

Investigation sur l'enseignement et l'apprentissage de la force de Coriolis terrestre dans l'enseignement supérieur

[Investigation on teaching and learning of the Earth's Coriolis force at the University]

Karoum Limame¹⁻² and Salaheddine Sayouri²

¹Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF) de Fès, Rue de Kuwait, BP 49, Fès, Morocco

²Laboratoire de Physique Théorique et Appliquée (LPTA), FSDM B.P. 179, Fès, Morocco

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The obstacles to the understanding and the assimilation of physical concepts are very often very complex to perceive and, therefore, methodologies, approaches and reforms that can overcome these barriers are continuously proposed by the Ministry of Education. In the present tentative, which may be considered as a first step to a more developed work, we proposed a questionnaire to future physics and chemistry teachers in secondary schools (at CRMEF of Fez, Morocco). In addition, we were able, through discussions with physics university professors, to have an idea about the reactions of the students on the problem, The objective was to identify difficulties and barriers faced by those students during the teaching and learning of the concept of the earth's Coriolis force. This work, which constitutes a part of an action research, could allow the desired solutions to the barriers mentioned above. The collected results revealed a misperception of the concept associated with the Earth's Coriolis force, pointing out that teaching strategies have to be reviewed, and that pedagogical tools have to be implicated in these strategies.

KEYWORDS: Coriolis force, geocentric referential, terrestrial referential, pedagogic tools, Questionnaire.

RESUME: Les obstacles à une compréhension et à une assimilation des concepts physiques enseignés dans les cycles de l'enseignement universitaire s'avèrent très souvent très difficile à surpasser, et, de ce fait, des méthodologies et approches pouvant écarter ces obstacles sont proposés au fil des années et des diverses réformes de l'enseignement mises en place par le Ministère de tutelle. Dans le présent travail, qui constitue une ébauche à un travail plus développé en cours de préparation, nous avons établi un questionnaire, soumis à un échantillon constitué d'enseignants de physique-chimie du cycle secondaire qualifiant en cours de formation au CRMEF de Fès. En outre, nous avons pu, via un entretien avec des professeurs universitaires de physique, d'ores et déjà, avoir une idée sur les réactions des étudiants concernant la question. L'objectif étant de cerner les difficultés et obstacles que rencontrent les étudiants lors de l'enseignement et l'apprentissage du concept de la force de Coriolis terrestre au programme de la mécanique. Ce travail s'insère dans le cadre d'une recherche-action susceptible de permettre la proposition de solutions aux entraves sus mentionnés. L'exploitation des résultats du dépouillement du questionnaire ont confirmé la faible perception du concept associé à la force de Coriolis terrestre, mettant en cause les stratégies d'enseignement qui souffre du manque de supports pédagogiques dédiés à l'enseignement de cette force en particulier.

MOTS-CLEFS: Force de Coriolis, référentiel géocentrique, référentiel terrestre, Outil pédagogique, Questionnaire.

1 CADRE THEORIQUE

La force de Coriolis est une force qui dévie la trajectoire d'un objet considéré en mouvement dans un système en rotation. Elle s'applique en particulier sur la terre à tout corps en mouvement, par suite de la rotation de notre planète autour de l'axe des pôles. En 1835 l'ingénieur français Gustave Coriolis déduisit cette force a des forces qui agissent sur les corps en déplacement dans un système en rotation et l'a appelée "force centrifuge composée" [1-2]. Au 19^{ème} cycle cette force fut communément appelée force de Coriolis.

Historiquement la force de Coriolis fut liée à la question posée par Aristote sur le mouvement de la terre : la Terre tourne-t-elle sur elle-même ? Cette même question a été évoquée deux mille ans plus tard par Tycho Brahé (1546-1601), et Giovanni Borelli (1608-1679) [3,4]. Depuis cette date de nombreuses études se poursuivirent pour mettre en évidence l'effet de la rotation de la terre sur un corps en mouvement sur la terre. Cet effet s'avéra plus tard être l'une des manifestations de la force Coriolis.

