pour la classe de quatrième. Ce choix est justifié par le fait que ces deux périodes sont les plus récentes et l'on est passé directement dans l'exécution des programmes, d'une période à l'autre. Nous nous sommes intéressés aux parties du programme des mathématiques concernant la notion de vecteur et aux parties du programme de sciences physiques concernant la notion de force.

Dans l'ancien programme de mathématiques de 1998, la notion de vecteur est introduite par la donnée d'un bi-point. L'addition de deux vecteurs qui s'appuie sur la translation est équivalente à la relation de Chasles. Une règle de construction de la somme de deux vecteurs est clairement explicitée. C'est la règle du triangle où il s'agit de mettre bout à bout les deux vecteurs à additionner, en faisant coïncider l'origine de l'un avec l'extrémité de l'autre, la somme est donnée par le troisième côté du triangle ainsi formé, en prenant pour origine celle du premier vecteur considéré (figure n°1). Les techniques d'utilisation de la règle sont clairement indiquées.

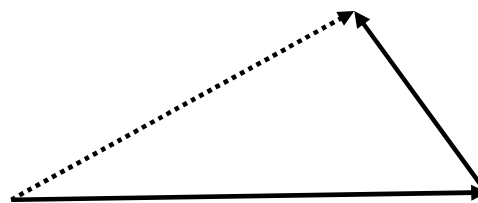


Figure 1 : La règle du triangle

Aucune allusion n'est faite dans ce programme aux liens et aux différentes possibilités d'utilisation de la notion de vecteur en sciences physiques.

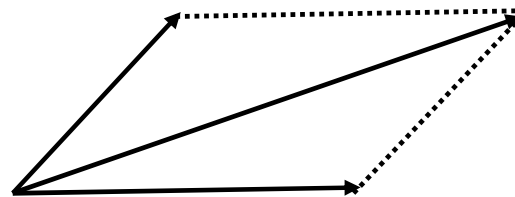


Figure 2 : La règle du parallélogramme

Dans le programme de mathématique de 2007 en cours d'exécution, la notion de vecteur est aussi introduite par la donnée d'un bi-point. La règle indiquée pour la construction de la somme de deux vecteurs est celle du parallélogramme : on construit le parallélogramme formé à l'aide des deux vecteurs reportés à une même origine. La somme des deux vecteurs correspond à la diagonale partant du point commun, origine des deux vecteurs (figure N°2).

En sciences physiques les programmes de 1998 et de 2007 présentent les mêmes indications et les mêmes objectifs sur la notion de force. L'analyse du contenu du programme de 2007 nous permet de dégager un champ empirique et un champ théorique sur la notion de force comme ci-après (tableau°1) :

Champ empirique	Champ théorique
<p>À l'aide de plusieurs situations de la vie quotidienne, la notion de force est introduite à partir de ses effets statiques et dynamiques. Ensuite, on donne la définition suivante : La force est toute cause capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ changer l'état de repos ou de mouvement d'un corps (effet dynamique); ✓ déformer un corps ou le maintenir en équilibre (effet statique). <p>Une catégorisation des forces est fournie : forces de contact et forces à distance.</p>	<p>La force est représentée par un vecteur force dont les propriétés sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Le point d'application; ✓ La droite d'action; ✓ Le sens; ✓ L'intensité.

Tableau 1 : Champ empirique et champ théorique sur la notion de force

3. Problème de recherche et cadre théorique

Parmi les notions élémentaires de la mécanique classique introduites à partir de la classe de 4^{ème} au collège, nous nous intéressons à celle de la résultante de forces (cas de forces colinéaires, parallèles puis concourantes). Par définition, la résultante de deux ou plusieurs forces est l'unique force qui produit les mêmes effets que les forces agissant simultanément. Si le concept de force comme modélisation d'une interaction est difficile à concevoir pour un bon nombre d'élèves, de même que sa représentation vectorielle, nous pensons qu'il en serait de même pour la résultante de forces. Cette hypothèse nous amène à identifier les difficultés des élèves de la classe de 4^{ème} à propos du concept de la résultante de forces. Ceci permettrait aux enseignants d'en tenir compte dans leur pratique d'enseignement-apprentissage.

L'organisation scientifique relative au concept de la résultante de forces semble être transparente dans les programmes de mathématiques et de sciences physiques en classe de 4^{ème} et le contenu va de soi.

