

Compréhension des 3 lois de Newton chez des élèves ingénieurs

J.-F. PARMENTIER^{a, b}, Julitte Huez^{c, d}, Dominique Poquillon^{c, d}

a. CERFACS, 42 avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse. jf.parmentier@gmail.com

b. Institut de Recherche pour l'Enseignement des Sciences, Université Toulouse III – Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31330 Toulouse

c. Toulouse INP-ENSIACET, 4 allée Emile Monso, 31030 Toulouse Cedex 04

d. Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux (CIRIMAT) – CIRIMAT, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS

Résumé :

L'Université Fédérale de Toulouse s'est investie depuis plusieurs années dans la transformation pédagogique de l'enseignement supérieur. Or, assurer une transformation pédagogique effective nécessite la présence d'indicateurs de mesure. Dans ce cadre, deux enseignants-chercheurs contribuant à l'enseignement de la mécanique à l'INP-ENSIACET ont choisi de mesurer systématiquement la compréhension conceptuelle des lois de Newton chez les étudiants suivant leur cours. En effet, depuis une vingtaine d'années, la recherche internationale a montré que ces concepts sont souvent mal compris des étudiants. La mesure s'est effectuée en utilisant une adaptation du Force Concept Inventory, proposée par l'Association Française de Mécanique, et a concerné les étudiants de L3 et M1 sur quatre années consécutives. L'analyse des résultats montre d'une part que les étudiants entrants possèdent des lacunes sur la notion de force, le principe d'inertie et la loi des actions réciproques. D'autre part une progression significative entre le L3 et le M1 est observée, mais avec un résultat final encore faible pour les attendus de niveau master : environ 60% des étudiants maîtrisant la notion de force, 44% le principe d'inertie et 65% la loi des actions réciproques.

Abstract :

The Université Fédérale de Toulouse has been involved for several years in the pedagogical transformation of higher education. However, ensuring an effective pedagogical transformation requires the presence of metrics. In this context, two lecturers contributing to the teaching of mechanics at INP-ENSIACET have chosen to systematically measure the conceptual understanding of Newton's laws among students in their courses. Indeed, over the past twenty years, international research has shown that these concepts are often misunderstood by students. The measurement was carried out using an adaptation of the Force Concept Inventory, proposed by the French Mechanical Association, and concerned students in L3 and M1 for four consecutive years. The analysis of the results shows, on the one hand, that incoming students have serious shortcomings in the notion of force, the principle of inertia and the law of reciprocal actions. On the other hand, a significant progression between L3 and M1 has been observed, but with a final result that is still low for the expected master's level: 60% of students master the notion of force, 44% the principle of inertia and 65% the law of reciprocal actions.

Mots clefs : mécanique, conception, Force Concept Inventory, mesure

1 Introduction

1.1 Toulouse-INP et la transformation pédagogique

Toulouse-INP, regroupement de 6 écoles d'ingénieurs, s'est engagé depuis plus de 7 ans dans la transformation pédagogique de l'enseignement supérieur et a structuré pour ce faire un service de soutien à la pédagogie. L'IDEFI DEFI DIVERSITE, porté conjointement avec l'INSA Toulouse, l'ISAE-SUPAERO et Institut Mines Telecom- Albi, a donné un véritable élan à la transition éducative de l'ensemble des écoles d'ingénieurs de l'Université Fédérale de Toulouse, en permettant, entre autres, dès 2012, la mise en place de la formation à la pédagogie des enseignants néo-entrants et en 2014, la prise de fonction des conseillers pédagogiques de l'enseignement supérieur au sein des écoles et chargés d'accompagner les enseignants chercheurs (EC) dans leur pratique professionnelle d'enseignement. L'enjeu pour Toulouse-INP est de réunir les conditions favorables au processus de la transformation pédagogique, et pour cela il convient, grâce à des analyses quantitatives et qualitatives, de mieux comprendre ce qu'il convient de transformer et comment cette transformation peut être opérée. C'est dans ce contexte que la présente étude a pris place.

L'INP-ENSIACET est une école publique d'ingénieurs en 3 ans. Son département d'enseignement matériaux regroupe une cinquantaine d'étudiants par an en L3 et en M1. Il vise notamment le développement de compétences en mécanique, allant de la mécanique du point à la mécanique de la rupture en passant par la mécanique des milieux continus. Les étudiants proviennent à plus de 70% de classe préparatoire aux grandes écoles, les 30% restant étant issus de classe préparatoire intégrée ou d'IUT.