Cette force a été mise en évidence par plusieurs expériences effectuées au fil du temps, par exemple au moyen de l'étude d'un point matériel lâché verticalement sans vitesse initiale [4-6] et par le pendule de Foucault [7]. Un objet qui se déplacerait dans une direction vers le nord ou vers le sud serait dévié en fonction de la rotation de la terre.

L'expression mathématique de la force de Coriolis est déduite à partir des lois des compositions des accélérations.

Soit R' un référentiel d'origine O' en mouvement quelconque par rapport à un référentiel galiléen R d'origine O . D'après la composition des accélérations, l'accélération $\vec{a}_{M/R}$ par rapport à R d'un point M en mouvement par rapport à R' est :

$$\vec{a}_{M/R} = \left. \frac{d^2 \vec{OM}}{dt^2} \right)_{R'} + \vec{a}_{O'/R} + \frac{d\vec{\Omega}_{R'/R}}{dt} \wedge \vec{O'M} + \vec{\Omega}_{R'/R} \wedge (\vec{\Omega}_{R'/R} \wedge \vec{O'M}) + 2\vec{\Omega}_{R'/R} \wedge \vec{V}_{M/R'} \quad (\text{Eq.1})$$

$$= \vec{a}_{M/R'} + \vec{a}_e + \vec{a}_c$$

Où

$$\vec{a}_{M/R'} = \left. \frac{d^2 \vec{OM}}{dt^2} \right)_{R'}, \vec{a}_e = \vec{a}_{O'/R} + \frac{d\vec{\Omega}_{R'/R}}{dt} \wedge \vec{O'M} + \vec{\Omega}_{R'/R} \wedge (\vec{\Omega}_{R'/R} \wedge \vec{O'M}) \text{ et } \vec{a}_c = 2\vec{\Omega}_{R'/R} \wedge \vec{V}_{M/R'}$$

L'accélération absolue ($\vec{a}_{M/R}$) est la somme géométrique de l'accélération relative de M ($\vec{a}_{M/R'}$), de l'accélération d'entraînement (\vec{a}_e) et d'un terme complémentaire (\vec{a}_c) égale au double produit vectoriel de la rotation d'entraînement $\vec{\Omega}_{R'/R}$ et de la vitesse relative de M ($\vec{V}_{M/R'}$).

Si le point M de masse m est soumis à la somme des forces $\sum \vec{F}$, Dans le référentiel R (absolu) la loi fondamentale de la dynamique s'écrit dans R :

$$\left. \frac{d\vec{P}_{M/R}}{dt} \right)_{R'} = m\vec{a}_{M/R} = \sum \vec{F} \text{ soit } m(\vec{a}_{M/R'} + \vec{a}_e + \vec{a}_c) = \sum \vec{F} \quad (\text{Eq.2})$$

On obtient

$$\left. \frac{d\vec{P}_{M/R'}}{dt} \right)_{R'} = \sum \vec{F} - m\vec{a}_e - m\vec{a}_c \quad (\text{Eq.3})$$

Cette équation reliant la quantité de mouvement de M , $\vec{P}_{M/R'}$, par rapport à R' , à la somme des forces; montre que la loi fondamentale de la dynamique peut être appliquée dans un référentiel quelconque, à condition qu'on ajoute aux forces extérieures, deux forces supplémentaires, $\vec{F}_e = -m\vec{a}_e$ et $\vec{F}_c = -m\vec{a}_c$ appelées respectivement force d'entraînement et force de Coriolis. Ces deux forces sont appelé ainsi forces d'inertie.

Dans le cas de la force de Coriolis terrestre, R est le repère géocentrique et R' est le repère terrestre lié au corps en mouvement.