Nous nous sommes posé la question de recherche suivante : les difficultés des apprenants de la classe de 4^{ème} à propos du concept de résultante de forces sont-elles liées aux schèmes qu'ils utilisent? De façon spécifique, quelle est la nature ou l'origine des difficultés des apprenants de la classe de 4^{ème} à propos du concept de résultante de forces?

Pour répondre à ces questions nous convoquons la théorie des champs conceptuels de (Vergnaud, 1990). C'est une théorie cognitiviste, qui vise à fournir un cadre cohérent et quelques principes de base pour l'étude de l'apprentissage et du développement des compétences complexes, notamment celles qui relèvent des sciences et des techniques. Du fait qu'elle offre un cadre pour l'apprentissage, elle intéresse la didactique; mais elle n'est pas à elle seule une théorie didactique. Sa principale finalité est de fournir un cadre qui permet de comprendre les filiations et les ruptures entre connaissances, chez les enfants et les

adolescents, en entendant par « connaissances » aussi bien les savoir-faire que les savoirs exprimés. La théorie des champs conceptuels s'intéresse donc aux pré-requis nécessaires aux nouveaux apprentissages, à la façon dont les connaissances doivent se succéder en harmonie avec la maturité cognitive de l'apprenant et aux conceptions des élèves. Vergnaud (1990) définit la notion de champ conceptuel comme « un ensemble de situations dont le traitement implique des schèmes, concepts et théorèmes en étroite connexion, ainsi que les représentations langagières et symboliques susceptibles d'être utilisées pour les représenter ». Il existe une grande variété de situations dans un champ conceptuel donné, et les variables de situation sont un moyen de générer de manière systématique l'ensemble des classes possibles. Chez Vergnaud, les situations désignent l'ensemble des circonstances dans lesquelles se trouve une notion mathématique. Les connaissances des élèves sont façonnées par les situations qu'ils ont rencontrées et maîtrisées progressivement. La théorie des champs conceptuels repose sur un principe d'élaboration pragmatique des connaissances. La clef est de considérer l'action du sujet en situation, et l'organisation de sa conduite. On peut distinguer deux classes de situations:

- des classes de situations pour lesquelles le sujet dispose dans son répertoire des compétences nécessaires au traitement relativement immédiat de la situation;
- des classes de situations pour lesquelles le sujet ne dispose pas de toutes les compétences nécessaires, ce qui l'oblige à un temps de réflexion et d'exploration, à des hésitations, à des tentatives avortées, et le conduit éventuellement à la réussite, éventuellement à l'échec.

Vergnaud (1998) appelle schème « l'organisation invariante de la conduite pour une classe de situations données » en précisant que « c'est l'organisation qui est invariante, non pas la conduite ». Selon Vergnaud (1998), « le schème n'organise pas que la conduite observable, mais également l'activité de pensée sous-jacente ». Selon cet auteur, cette organisation (le schème) est formée nécessairement de quatre composantes:

- un but, des sous buts et anticipations;
- des règles d'action, de prise d'information et de contrôle;
- des invariants opératoires, les concepts en-acte et les théorèmes en-acte. Le mot « invariant » est utilisé car les relations et propriétés sont les mêmes pour un concept donné et le mot « opératoire » car les connaissances utilisées par le sujet sont opérationnelles dans l'action;
- des possibilités d'inférence en situation.

Les concepts-en-acte et théorèmes ou propriétés en-acte sont donc les éléments cognitifs (souvent implicites) qui permettent à l'action du sujet d'être opératoire:

- Les théorèmes en-acte sont des énoncés ou propositions tenus pour vrais par le sujet dans l'action (mais qui peuvent en fait être vrais, partiellement vrais ou faux);
- Les concepts en-acte sont les objets et prédicats tenus pour pertinents par le sujet dans l'action (mais qui peuvent en fait ne pas être pertinents).

