



HAL
open science

Que comprennent nos étudiants de la mécanique Newtonienne ?

Jean-Francois Parmentier, Lamine Brahim

► **To cite this version:**

Jean-Francois Parmentier, Lamine Brahim. Que comprennent nos étudiants de la mécanique Newtonienne ?. 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03307380

HAL Id: hal-03307380

<https://hal.science/hal-03307380>

Submitted on 29 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Que comprennent nos étudiants de la mécanique Newtonienne ?

J.F. PARMENTIER^a, B. LAMINE^b

a. Institut de Recherche en Enseignement des Sciences, Université Paul Sabatier,
118 Route de Narbonne, 31062 Toulouse, jean-francois.parmentier@univ-tlse3.fr

b. IRAP - OMP 14 avenue Edouard Belin 31400 Toulouse brahim.lamine@irap.omp.eu

Résumé :

Je jette une balle vers le haut. Quelle(s) force(s) s'exerce(nt) sur elle quand elle est en train de monter ? Cette question, d'apparence très simple pour un enseignant en physique, n'est en fait pas évidente pour nos étudiants. En effet, une très grande partie d'entre eux répondent «une grande force vers le haut et une petite vers le bas». Car si elle monte, disent-ils, c'est bien qu'il y a une force qui la fait monter. Depuis les années 80, la recherche internationale a montré la présence dominante chez nos étudiants de fausses conceptions de la mécanique qui vont à l'encontre de nos enseignements. Cet article présente un état des lieux actuel de ce que croient nos étudiants à différents niveaux d'études. Le Force Concept Inventory a été utilisé comme outil d'analyse et les résultats sont présentés pour 9 formations (1 236 étudiants), allant du niveau L1 au niveau L3, à l'université, en IUT et en école d'ingénieurs. Cette étude établit un constat alarmant pour nos institutions, qui diplôment un grand nombre d'étudiants ne maîtrisant pas les concepts de base de la mécanique Newtonienne.

Abstract :

I throw a ball straight up. What are the forces acting on the ball while it goes up ? This question, which seems easy for a physics teacher, is difficult for our students. A large part of them answers «a large upward force and a small downward one». They argue that if it goes up, it's because a force raises the ball upward. In the 80's, international research studies have shown that students possess misconceptions in mechanics that interfere with what we want to teach them. This paper presents a snapshot of what our students are thinking at various level of qualifications, in the french education system. The Force Concept Inventory was used as a probe and results are presented for 9 institutions (1 236 students), from L1 to L3, in public university, in «IUT» and in «école d'ingénieurs». An alarming report is made for our institutions, because a large number of students get their diploma despite they do not master Newtonian mechanics.

Mots clefs : enseignement, mécanique, préconception, Force Concept Inventory

1 Introduction

1.1 Contexte

Les principes de la mécanique Newtonienne sont devenus une base pour l'enseignement des sciences. Ceux-ci sont enseignés dès le lycée et revus ensuite dans l'enseignement supérieur lors de la première année dans la très grande majorité des formations en sciences. Cependant la recherche en didactique des sciences a montré que ces concepts sont souvent mal compris des étudiants même parmi les meilleurs [1, 2]. De plus, l'enseignement traditionnel a montré ses faiblesses sur la capacité à changer les conceptions erronées des étudiants [3, 4]. Ainsi, les difficultés conceptuelles identifiées dès les premières années de l'enseignement supérieur perdurent au cours des études. Malgré 30 ans de recherche internationale sur le sujet, ces résultats sont souvent méconnus de la communauté enseignante dans le supérieur. Qu'en est-il alors actuellement pour nos étudiants ? Que pensent-ils, ont-ils une vision Newtonienne de la mécanique ?