2 PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

La force de Coriolis n'est pas une vraie force physique, elle n'est pas liée à une interaction physique, mais liée au changement de point de vue d'observateur, c'est à dire à la nature des référentiels ; c'est ainsi qu'elle est souvent appelée force fictive, pseudo-force ou force de repère. Elle constitue un moyen de montrer que les lois de la mécanique changent lorsqu'on change de point de vue (nature des référentiels galiléens ou non galiléens). En outre cette force ne travaille pas, ne peut accélérer une particule, mais cause une déviation de sa trajectoire, ce qui pourrait être source de doute quant à l'effet de cette force chez l'apprenant.

La notion de la force de Coriolis est basée sur l'accélération de Coriolis qui ne découle pas directement d'une « dérivation d'une vitesse », ce qui engendre une conception erronée de la grandeur physique chez l'apprenant même si l'analyse dimensionnelle de son expression confirme sa nature comme accélération.

De toutes ces considérations, l'enseignement et l'apprentissage de cette force sont l'objet de plusieurs difficultés aussi bien pour les apprenants pour bien l'assimiler que pour les professeurs pour l'enseigner. En plus, l'introduction de cette force fait appel à plusieurs concepts mathématiques et physiques : produit vectoriel, pseudo vecteur, référentiel galiléen, référentiel non galiléen, rotation,...

Signalons que des études [6], ont mis le doigt sur les difficultés de compréhension et de perception, qu'éprouvent les étudiants en Océanographie et en Météorologie dynamique, lors de l'introduction du concept de la force de Coriolis dans le cours de mécanique appliquée. En effet, cette force revêt, via ses effets notoires, un important rôle quant aux calculs et aux prévisions faits dans le cadre des deux sciences mentionnées ci-dessus.

Le chapitre traitant la force de Coriolis terrestre se situe dans les curricula du programme de la mécanique, destiné à la première année de toutes les filières scientifiques de l'enseignement supérieur et des classes préparatoires aux grandes écoles.

A notre connaissance, cette force est peu abordée au niveau didactique. Et pour mettre le point sur les obstacles qui entravent son enseignement et son apprentissage, nous avons mené une investigation sur ce sujet. A cet égard, nous avons formulé deux hypothèses que nous allons vérifier au cours de cette recherche :

- Le manque de supports didactiques dédiés à l'enseignement de cette force;
- Le manque de scénarisation pédagogique destinée à l'enseignement de cette force.

Notre étude est basée sur l'analyse des entretiens effectués avec des professeurs universitaires, de la faculté des sciences Dhar Mehrez Fès, et des réponses d'enseignants en cours de formation au cycle secondaire qualifiant, filière Physique Chimie du centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation (CRMEF, Fès Boulemane), à un questionnaire. L'accès à ce cycle est conditionné par la réussite au concours d'entrée des candidats titulaires au moins d'une licence en sciences physiques, ou en chimie ou d'un diplôme équivalent.

Les professeurs universitaires avec lesquels nous avons effectué les entretiens, possèdent une grande expérience dans le domaine de l'enseignement de la physique, et plus particulièrement celui de la mécanique.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une recherche action afin de proposer des solutions susceptibles d'aider à aplanir les difficultés de compréhension auxquelles font face les étudiants.

3 METHODOLOGIE

Nous avons jugé de faire une mise au point concernant les méthodes d'enseignement et d'apprentissage de la force de Coriolis, et ce par le biais d'une recherche exploratoire. La méthodologie adoptée dans ce travail s'articule sur les points suivants :

- Analyse des documents et des travaux de recherche effectués sur l'étude et l'enseignement de la force de Coriolis;
- Brainstorming : Un remue-méninge et une concertation avec des professeurs de l'enseignement supérieur qui ont une large expérience professionnelle (les gens ressource), et qui ont enseigné la mécanique. La discussion porte sur les questions relatives à leurs pratiques pédagogiques et les supports utilisés, sur le degré d'assimilation des apprenants de la force de Coriolis et leurs suggestions pour améliorer l'enseignement de ce concept. (voir annexe A)
- Elaboration d'un questionnaire aux apprenants:

Le questionnaire comporte 9 questions relatives :

- A l'identification des stagiaires (Q1) ;
- Au thème étudié (Q2-Q6) ;
- Aux outils et supports didactiques utilisés dans l'enseignement de cette force (Q7-Q8) ;

Aux éventuelles interrogations que pourraient se poser les stagiaires en rapport avec cette force (Q9) (voir annexe B).