L'action dans laquelle les concepts-en-acte et les théorèmes en-acte s'expriment peut aussi être en pensée. En effet, Bagheri et Venturini (2006) rapportent que selon Vergnaud (2002), le schème organise le déroulement temporel de l'activité, quel que soit le type d'activité. Pour cet auteur, les gestes sont la meilleure preuve de l'existence de formes organisées de l'activité, mais les suites d'opérations, les enchaînements discursifs et les raisonnements sont aussi d'autres formes organisées de l'activité qui peuvent être analysées

Vergnaud (1990) décrit un concept comme un triplé de trois ensembles: $C = (S, I, \varphi)$

S: l'ensemble des situations qui donnent du sens au concept (*la référence*)

I: l'ensemble des invariants sur lesquels repose l'opérationnalité des schèmes (*le signifié*)

φ : l'ensemble des formes langagières et non langagières qui permettent de représenter symboliquement le concept, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement (*le signifiant*).

Pour cet auteur, le triplet (S, I, φ) fait référence au processus de conceptualisation et nous aide à appréhender la manière dont les apprenants comprennent et utilisent les concepts (dans notre cas, la résultante de forces).

4. Méthodologie de collecte de données

Le but de notre recherche est de comprendre comment le concept de résultante de forces est utilisé par les élèves de la classe de quatrième. Cela nous a amené à appréhender et analyser leurs conduites mentales, dans trois différentes situations qui mettent en jeu ce concept. Nous cherchons ainsi à identifier leurs schèmes, autrement dit l'éventuelle organisation invariante qui sous-tend leur conduite.

Dans une première étape, les neuf (9) élèves enquêtés, ont été invités à répondre individuellement et par écrit à un questionnaire papier-crayon qui contient trois situations de même classe. Chaque élève a eu le temps nécessaire pour répondre au questionnaire (en moyenne 45 minutes).

La verbalisation constitue pour Vergnaud (1998), un moyen de « rendre compte de l'activité cognitive d'un sujet humain dans une tâche ou situation donnée ». Dans une deuxième étape, les élèves neuf (9) enquêtés ont passé des entretiens individuels pour expliciter certaines de leurs réponses présentant des ambiguïtés et pour présenter le sens qu'ils donnent à la résultante des forces. Chaque entrevue, réalisée à l'aide d'un guide a duré environ une demi-heure.

Nous décrivons brièvement ci-après chaque situation et nous présentons en annexes les résultats attendus dans chacune des situations proposées aux élèves.

Situation 1

Elle porte sur une barque motorisée qui subit l'influence du vent sur un lac. La force motrice \vec{F} de la barque de même que l'ensemble des forces exercées par le courant d'eau sont représentées. Ces forces sont colinéaires et de sens contraires. L'ensemble des forces exercées par le vent est représenté. Le poids et la poussée de l'eau ne sont pas représentés car ces deux forces se compensent. La question qui est posée aux élèves est de représenter la résultante de toutes les forces appliquées à la barque.

Situations 2 et 3

Il s'agit d'un véhicule dont le moteur est éteint sur plan incliné. Dans la situation 2, le véhicule est sur la montée du plan incliné et ses pneus arrière sont calés. Dans la situation 3, le véhicule est dans une descente et il est soumis à des forces de frottement. Toutes les forces appliquées au véhicule sont représentées. La question qui est posée aux élèves est de représenter la résultante de toutes les forces appliquées au véhicule.

Dans ces situations complexes, une seule situation présente des forces concourantes et des forces colinéaires contrairement à ce qui est souvent présenté lors de l'apprentissage. Notre choix est justifié par le fait que dans la vie courante les phénomènes physiques sont souvent complexes. Ces situations sont les composantes du questionnaire administré. Notre échantillon d'étude ne présente aucun caractère généralisateur et les résultats ne concernent que les élèves interrogés. Ces élèves de la classe de quatrième ont déjà suivi le cours. Nous sommes donc, dans le cas des classes de situations pour lesquelles le sujet dispose dans son répertoire, à un moment donné de son développement et sous certaines circonstances, des compétences nécessaires au traitement relativement immédiat de la situation.

5. Résultats de l'étude

Les résultats de notre étude reposent sur l'analyse et l'interprétation des réponses au questionnaire et des entretiens avec les sujets de l'étude.