1.2 Le Force Concept Inventory

Le Force Concept Inventory [4, 5] a été utilisé comme outils de mesure afin d'identifier les mauvaises conceptions des étudiants. Il se présente comme un test de type QCM de 30 questions avec 5 réponses possibles par questions dont une seule est la bonne. Les questions sont toutes qualitatives (aucun calcul n'est nécessaire pour y répondre) et les questions portent sur des cas concrets. Les fausses réponses proposées (les distracteurs) reflètent les réponses habituelles des étudiants et permettent d'identifier les mauvaises conceptions des étudiants identifiées par la littérature. Les questions posées portent sur les 3 lois de Newton et un étudiant avec un Bac S peut y répondre correctement. À la lecture du test, les enseignants de mécanique en L1 considèrent en général le test comme « facile » pour des étudiants ayant suivi leur cours et sont bien souvent surpris des résultats de leurs élèves. Des exemples de questions sont présentés dans la partie 3 de cet article. La question 30 (section 3.2) est un bon exemple représentatif des questions posées, traitant de la confusion habituelle entre force et vitesse. Ce test est reconnu comme la référence internationale pour évaluer la compréhension de la mécanique Newtonienne [3, 5].

1.2 Dispositif expérimental

Le FCI a été administré à 1 236 étudiants, dont 860 étudiants inscrits à l'Université, 34 en IUT et 342 en école d'ingénieurs. L'ensemble regroupe 9 formations de niveau L1 (995 étudiants), L2 (60) et L3 (181). Le tableau 1 présente les différents groupes. La première colonne est un numéro d'identifiant utilisé dans l'article. Les différentes modalités de passages du test sont détaillées en annexe. Au niveau L1, les tests ont été effectués avant l'enseignement de mécanique et les connaissances reposent donc sur les acquis de terminale.

2 Résultats par institutions

Les résultats synthétiques du test pour les différentes institutions sont regroupés dans le Tableau 1. Le score est exprimé en pourcentage : un score de 100 % correspond au nombre maximal de réponses justes, soit 30 sur 30. Le score médian est présenté. Ainsi, on peut lire que la moitié des étudiants de 1ère année de l'Université dans le parcours Sciences Fondamentales et Appliquées (SFA) ont un score inférieur ou égal à 37 %.

Id.	Institution	Spécialité	Niveau post bac	Nb étudiants	Score médian
1	École d'ingénieur privée	Agriculture	1	191	33 %
2	École d'ingénieur privée	Cycle préparatoire IngéSup	1	65	37 %
3	Université	Sciences Fondamentales et Appliquées	1	739	37 %
4	IUT	Génie Industriel et Maintenance	2	34	43 %
5	Université	Mécanique	2	26	47 %
6	Université	Génie Civil	3	71	37 %
7	Université	Mécanique	3	24	50 %
8	École d'ingénieur	Mathématiques appliquées	3	44	48 %
9	École d'ingénieur	Mécanique	3	42	70 %

Tableau 1: Caractéristiques et score médian des différentes institutions

L'histogramme des scores pour les L1 SFA de l'Université est présenté Figure 1. Ce parcours correspond aux étudiants se destinant à des études en mathématiques, informatique, sciences physiques ou chimie. Les sciences du vivant et de la terre ne sont pas incluses. Au vu du faible nombre d'étudiants présent dans les autres formations, il a été choisi de présenter la fonction de répartition plutôt que l'histogramme des notes pour permettre une comparaison plus claire du niveau des étudiants. La fonction de répartition indique, pour une valeur choisie en abscisse, le pourcentage d'étudiants qui ont un score inférieur ou égal à cette valeur. Les résultats obtenus pour les différents niveaux post-bac sont regroupés sur les Figures 2, 3 et 4. On peut lire par exemple sur la Figure 2 qu'environ 80 % des élèves en L1 SFA à l'Université ont un score inférieur ou égal à 60 %.