- Soumission du questionnaire;

Le questionnaire a été soumis au CRMEF Fès Boulemane, à une cible constituée de tous les enseignants (es) en cours de formation du cycle secondaire qualifiant de la filière Physique Chimie, au nombre de 55. Cet échantillon est représentatif, car les étudiants le constituant proviennent de différents établissements (Faculté des sciences Dhar Mehrz Fès, Faculté polydisciplinaire de Taza, Faculté des sciences de Meknès, Faculté polydisciplinaire de Beni Mellal, FST de Beni Mellal, FST de Fès-Saiss, Faculté des sciences de Meknès, Faculté des sciences de Kenitra) permettant d'embrasser différentes pratiques pédagogiques.

Pour préserver l'anonymat des enseignants, leurs questionnaires ont été identifiés par une codification de 1 à 55. Une durée de 20 minutes leur a été accordée pour répondre au questionnaire.

- Analyse et interprétation des résultats obtenus.

4 RESULTATS ET ANALYSE

4.1 RESULTATS DU BRAINSTORMING

Les professeurs ont déclaré qu'ils abordent cette force lors du cours magistral sur la dynamique du point matériel, sans support pédagogique, et en travaux dirigés sous forme d'exercices classiques. Cependant, aucune manipulation pouvant servir de vérification de l'effet de cette force n'est disponible, A défaut d'expériences pratiques, et pour vulgariser cette force, ils se limitent à donner des commentaires et des exemples. En outre, ils réaffirment que les étudiants trouvent des difficultés pour la perception de cette force, et jugent nécessaire d'inclure l'étude de cette force dans les travaux pratiques au moyen de manipulations.

4.2 RESULTATS DU QUESTIONNAIRE

Les résultats aux réponses sont donnés, ci-après, en pourcentage.

Q-1 Identification de la cible

L'échantillon pour cette étude est constitué des futurs enseignants (es) de physique-chimie du secondaire qualifiant, de taille N=55, poursuivant leur formation au CRMEF de Fès. Les informations recueillies auprès de la cible sont regroupées sur le tableau 1, et illustrées en pourcentage sur la figure 1.

Tableau 1. Les informations recueillies auprès de la cible

	Titulaires d'un master	Titulaires d'une licence
Physique	11	34
Chimie	3	7
Total	14	41

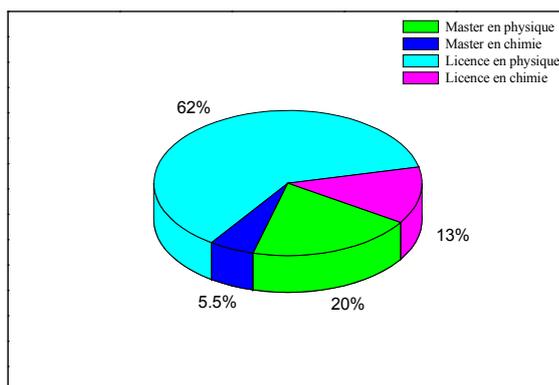


Fig .1. Illustration en pourcentage des informations recueillies auprès de la cible.

Q2- Quelle est l'origine de la force de Coriolis terrestre?

- Réponse correcte : 12.73 ;
- Réponse fausse : 50.91 ;
- Aucune réponse : 36.36.

Il est clair alors que la majorité des étudiants ignore l'origine de la force de Coriolis terrestre.

Q3- Quelle est l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement?

- Réponse correcte : 5,45 ;
- Réponse fausse : 70.90;
- Aucune réponse : 23.64.