Pour analyser le signifiant (la représentation vectorielle de la résultante) nous avons fixé les indicateurs résumés dans le tableau ci-après :

Règles d'action (RA)	Invariants opératoires (IO)
<ul style="list-style-type: none"> - Ramener toutes les forces à un même point d'application (surtout pour les forces concourantes) : RA₁ - Combiner deux à deux les forces : RA₂ - Construire de proche en proche la résultante : RA₃ 	<ul style="list-style-type: none"> - Concept de translation de vecteur : IO₁ - Concept de forces parallèles ou colinéaires IO₂ - Concept de forces concourantes IO₃ - Règle de triangle ou de parallélogramme pour construire la somme de deux vecteurs : IO₄

Tableau 2 : Règles d'action (RA) et invariants opératoires (IO)

Pour analyser le signifié, c'est-à-dire le sens donné à la résultante des forces, nous avons examiné les réponses des élèves lors des entretiens. Il s'agissait de comprendre la manière dont les élèves raisonnent face aux situations mettant en jeu les propriétés de la résultante des forces. Pour ce faire, nous avons cherché à identifier les invariants opératoires utilisés implicitement ou explicitement. Grâce à l'articulation de ces invariants, nous avons inféré les raisonnements mis en œuvre. Ces invariants, peuvent avoir une pertinence scientifique ou non.

Examinons les réponses issues de l'écrit :

Pour la situation 1 :

La majorité des élèves interrogés utilise des règles d'action :

6 élèves sur les 9 semblent ramener les vecteurs-forces au même point d'application ;

7 élèves sur 9 semblent combiner deux à deux les forces ;

5 élèves semblent construire de proche en proche la résultante des forces appliquées à la barque.

La majorité des élèves interrogés semblent mettre en actes certains concepts :

6 élèves semblent mettre en acte le concept de translation de vecteurs ;

La totalité des élèves (soit 9 sur 9) mettent en acte le concept de forces parallèles ;

5 élèves semblent mettre en acte le concept de forces concourantes ;

Seulement 4 élèves semblent utiliser la règle de triangle ou de parallélogramme.

Cette manière de faire a conduit seulement 1 élève sur 9 à aboutir correctement à la bonne réponse.

Pour la situation 2 :

Aucun des élèves interrogés n'a pensé ramener les forces au même point d'application; la quasi-totalité (8 sur 9) des sujets de notre étude semble combiner les forces deux à deux; seuls 3 élèves sur 9 semblent construire de proche en proche la résultante de toutes les forces appliquées à la voiture.

Pour ce qui concerne les théorèmes en acte, aucun des élèves n'a utilisé le concept de translation de vecteur; la totalité des élèves semble mettre en acte le concept de forces parallèles ou concourantes; aucun élève n'a utilisé la règle de triangle ou de parallélogramme. Cette manière de raisonner a fait qu'aucun des élèves enquêtés n'a abouti à la bonne réponse.

Pour la situation 3 :

Les mêmes résultats de la situation 2 se répètent ici. Ceci n'est pas surprenant car ces deux situations se ressemblent.

Examinons les réponses issues des entretiens.

Dans les entretiens, les réponses données par les élèves enquêtés (voir annexe) sont pratiquement les mêmes que celles données par écrit. Nous rejoignons Bagheri et Venturini (2006) pour qui les invariants opératoires exprimés sous forme générique ou contextualisée sont les suivantes :

- Des invariants opératoires descriptifs mettant en relation deux éléments du réel (R-R). Ces invariants opératoires sont dépourvus de toute interprétation physique;
- Des invariants opératoires interprétatifs qui mettent en relation un élément du réel et un élément conceptuel (R-C).

Que dire de ces résultats?

6. Discussions et perspectives.

Notre échantillon n'est pas représentatif de l'ensemble des élèves béninois en classe de quatrième. Toutefois, la quasi uniformité des difficultés identifiées nous amène à imaginer qu'il serait pareil pour beaucoup d'élèves de la classe de quatrième au Bénin.

Du point de vue mathématique, l'une des connaissances utiles pour la construction de la résultante des forces porte sur le tracé de la somme de deux vecteurs. Les résultats mettent en évidence les différents constats suivants :

- L'utilisation sans combinaison efficace des règles d'action et des théorèmes en acte;
- L'absence de contextualisation (les sujets de notre étude semblent mobiliser des connaissances "prêtes à utiliser" qui peuvent être adaptées ou non aux situations particulières présentées) ;
- la règle du triangle ou du parallélogramme est absente ou exprimée sous forme incomplète.

Il nous semble que le repliement disciplinaire qui caractérise respectivement l'enseignement des mathématiques et l'enseignement de la physique expliquerait certaines difficultés dans l'acquisition du concept de résultante de forces en physique.