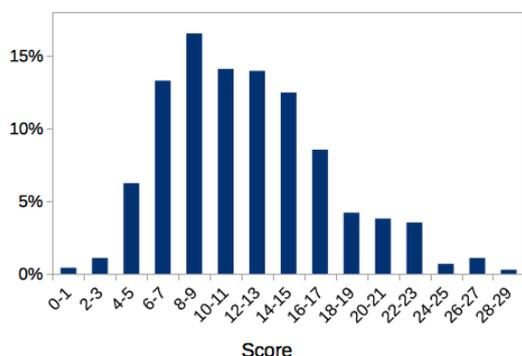


Figure 1: Histogramme des scores pour les L1 SFA de l'Université

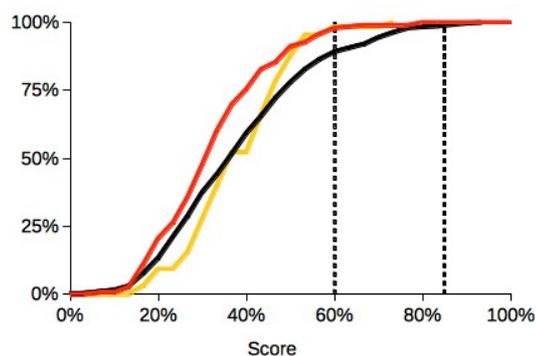


Figure 2: Fonction de répartition en L1.
-- : 1, - - : 2, - - : 3

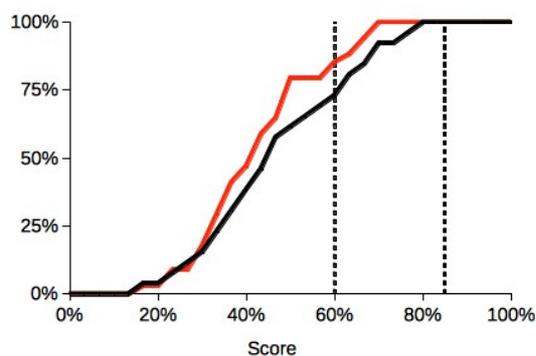


Figure 3: Fonction de répartition en L2.
-- : 4, - - : 5

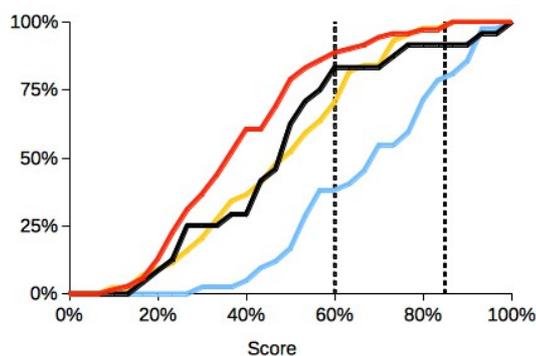


Figure 4: Fonction de répartition en L3.
-- : 6, - - : 7, - - : 8, - - : 9

Le test portant uniquement sur des notions de niveau Terminal S, on pourrait attendre un score proche de 100 % pour tous les étudiants. Cependant les résultats indiquent des scores très inférieurs. À titre indicatif, deux seuils ont été définis par les auteurs du test [5] : le score de 60 % comme seuil « d'entrée » dans la compréhension de la mécanique Newtonienne, et 85 % comme seuil de maîtrise. Ces deux seuils sont reportés sur les Figures 2, 3 et 4. Au vu de ces critères, il est clair qu'extrêmement peu d'étudiants maîtrisent les concepts de la mécanique, aussi bien en L1 qu'en L3. Dans l'échantillon considéré, même pour le groupe le meilleur (école d'ingénieur en mécanique niveau L3) à peine 25 % seulement d'entre eux maîtrisent la mécanique, pourtant une base de leur spécialité et environ 40 % d'entre eux sont en dessous de seuil de début de compréhension. Au niveau L1, c'est plus de 80 % des élèves qui sont en dessous du seuil de début de compréhension.

Au regard du score global au test, on peut conclure pour l'échantillon considéré que :

- les élèves entrants en 1^{ère} année dans le supérieur ont pour la très grande majorité un niveau de compréhension de la mécanique Newtonienne extrêmement faible et ont une vision plus proche de celle d'Aristote que de celle de Newton.
- les élèves au niveau L3 ont un score, certes meilleur, mais cependant trop faible. On peut affirmer que plus de deux tiers d'entre eux ne raisonnent pas avec les principes Newtoniens.

3 Analyse des préconceptions

Dans cette partie nous proposons une analyse détaillée des mauvaises conceptions des étudiants en regardant le résultat par groupement de questions. Les réussites aux questions seront indiquées pour les 1^{ère} année SFA de l'Université (1), pour les étudiants niveau L3 en école d'ingénieur en mathématique appliquée (8) et pour les étudiants niveau L3 en école d'ingénieur en mécanique (9).