Q4- Quel est l'effet de la force de Coriolis sur un point matériel lâché verticalement sans vitesse initiale ?

- Réponse correcte : 10.91 ;
- Réponse fausse : 23.63 ;
- Aucune réponse : 65.45.

Q5- L'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement est-il étudié et prouvé expérimentalement ?

- Réponse affirmative : 18.18 ;
- Réponse négative : 14.54 ;
- Aucune réponse : 67.27.

Q6- Pensez-vous qu'il est facile de réaliser des expériences pour mettre en évidence l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement ?

- Réponse affirmative : 14.54 ;
- Réponse négative : 52.73 ;
- Aucune réponse : 32.72.

Q7- Vous a-t-on fait faire des manipulations (expériences) étudiant l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement?

- Réponse négative : 89.09 ;
- Aucune réponse : 10.91.

Cependant, pour certains interrogés, le seul 'contact' avec cette force, sans interprétation physique, a été pris par le biais de sa formulation mathématique.

Q8- Avez-vous utilisé des ressources numériques pour étudier et mettre en évidence l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement?

- Réponse négative: 74.54;
- Réponse affirmative (sans spécifier les ressources utilisées) : 9.09;
- Aucune réponse : 16.36.

Q9-Avez-vous des questions sur l'effet de la force de la force de Coriolis terrestre?

Seuls 38.18 des questionnés ont posé des questions sur cette force. Les questions recueillies (Fréquence entre parenthèses) sont :

- Signification physique de cette force (10);
- Origine et effet de cette force (10);
- Réalité de cette force (2);
- Exemples concrets et réels pour bien assimiler le(les) concept(s) associé(s) à cette force (2);
- Peut-on la considérer comme une force de frottement ?
- Aurait-elle le même effet sur les deux pôles nord et sud de la terre ?
- Est-ce que tous les corps subissent cette force ?
- Peut-on éliminer l'effet de cette force ?
- Peut-on exprimer mathématiquement cette force ?
- Serait-ce nécessaire d'introduire cette force sachant qu'elle est représentée par un pseudo- vecteur;
- Avoir le plus d'informations possibles sur cette force.

A partir de l'analyse des résultats du questionnaire, nous constatons que la majorité des interrogés ne connaissent ni l'origine ni l'effet de la force de Coriolis terrestre, et un bon pourcentage d'eux n'a pas répondu à cette question. Il est donc clair que les étudiants n'ont pas compris la force de Coriolis au cours de leur formation universitaire. En outre, presque la totalité des interrogés a déclaré n'avoir réalisé ni expérience (Travaux pratiques) ni ressources numériques comme supports lors de l'enseignement de la force de Coriolis. En effet, 14.54% des interrogés pensent qu'il est facile de réaliser des expériences pour mettre en évidence l'effet de la force de Coriolis terrestre, contre 52.73% qui croient le contraire et 32.72% n'ayant pas exprimé leurs points de vue, ce qui prouve l'absence de l'utilisation du support didactique dans l'enseignement de la force de Coriolis.

L'analyse des questions des interrogés montre qu'on peut résumer leurs réponses en l'existence de lacunes de compréhension quant à l'origine, la nature, l'effet et la signification physique de la force de Coriolis. Nous constatons, en outre, que les interrogés jugent impératif la réalisation d'expériences pour aplanir les difficultés de perception et de compréhension de cette force.

Pour étudier l'impact de la formation, ainsi que le niveau de formation sur l'apprentissage de la force de Coriolis, nous avons fait une analyse croisée des tableaux 1 et 2 regroupant respectivement les pourcentages des réponses par niveau académique (Tableau 2) et par option (physique ou chimie) (Tableau 3).