Par ailleurs, les invariants opératoires mobilisés par les élèves enquêtés montrent que la correspondance « *invariants opératoires- signifiés physiques* » semble être inexistante.

On peut inférer les raisonnements spontanés suivants :

- l'attribution de la force aux objets ;
- la capitalisation de la force (la force est stockée dans les objets)

Les difficultés semblent être d'origine didactique et épistémologique :

- Sur le plan didactique : de l'ancien programme de mathématiques à celui en cours d'exécution, la notion et les règles de construction de la somme de deux vecteurs semblent disparaître. Ces règles semblent être transparentes dans le programme de la physique;

- Sur le plan épistémologique, l'histoire des sciences montre l'existence de difficultés du même type dans la construction du savoir savant, par exemple, comme Ba (2007) l'a montré, l'introduction du vecteur pour modéliser les grandeurs physiques est relativement récente et a été sujet à de nombreux débats ; Il est aussi important de noter les difficultés par rapport au concept de force que sont la causalité linéaire, la substantialité et l'impétus.

Les apprentissages effectués semblent ne pas permettre une maîtrise avérée du concept de la résultante de forces.

Cette étude peut ouvrir une voie visant à mieux comprendre les difficultés des élèves en mécanique de façon générale au Bénin. Elle gagnerait à être prolongée :

- en interrogeant un plus grand nombre de sujet pour corroborer ses résultats ;
- en allant analyser les pratiques des enseignants en situation de classe par rapport à l'enseignement du concept de résultante de forces ;
- en cherchant à mettre au point des ingénieries didactiques susceptibles de faire évoluer l'organisation des conduites dans les raisonnements, et à les évaluer.

CONCLUSION

Les recherches didactiques déjà réalisés en mécanique, ont tous fait état des difficultés des élèves à utiliser le concept de forces. Notre travail s'est appesanti sur les difficultés des élèves de la classe de quatrième à propos du concept de la résultante de forces. En nous référant à la théorie des champs conceptuels de Vergnaud, nous avons étudié les schèmes mis en œuvre par des élèves lorsqu'ils mobilisent le concept de la résultante de forces.

Parmi, les élèves interrogés, seulement 1 sur 9 est parvenu de façon correcte à contextualiser une situation sur les trois que nous avons présentées.

Notre étude nous a permis d'identifier des difficultés qui expliqueraient l'échec de ces élèves interrogés :

- les invariants opératoires qu'ils mobilisent, semblent être énoncés de manière partielle ou non contextualités;
- l'inexistence de relations « invariants opératoire –signifiés physiques »;
- l'utilisation sans combinaison efficace des règles d'action et des théorèmes en acte.

En effet selon Vergnaud (1990), « le fonctionnement cognitif du sujet dépend de l'état de ses connaissances ». En mathématique la construction de la somme de deux vecteurs donne un troisième vecteur tandis qu'en physique la résultante de deux forces donne une force qui remplace les deux autres.

La résultante de deux ou plusieurs forces semble être perçue par les élèves enquêtés comme une nouvelle force.