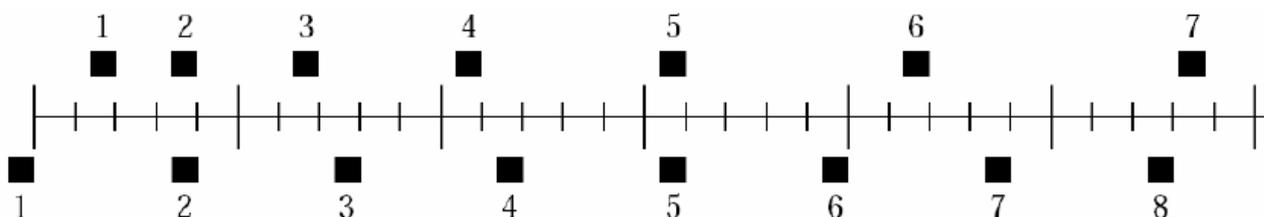
3.1 La cinématique

La maîtrise de la mécanique Newtonienne passe par une description précise du mouvement. Or les étudiants ont parfois une notion floue de celui-ci, confondant alors position, vitesse et accélération.

Voici un exemple de question du FCI qui permet d'évaluer cette compréhension :

Question 19

Les carrés numérotés de la figure suivante représentent la position de deux blocs à des intervalles de 0,20 s. Les blocs se déplacent vers la droite.



Y a-t-il un point de leur trajectoire où les blocs ont la même vitesse ?

1. Non.
2. Oui, à l'instant 2.
3. Oui, à l'instant 5.

4. Oui, aux instants 2 et 5.
5. Oui, à un certain moment dans l'intervalle entre les instants 3 et 4.

Les étudiants ne maîtrisant pas cette notion répondent en majorité la réponse 4, confondant vitesse et position.

Formation	% correct
Université / L1 / Sciences Fondamentales et Appliquées	70 %
École d'ingénieur / L3 / Mathématiques appliquées	69 %
École d'ingénieur / L3 / Mécanique	81 %

Tableau 2: Score à la question 19. Confusion vitesse et position.

3.2 Le principe d'inertie

Le repos comme état de référence

D'après le principe d'inertie, si la somme des forces extérieures sur un objet est nulle, alors son mouvement est rectiligne et sa vitesse est constante. Or une partie des étudiants pensent que s'il n'y a plus de force « active » exercée sur l'objet, celui-ci va forcément s'arrêter. Ils considèrent donc le repos comme l'état de référence.

Voici un exemple de question du FCI qui permet d'évaluer cette compréhension :

Question 10

La figure illustre un palet de hockey vue du dessus qui glisse à vitesse constante V_0 en ligne droite du point P au point Q, sur une surface horizontale sans friction. Les forces exercées par l'air sont négligeables. Quand le palet atteint le point Q, il reçoit un rapide coup horizontal orienté dans la direction de la flèche en gras. Si le palet avait été au repos au point P, le coup lui aurait donné une vitesse horizontale V_c dans la direction du coup.



Le long de la trajectoire sans friction choisie à la question 8, la vitesse du palet après qu'il ait reçu le coup

1. est constante.
2. augmente continuellement.
3. diminue continuellement.
4. augmente pendant un certain temps, puis diminue par la suite.
5. est constante pendant un certain temps, puis diminue par la suite.

Les étudiants ne maîtrisant pas cette notion répondent que la vitesse diminue par la suite, indiquant pour eux le repos comme état de référence.

Formation	% correct
Université / L1 / Sciences Fondamentales et Appliquées	47 %
École d'ingénieur / L3 / Mathématiques appliquées	55 %
École d'ingénieur / L3 / Mécanique	74 %

Tableau 3: Score à la question 10. État de repos comme référence.

Nécessité d'une force pour maintenir le mouvement

Si les étudiants considèrent le repos comme état de référence, alors la conclusion logique est la nécessité d'une force pour maintenir un mouvement. Ainsi, au moment d'établir un bilan des forces, les étudiants ajoutent souvent une force dans la direction du mouvement, même si il n'y en a pas. La vitesse est alors perçue comme une force.