Deux EC de ce département intervenant sur toute la durée du cursus sur ces notions de mécaniques s'interrogent sur les effets de leurs enseignements sur le développement de ces compétences. Afin d'amener des éléments de compréhension à ce questionnement, elles ont cherché à évaluer les connaissances et capacités des étudiants en amont de la formation, puis à suivre leurs évolutions au fil de la formation.

1.2 La compréhension des lois de Newton

Depuis les années 80, la recherche internationale a montré la présence dominante chez les étudiants de conceptions erronées en mécanique qui vont à l'encontre des contenus enseignés [1-4]. Or l'identification et la prise en compte de ses conceptions fausses par l'enseignant apparaissent, dans la littérature issue de la recherche en enseignement, comme des éléments de premier ordre pour améliorer les apprentissages [5].

En 2015, une étude présentée au CFM [6] a mis en valeur la présence très répandue de ces conceptions dans le contexte de l'enseignement supérieur en France (université, IUT et écoles d'ingénieurs). La mesure, pour quantifier et rendre compte de ces conceptions, s'est effectuée en utilisant le Force Concept Inventory [7, 8], un questionnaire à choix multiples présentant 30 situations simples et demandant aux étudiants d'appliquer newtonienne de manière qualitative les principes de la mécanique newtonienne.

Suite à cette étude, l'Association Française de Mécanique (AFM) a mené une action de systématisation et de généralisation de l'usage de tests issus de la recherche pour mesurer les compétences dans les différents champs de la mécanique [9]. Plusieurs tests sont actuellement proposés, permettant de mesurer

les concepts fondamentaux (force, inertie, actions réciproques), la cinématique, la statique des solides et la mécanique des fluides.

Cet article présente les résultats obtenus par des évaluations systématiques menées entre 2016 et 2019 auprès d'étudiants de première et deuxième années issus du département matériaux de l'INP-ENSIACET. Le test utilisé est celui proposé par l'AFM qui permet de quantifier les principes fondamentaux de la mécanique newtonienne.

2 Le test utilisé

2.1 Description générale

La mesure de la compréhension des principes de bases de la mécanique newtonienne s'est effectuée grâce à une adaptation du Force Concept Inventory¹. Le test en résultant comporte 15 questions de type questions à choix unique et porte sur trois thématiques (notion de force, principe d'inertie et loi des actions réciproques), chacune des thématiques étant testée par 5 questions. Le résultat du test fournit, pour chaque étudiant, trois notes sur cinq points correspondant à chaque thématique. Un score total n'est pas calculé, car les thématiques sont indépendantes les unes des autres. Le seuil de compréhension acceptable d'une thématique est défini arbitrairement à 4 ou 5 réponses correctes. C'est-à-dire qu'un étudiant est considéré comme ayant compris suffisamment une notion s'il a au plus une erreur sur les 5 questions portant sur la notion. Au vu du niveau de compréhension visé, on s'attend à ce que des étudiants de niveau L3 et M1 obtiennent 100% des réponses correctes sur chacune des thématiques. Le seuil arbitraire de « 4 ou plus » réponses correctes sur 5 est là pour compenser d'éventuelles erreurs d'inattention. Le questionnaire ayant pour objectif de mesurer la compréhension d'un groupe d'individu, le résultat final se compose des proportions d'étudiants ayant obtenu un score donné, entre 0 et 5, sur chacune des thématiques. La proportion d'étudiants maîtrisant de manière acceptable les thématiques, c'est-à-dire ayant un score supérieur ou égal à 4 pour une thématique donnée, est aussi fournie.

2.2 Le type des questions

Les trois thématiques testées sont liées à trois conceptions erronées couramment rencontrées chez les étudiants :

- une force est quelque chose d'*acquis* par un objet lui permettant de se déplacer
- la résultante des forces est dans la direction du mouvement de l'objet,
- *le plus fort* exerce une force plus forte sur *le plus faible* que *le plus faible* sur *le plus fort*.