Tableau 2. Pourcentages des réponses par niveau de formation

	Oui/Vraie*		Non/Fausse*		Aucune réponse	
	Master	licence	Master	licence	Master	licence
Q2*	0%	17.07%	57.14%	48.78%	42.86%	31.11%
Q3*	7.14%	4.87%	14.28%	24.4%	78.57%	68.30%
Q4*	21.43%	5.8%	21.43%	24.4%	57.14%	68.30%
Q5	14.28%	19.52%	14.28%	14.63%	71.42%	65.85%
Q6	21.43%	11.11%	21.43%	65.34%	57.14%	24.4%
Q7	0%	0%	92.86%	87.80%	7.14%	12.20%
Q8	0%	12.20%	71.43%	75.6%	28.75%	12.20%
Q9	64.29%	29.26%	35.71%	70.73%	-	-

Tableau 3. Pourcentages des réponses par option (physique ou chimie).

	Oui/Vraie*		Non/Fausse*		Aucune réponse	
	Physique	Chimie	Physique	Chimie	Physique	Chimie
Q2*	8.88%	30%	53.33%	40%	37.77%	40%
Q3*	4.44%	10%	22.22%	30%	73.33%	60%
Q4*	13.13%	0%	17.77%	50%	68.88%	50%
Q5	22.22%	0%	11.11%	30%	66.66%	70%
Q6	11.11%	30%	53.33%	50%	35.55%	20%
Q7	0%	0%	91.11%	80%	8.88%	20%
Q8	6.66%	0%	77.79%	80%	15.55%	20%
Q9	35.56%	40%	64.44%	60%	-	-

Les principaux résultats qui en ont découlé sont développés ci-dessous.

- Le pourcentage de ceux qui ont une formation en chimie, et ayant répondu correctement aux questions relatives à la force de Coriolis (Q2, Q3), est supérieur à celui de ceux ayant une formation en physique
- Ceux qui ont une formation en chimie ont déclaré qu'ils n'ont utilisé aucun support pédagogique (expérience et/ou ressources numériques), tandis que 6.66% de ceux qui ont une formation en physique, et plus particulièrement ceux qui ont une licence, ont déclaré avoir utilisé des supports numériques, mais sans les spécifier, et n'ont utilisé aucune expérience.
- Un bon pourcentage de ceux qui ont un master en sciences physique a posé des questions sur la force de Coriolis, et un très faible pourcentage d'eux a reconnu que l'effet de la force de Coriolis terrestre peut être étudié et prouvé expérimentalement.
- Tous les licenciés en chimie ne connaissent pas l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps lâché verticalement sans vitesse initiale, et ne reconnaissent pas que l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement peut être étudié et prouvé expérimentalement.
- Un très faible pourcentage des licenciés en physique déclare qu'il a utilisé des ressources numériques, sans les préciser, pour étudier et mettre en évidence l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement.

De ce qui précède, nous ne pouvons pas conclure que l'apprentissage et la compréhension sont tributaires du niveau ou du parcours de formation des interrogés, mais on pourrait dire qu'il est influencé par la manière et la stratégie utilisées dans l'enseignement de ce cours faisant partie du tronc commun des parcours physique et chimie. Cette conclusion confirme le choix de la problématique et les hypothèses que nous avons posées au départ.

5 CONCLUSION

Les résultats qui ressortent de cette étude nous permettent de répondre à la problématique que nous avons posée au départ. En effet, ce travail a validé les hypothèses que nous avons formulées au début de l'étude, et a mis le point sur les difficultés rencontrées par les apprenants pour l'assimilation de la notion de la force de Coriolis traitée dans le cours de mécanique.

Pour ces apprenants, l'apprentissage du cours en rapport avec cette force a été effectué sans supports pédagogiques, et s'est limité à la formulation mathématique de cette force pour répondre à des questions au cours de l'évaluation, sans s'en poser d'autres sur le sens physique.

Cette façon de concevoir l'apprentissage implique des remises en question importantes au niveau de l'enseignement, et, surtout, au niveau des stratégies utilisées en milieu universitaire. Ceci nécessite d'opérer un changement de paradigme important, basé sur la construction des savoirs chez l'apprenant pour lui permettre de bien percevoir les concepts en étude, et de les investir et les mobiliser dans l'explication des situations complexes inconnues.