Voici un exemple de question du FCI qui permet d'évaluer cette compréhension :

Question 30

Malgré un vent très fort, une joueuse de tennis arrive à frapper la balle avec sa raquette pour que la balle passe par-dessus le filet jusque sur le terrain de son adversaire.

Considérez les forces suivantes :

- A. la force de gravité vers le bas.
- B. la force exercée par la frappe.
- C. la force exercée par l'air.

Laquelle (lesquelles) de ces forces agit (agissent) sur la balle de tennis alors qu'elle n'est plus en contact avec la raquette et qu'elle n'a pas encore touché le sol ?

1. A seulement
2. A et B
3. A et C
4. B et C
5. A, B et C

Les étudiants ne maîtrisant pas cette notion répondent en majorité la réponse 5, indiquant pour eux la nécessité d'une force pour assurer un mouvement.

Formation	% correct
Université / L1 / Sciences Fondamentales et Appliquées	36 %
École d'ingénieur / L3 / Mathématiques appliquées	70 %
École d'ingénieur / L3 / Mécanique	81 %

Tableau 4: Score à la question 30. Présence d'une force dans la direction du mouvement.

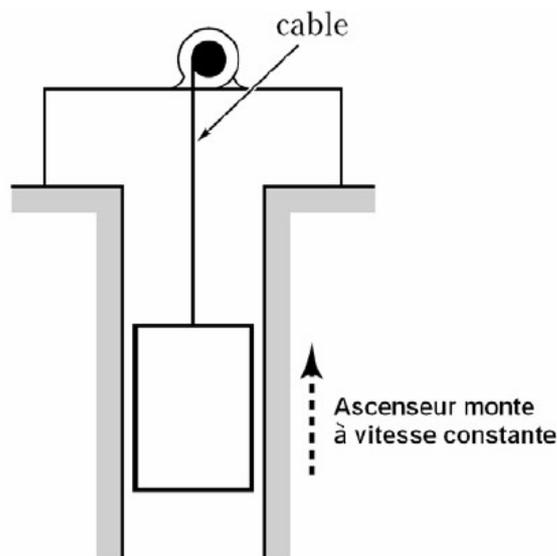
Si il existe réellement une force dans la direction de la vitesse, alors puisque l'objet se déplace, cette force est plus forte que celles qui lui sont opposées. Ce raisonnement est utilisé par les étudiants, même si l'objet se déplace à vitesse constante.

La question suivante teste ce raisonnement :

Question 17

Un câble d'acier tire un ascenseur pour qu'il monte à vitesse constante, tel qu'illustré dans la figure ci-dessous. Tous les effets de frottements sont négligeables. Dans cette situation, les forces appliquées sur l'ascenseur sont telles que

1. la force du câble dirigée vers le haut est plus grande que la force de gravité dirigée vers le bas.
2. la force du câble dirigée vers le haut est égale à la force de gravité dirigée vers le bas.
3. la force du câble dirigée vers le haut est plus petite que la force de gravité dirigée vers le bas.
4. aucune de ces réponses. L'ascenseur monte car le câble raccourci et non à cause d'une force vers le haut exercée par le câble sur l'ascenseur.



Les étudiants ne maîtrisant pas cette notion répondent en majorité la réponse 1 : puisque l'ascenseur monte, c'est que la force vers le haut est plus forte que la force vers le bas.

Formation	% correct
Université / L1 / Sciences Fondamentales et Appliquées	14 %
École d'ingénieur / L3 / Mathématiques appliquées	19 %
École d'ingénieur / L3 / Mécanique	31 %

Tableau 5: Score à la question 17. Non application du principe d'inertie.

On observe cette fois-ci des scores très faibles pour l'ensemble des groupes testés. Ainsi, même au niveau L3, plus de deux tiers des étudiants ne maîtrisent pas le principe d'inertie.