Pour savoir si les étudiants possèdent ces conceptions, les questions du test présentent des situations simples et concrètes, mais non formalisées, dans lesquelles les étudiants doivent trouver par eux même le principe à appliquer afin de répondre à la question. Il n'y a aucun calcul à faire. On tente donc de répondre à la question suivante : « Les étudiants sont-ils capables, dans une situation simple, de faire appel aux principes de la mécanique newtonienne afin de répondre à une question qualitative ? ».

¹ Cette adaptation améliore la fiabilité du test, en particulier sa cohérence interne [10] : les réponses d'étudiants aux questions mesurant chacune des thématiques étant fortement corrélées entre elles et décorrélées des autres thématiques.

Les questions du test présentent des situations mettant en exergue les trois conceptions fausses couramment rencontrées chez les étudiants. Chacune des questions demande à l'étudiant de choisir la bonne réponse parmi les choix proposés. Outre la réponse scientifiquement valable, les propositions reflètent les conceptions erronées des étudiants. Ainsi, le taux de réponses correctes dues au hasard est extrêmement faible [11].

Les trois sections suivantes présentent plus en détail les trois thématiques testées. Un exemple de question est détaillé dans chaque cas. Pour des raisons de validité du test (les questions ne devant pas être diffusées afin d'assurer que les étudiants n'y aient pas accès), les questions présentées en exemples ne sont *pas* celles du test. Mais elles sont similaires à celles utilisées et permettent d'illustrer les conceptions fausses testées.

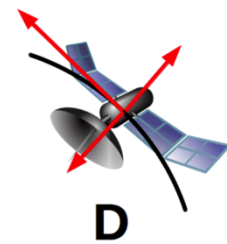
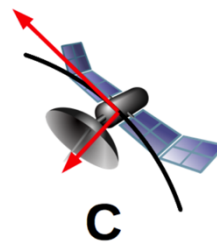
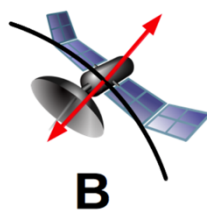
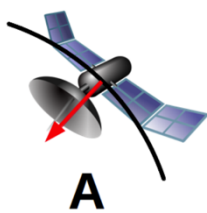
2.3 Thématique 1 : Une force comme chose acquise pour se déplacer

Capacité : s'avoir effectuer un bilan des forces lorsqu'un objet se déplace.

Conception fausse : la force est quelque chose d'acquis par un objet (et non pas exercée par un objet sur un autre) et celle-ci permet d'aller dans la direction du mouvement (et non de l'accélération).

Exemple de question :

Un satellite tourne en rond autour de la Terre à vitesse constante, dans le sens indiqué sur le schéma. Quel diagramme correspond le mieux aux forces appliquées sur le satellite ?



La bonne réponse est le choix A. Les étudiants possédant la conception fausse répondent les réponses C ou D : il y a la gravité, une autre pour faire avancer le satellite dans la direction de son mouvement puis éventuellement une force pour l'empêcher de tomber.

Lorsqu'on prend l'exemple d'une balle lancée en l'air, les étudiants rajoutent une force dans la direction du mouvement de la balle, notamment lorsque celle-ci monte. Cette force est d'après eux « la force que la main a donnée à la balle » et existe même lorsque la main ne touche plus la balle. Il y a une confusion entre force et vitesse. À noter que les deux se représentent graphiquement et mathématiquement de la même manière, à savoir par des vecteurs.

2.4 Thématique 2 : Principe d'inertie

Capacité : savoir appliquer le principe d'inertie pour conclure que la somme des forces est nulle lorsque la vitesse est constante.

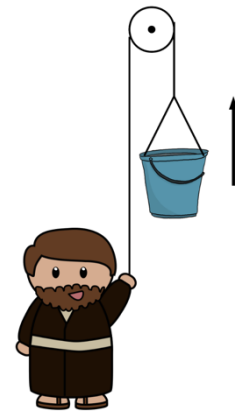
Conception fausse : la résultante des forces est dans la direction du mouvement de l'objet.

Exemple de question :

Pour faire son entraînement physique, John soulève un seau attaché à une poulie. La poulie est parfaitement huilée (sans frottement). Pendant que le seau monte à vitesse constante, la force qu'exerce John sur la corde est :

1. plus grande...
2. égale...
3. plus petite...

... que le poids du seau.



La vitesse étant constante, la bonne réponse est le choix 2. Les étudiants possédant la conception fausse répondent le choix 1, c'est-à-dire que la force doit être plus grande pour pouvoir faire monter le seau : « Si la force était plus faible, le seau descendrait ! ».