Pour faire face aux obstacles trouvés par les apprenants, nous proposons dans un prochain travail, une stratégie d'enseignement de ce cours qui peut favoriser l'apprentissage actif des étudiants. Cette stratégie est basée sur un scénario pédagogique qui intègre une ressource numérique que nous avons élaborée à cette fin.

REFERENCES

- [1] G. Coriolis, "Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps". J.E.P. (Journal de l'École Polytechnique. Paris.) No. 15, pp.142-154, 1835.
- [2] Kammerlingh-Onnes, Nieuwe bewijzen voor de aswenteling deraarde (New proofs of the rotation of the earth). PhD dissertation, Groningen. 1879.
- [3] A. Koyré, Chute des corps et mouvement de la Terre : de Kepler à Newton , J. Vrin, Paris, 1973.
- [4] Christian Larcher, Le Perreux sur Marne, "Une question historique : Où tombe une pierre lâchée du haut d'une tour ? Au pied de la tour ? Vers l'ouest ? Vers l'est ? ", CC n° 130, pp. 31-33, 2010.
- [5] J.G. Hagen, La rotation de la terre, ses preuves mécaniques anciennes et nouvelles, Tipografia Poliglotta Vaticana, Roma 1911.
- [6] R. Genty, " À propos de Coriolis", La Météorologie 8^{ème} série, N° 8, pp.36-42, 1994.
- [7] S. Haddout and M. Rhazi, "Approche pédagogique expérimentale : Pendule de Foucault," International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 9 N° 1, pp. 110-114, 2014.

ANNEXES

Annexe A

1. Parmi les concepts de la physique on peut citer celui de la force de Coriolis terrestre. Au cours de votre enseignement, avez-vous mis l'accent sur cet effet ?
Si oui, quelle a été la réaction des étudiants, et quel a été, d'après vous, le degré d'assimilation par les étudiants de ce concept ?
2. Avez-vous pu éclaircir les problèmes de compréhension et d'assimilation par les étudiants de ce concept?
3. Dans quel cadre avez-vous évoqué la force de Coriolis terrestre : cours ou travaux dirigés ?
4. Dans le cadre du cours, comment avez-vous abordé la question de la force de Coriolis terrestre ?
5. Dans le cadre des travaux dirigés, la nature des exercices a-t-elle été de type classique, résolution des équations mathématiques, ou sous forme de situation –problème susceptibles d'éclaircir le concept de la force ?
6. L'enseignement pratique prévoit-il une expérience de mise en évidence de cette force?
7. Avez-vous utilisé des ressources numériques (expériences simulées, vidéo, documentaire,...) comme support pour la compréhension de cette force ?
8. Auriez-vous des suggestions pour un meilleur apprentissage de cette force?

Annexe B

Questionnaire

N.....

1. Dernier diplôme académique obtenu :
Spécialité..... Physique Chimie Autre
2. Quelle est l'origine de la force de Coriolis terrestre?
.....
.....
3. Quelle est l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement ?
.....
.....
4. Quel est l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps lâché verticalement sans vitesse initiale?
.....
.....
5. L'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement est-il étudié et prouvé expérimentalement ?
 Oui Non Sans réponse
*Si oui citer des expériences effectuées.....
;.....
.....
6. Pensez-vous qu'il est facile de réaliser des expériences pour mettre en évidence l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement ?
 Oui Non Sans réponse
7. Vous a-t-on fait faire des manipulations (expériences) étudiant l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement?
 Oui Non Sans réponse
*Si oui lesquelles :
8. Avez-vous utilisé des ressources numériques pour étudier et mettre en évidence l'effet de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement?
 Oui Non Sans réponse
*Si oui lesquelles.....
.....
9. Avez-vous des questions sur l'effet de la force de la force de Coriolis terrestre sur un corps en mouvement?
 Oui Non
*Si oui lesquelles