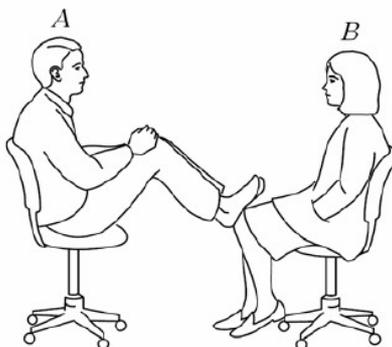
3.5 La loi des actions réciproques

La troisième loi de Newton, qui stipule que la force d'un objet A sur un objet B est égale en norme et opposée à la force de l'objet B sur l'objet A est d'apparence très simple mais souvent non réellement possédée par les étudiants. En fonction des caractéristiques des objets en interaction (leur masse, leur vitesse, le fait de "pousser" et l'accélération [6]) la force d'un objet sur l'autre sera plus grande. Par exemple, si l'objet A pousse l'objet B et que ce dernier recule, alors les étudiants diront que A exerce une force plus forte sur B que B n'exerce sur A.

Voici un exemple de question qui permet d'évaluer cette compréhension :

Question 28

Dans la figure ci-dessous, l'élève A a une masse de 75 kg et l'élève B a une masse de 57 kg. Ils sont assis face à face sur des chaises identiques. L'élève A place ses pieds nus sur les genoux de l'élève B, tel qu'illustré. Puis, l'élève A pousse soudainement sur les genoux de l'élève B, provoquant le mouvement des deux chaises.



Durant la poussée alors que les deux élèves sont toujours en contact,

1. aucun des élèves n'exerce une force sur l'autre.
2. l'élève A exerce une force sur l'élève B, mais l'élève B n'exerce pas de force sur A.
3. chaque élève exerce une force sur l'autre, mais l'élève B exerce une force plus grande.
4. chaque élève exerce une force sur l'autre, mais l'élève A exerce une force plus grande.
5. chaque élève exerce autant de force l'un sur l'autre.

Les élèves n'ayant pas intégré la troisième loi de Newton répondent en majorité la réponse 4.

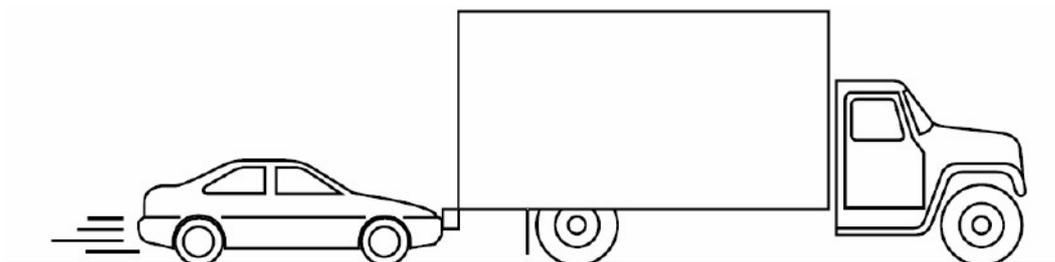
Formation	% correct
Université / L1 / Sciences Fondamentales et Appliquées	36 %
École d'ingénieur / L3 / Mathématiques appliquées	67 %
École d'ingénieur / L3 / Mécanique	71 %

Tableau 6: Score à la question 28. Loi des actions réciproques lorsque les masses sont différentes.

Lorsque l'accélération intervient, les scores sont beaucoup plus faibles. La question suivante illustre ce résultat.

Question 15

Un gros camion tombe en panne sur une route. Pour retourner en ville, il se fait pousser par une voiture citadine, tel qu'illustré dans la figure ci-dessous.



Pendant que la voiture, poussant toujours le camion, augmente sa vitesse jusqu'à sa vitesse de croisière,

1. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est aussi grande que la force du camion sur la voiture.
2. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est plus petite que la force du camion sur la voiture.
3. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est plus grande que la force du camion sur la voiture.
4. le moteur de la voiture est en marche, donc la voiture pousse le camion. Par contre, le moteur du camion est à l'arrêt, donc le camion ne peut pas exercer une force sur la voiture. Le camion n'est poussé vers l'avant que parce qu'il est dans le chemin de la voiture.
5. ni la voiture ni le camion n'exercent de forces l'un sur l'autre. Le camion n'est poussé vers l'avant que parce qu'il est dans le chemin de la voiture.

Les élèves n'ayant pas intégré la troisième loi de Newton répondent en majorité la réponse 3.