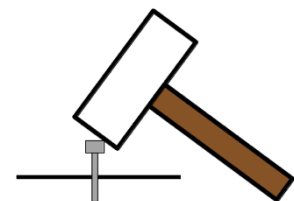
2.5 Thématique 3 : Loi des actions réciproques

Capacité : savoir reconnaître et appliquer la troisième loi de Newton (les actions réciproques)

Conception fausse : *le plus fort* exerce une force plus grande sur *le plus faible* que *le plus faible* sur *le plus fort*. La notion de *fort/faible* peut être vue suivant le contexte comme le plus gros, le plus rapide...

Exemple de question :

Vous enfoncez un clou dans une planche en bois avec un marteau. Pendant que le marteau pousse le clou et que celui-ci s'enfonce rapidement dans la planche, alors :



1. le marteau exerce une force sur le clou, mais le clou n'exerce pas de force sur le marteau.
2. la force qu'exerce le marteau sur le clou est plus grande que la force qu'exerce le clou sur le marteau.
3. la force qu'exerce le marteau sur le clou est plus petite que la force qu'exerce le clou sur le marteau.
4. les deux forces sont de même intensité
5. ni le marteau ni le clou n'exercent de forces l'un sur l'autre. Le clou est simplement poussé, car il est dans le chemin du marteau.

La bonne réponse est le choix numéro 4. Les étudiants possédant la conception fautive répondent le choix numéro 2. Leur explication est : « Si les deux forces étaient égales, alors les objets ne bougeraient pas. Si le marteau pousse le clou, c'est bien qu'il exerce une force plus forte sur le clou que le clou n'exerce sur le marteau. ».

Cette conception fautive est reliée à une difficulté à isoler le système et considérer les forces extérieures agissant dessus.

3 Résultats

3.1 Collecte des données

La collecte des données s'est effectuée sur les deux premières années de formation et pendant quatre années scolaires, de 2015/2016 à 2018/2019, conduisant à un total de 323 étudiants répartis en 7 groupes (cf. Tableau 1). Trois promotions de première année 1A (L3) ont effectué le test, et quatre de deuxième année 2A (M1). Au final, trois cohortes d'étudiants ont été suivies d'une année sur l'autre, une cohorte étant définie comme un groupe identifié d'individus (la cohorte 2 n'ayant été testée qu'en deuxième année).

Le protocole pour l'administration du test suivait les consignes recommandées par la littérature [12]. L'énoncé était imprimé au format papier et chaque étudiant disposait d'un dispositif numérique lui permettant d'enregistrer et de transmettre automatiquement ses réponses. Chaque étudiant pouvait compléter le test à son propre rythme et obtenait automatiquement un score à la fin donné par son nombre de réponses correctes. Le score à chacune des réponses n'était pas fourni. La durée maximale n'était pas limitée afin de permettre aux étudiants de prendre le temps nécessaire de réfléchir à chacune des questions. En moyenne, les étudiants mettaient 20 min pour y répondre. Le score total obtenu ne comptait pas dans la scolarité. Les étudiants étaient incités à y répondre le mieux possible pour avoir pour eux-mêmes une évaluation de leur propre niveau et pour l'équipe enseignante une évaluation globale afin de mieux adapter la formation au profil des étudiants.

L'enseignement de mécanique de 1A, qui reprenait les principes de la mécanique newtonienne commençait en janvier. Le test était administré au tout début du premier cours. Le test s'effectuait à la même période en 2A. Il y a donc un an d'écart entre les mesures effectuées en 1A et en 2A.

| Promotion | Niveau | Année | Nb. d'étudiants | Cohorte |
|-----------|--------|-----------|-----------------|---------|
| 1A | L3 | 2015/2016 | 51 | C1 |
| 1A | L3 | 2016/2017 | 48 | C3 |
| 1A | L3 | 2017/2018 | 49 | C4 |
| 2A | M1 | 2015/2016 | 36 | C2 |
| 2A | M1 | 2016/2017 | 46 | C1 |
| 2A | M1 | 2017/2018 | 44 | C3 |
| 2A | M1 | 2018/2019 | 49 | C4 |

Tableau 1 : Nombre d'étudiants ayant passé le test par année scolaire et par année du cursus.