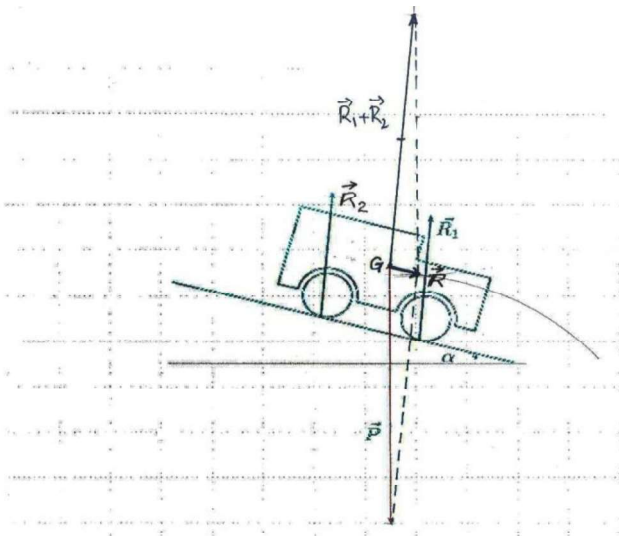
RÉFÉRENCES

- Ba, C. (2007). *Étude épistémologique et didactique de l'utilisation des vecteurs en physique et en mathématiques*, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1 et Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- Ba, C. et Dorier J. L. (2007). Lien entre mathématiques et physique dans l'enseignement secondaire : un problème de profession? L'exemple des vecteurs. *In Actes du 2^{ème} Congrès international sur la TAD Diffuser les mathématiques et les autres savoirs comme outils de connaissance et d'action*, (p. 289-306), Uzès_France-31 oct.-2 nov. 2007, Montpellier, IUFM. 2010.
- Bachelard, G. (1934). *La formation de l'esprit scientifique, contribution à une psychanalyse de la connaissance objective.*, Paris, Librairie philosophique J. Vrin.
- Bagheri, R. et Venturini, P. (2006). Analyse du raisonnement d'étudiants utilisant les concepts de base de l'électromagnétisme, *Didaskalia*, 28, 33-53.
- Coppens N. (2007). *Comment détecter les conceptions des élèves en mécanique?* Atelier, LDSP, Université Paris 7, Lycée International, Strasbourg.
- DES¹²⁹ (1998). *Programmes d'études mathématiques, Classe de 4^{ème}*, version officielle, MENRS, Bénin.
- DIP¹³⁰ (2007). *Document d'accompagnement, physique – chimie – technologie. Classe de 4^{ème}* version révisée, MESFTP, Bénin.
- DIP (2007). *Guide du programme d'études, physique – chimie – technologie. Classe de 4^{ème}* version révisée, MESFTP, Bénin.
- DIP (2007). *Guide du programme d'études, mathématiques. Classe de 4^{ème}*, MESFTP, Bénin.
- Sergio, F. et Stephen, E. (2003). *Student use of vectors in introductory mechanics*, Department of Physics, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico 88003.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels, *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol.10, n°23, 133-170.
- Vergnaud, G. (1998). *Qu'est-ce que la pensée?* Paris, Université Paris 8.
- Viennot, L. (1979). Raisonnement spontané en dynamique élémentaire, *Revue française de pédagogie*, vol. 45, 16-24.

¹²⁹ Direction de l'Enseignement Secondaire.

¹³⁰ Direction de l'Inspection Pédagogique.

Figure N°5 : Résultat attendu dans la



Le vecteur-force de la résultante des forces appliquées au véhicule est non nul donc il est en mouvement.

Situations	Objet de la question	Réponse de l'élève	Type d'invariant opératoire
1	Dis le point vers lequel ira la barque motorisée. Justifie ta réponse	<p>-(E1, S1) :</p> <p>Le bateau se dirige dans le sens B car $\vec{R}_1 > \vec{F}_V$</p> <p>-(E2, S1) :</p> <p>La barque se dirige dans le sens B car elle résiste au courant d'eau en A de plus elle est propulsé par la direction et le sens du vent</p> <p>-(E3, S1) :</p> <p>Le bateau se dirige vers le point A puisque la résultante des forces qui lui sont appliquées se dirige vers ce point</p>	<p>« R-C »</p> <p>« R-R »</p> <p>« R-C »</p>

2	Dis si le véhicule descend ou non. Justifie ta réponse	<p>(E1, S2) :</p> <p>Le véhicule descend car son poids est supérieur à la résultante des forces \vec{R}_1 et \vec{R}_2</p> <p>- (E2, S2) :</p> <p>Le véhicule ne descend pas car il est calé</p> <p>- (E3, S2) :</p> <p>La voiture va monter parce que la cale exerce une force sur la voiture</p>	<p>« R-C »</p> <p>« R-R »</p> <p>« R-C »</p>
3	Dis si le véhicule est immobile ou non. Justifie ta réponse	<p>(E1, S3) :</p> <p>Le véhicule descend car son poids est supérieur à la résultante des forces \vec{R}_1 et \vec{R}_2</p> <p>- (E2, S3) :</p> <p>Le véhicule est immobile car il est sur un plan incliné</p> <p>- (E3, S3) :</p> <p>Le véhicule roule vers le bas car il n'est pas calé.</p>	<p>« R-C »</p> <p>« R-R »</p> <p>« R-R »</p>

Tableau 4 : Réponses des élèves aux entretiens et les types d'invariant associé.

Ei : Elève n°i ; **Si** : situation n°i

(Ei, Si) : Elève n°i dans la situation n°i