Formation	% correct
Université / L1 / Sciences Fondamentales et Appliquées	22 %
École d'ingénieur / L3 / Mathématiques appliquées	43 %
École d'ingénieur / L3 / Mécanique	55 %

Tableau 7: Score à la question 15. Loi des actions réciproques lorsque les objets accélèrent.

4 Conclusions : un appel à la communauté

L'objectif de cette étude n'est pas de montrer que les étudiants sont "nuls" mais d'identifier le plus précisément possible leurs difficultés et de reconnaître que la mécanique Newtonienne introduit des concepts non intuitifs. Au vu des résultats, le constat est alarmant : une grande majorité de nos étudiants sortiront diplômés, soit d'une licence, soit d'un diplôme d'ingénieur, sans réellement avoir intégré les principes Newtoniens.

Ce constat a été établi sur un échantillon conséquent en essayant d'être le plus représentatif possible de la diversité des parcours universitaires français. Cependant, il serait intéressant d'étendre l'étude à

d'autres formations : étudiants en terminale, en classes prépa, dans d'autres IUT et écoles d'ingénieurs et jusqu'au niveau master. Les auteurs profitent alors du congrès pour demander si d'autres responsables de formations accepteraient de tester leurs étudiants afin de pouvoir obtenir une vision la plus fiable possible du niveau réel de compréhension de nos étudiants en France.

Enfin, ce constat est une première étape dont le but est l'amélioration continue de nos formations. Comme l'a montré la littérature anglo-saxonne, l'enseignement traditionnel modifie peu les préconceptions des étudiants alors que l'enseignement interactif obtient de bien meilleurs résultats [3]. Cet enseignement a déjà été testé en France [7, 8] et les résultats sont très satisfaisants. Les personnes intéressées par l'utilisation de ses méthodes peuvent contacter les auteurs pour établir des collaborations.

Remerciements :

Ce projet a été soutenu par l'Initiative d'excellence (IDEX) de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées. Les auteurs remercient tous les enseignants et chefs de départements qui ont à la fois accepté de faire passer le test aux étudiants mais aussi de rendre les résultats publics.

Annexe

Id	Lieu	Durée	Participation	Date	Rq.
1	présentiel	1h30	obligatoire	janvier 2015	
2	présentiel	1h	obligatoire	février 2015	*
3	à distance (moodle)	1h30	valorisée	septembre 2014	
4	présentiel	1h30	obligatoire	décembre 2014	
5	présentiel	1h30	souhaitée	novembre 2014	
6	présentiel	1h30	obligatoire	février 2015	
7	présentiel	1h30	souhaitée	décembre 2014	
8	présentiel	1h	obligatoire	février 2015	**
9	présentiel	1h30	souhaitée	février 2015	

Tableau 8: Conditions de passage du test

Remarques :

* 22 questions uniquement ont été traitées. Les scores ont été ajustés suivant la loi :

$$\text{score} = \text{total}/22*0.93 + 0.029$$

* due à la durée limitée du test, une partie des élèves qui n'avaient pas terminé ont bénéficié d'un ajustement de leur score en suivant une proportionnalité.

La présence est dite souhaitée si le test était inscrit dans l'emploi du temps mais non affiché comme examen.

Références

- [1] P. C. Peters, Even honors students have conceptual difficulties with physics. *American Journal of Physics* 50 (1982) 501–508
- [2] Viennot, L. *Raisonnement en physique: La part du sens commun*, De Boeck Supérieur, 1996
- [3] R.R. Hake, Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *American Journal of Physics* 66 (1998) 64–74

- [4] D. Hestenes, M. Wells, G. Swackhamer, Force concept inventory, *The Physics Teacher* 30 (1992) 141–158
- [5] A. Savinainen, P. Scott, The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning. *Phys. Educ.* 37 (2002) 45
- [6] L. Bao, K. Hogg, D. Zollman, Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law. *American Journal of Physics* 70, (2002) 766–778
- [7] A. L. Rudolph, B. Lamine, M. Joyce, H. Vignolles, D. Consiglio, Introduction of interactive learning into French university physics classrooms. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 10, 010103 (2014)
- [8] J. F. Parmentier, B. Lamine, S. Bonnafé, Changer les conceptions en mécanique des étudiants de L1, Congrès Français de Mécanique, Lyon, 24 au 28 août 2015