3.2 Homogénéité des résultats

Le détail des résultats obtenus est présenté en Annexe, Tableaux Tableau 2 et Tableau 3.

Aucune différence significative n'est observée entre les scores obtenus en 1A pour les trois années (de 2015/2016 à 2017/2018) : p-value = 0.79 (thématique 1), 0.20 (thématique 2) et 0.77 (thématique 3) avec un test exact de Fischer. Il n'y a donc pas de variations fortes de niveau entre les différents étudiants entrants en première année (1A) entre 2015 et 2017. Les données sont fusionnées afin d'obtenir des statistiques plus précises.

Concernant les étudiants de 2A, il n'y a pas de différence significative observée entre les quatre années concernant les thématiques 1 et 2 : p-value = 0.46 (thématique 1) et 0.48 (thématique 2) avec un test exact de Fischer. Il y a cependant une différence significative concernant la thématique 3 (p-value < 5e-4). Une analyse des résultats montre que les étudiants se séparent en deux groupes. D'une part ceux des années 2015/2016 et 2016/2017 (p-value = 0.49 entre les deux années) et d'autre part ceux des années 2017/2018 et 2018/2019 (p-value = 0.21 entre les deux années). La différence de résultat sur la thématique 3 entre les deux groupes est très significative (p-value < 3e-5). Cette différence peut s'expliquer en partie par des changements pédagogiques effectués en 2016/2017 sur le cours de mécanique dispensé en 1A. En effet, suite aux résultats issus des tests réalisés entre 2015 et 2017, les EC ont adapté leur cours pour mettre en valeur fortement la loi des actions réciproques dans de nombreux exemples de situations. Il reste cependant délicat d'isoler les effets de cette modification d'autres facteurs non identifiés et susceptibles de contribuer à ces apprentissages et une telle analyse n'est pas l'objet de cet article. Les données sont donc fusionnées pour les thématiques 1 et 2 sur les quatre années, et par groupe de deux années pour la thématique 3.

3.3 Analyse des résultats

Première année-1A-

Les résultats obtenus sur les 148 étudiants de 1A avant le premier cours de mécanique dispensé à l'ENSIACET sont présentés Figures 1, 2 et 3.

Concernant la thématique 1, on constate qu'un quart des étudiants a répondu faux à l'ensemble des 5 questions portant sur celle-ci, et 11% n'ont obtenu qu'une seule réponse correcte (cf. Figure 1). C'est donc 36% (=25%+11%) des étudiants qui manifestent une incompréhension forte sur la notion même de force. Au final, 20%+26%=46% des étudiants sont au-dessus du seuil de compréhension acceptable pour la thématique 1 (au moins 4 réponses correctes sur 5).

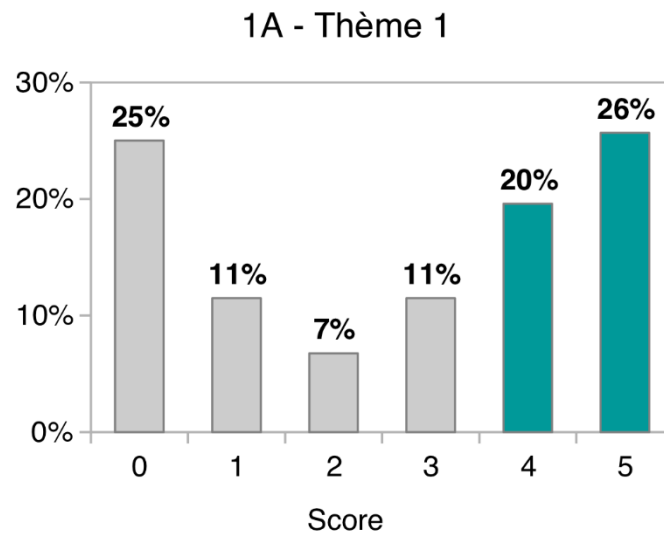


Figure 1 : Résultats obtenus en 1A sur la thématique 1. Le pourcentage représente le nombre d'étudiants ayant obtenu un score donné (sur les 5 questions de la thématique). Les pourcentages correspondant à des scores supérieurs à 4 sont représentés en bleu.

Concernant le principe d'inertie (thématique 2), c'est 45% des étudiants qui n'ont aucune réponse correcte et 14% une seule sur les 5 questions (cf. Figure 2). Il y a seulement 20% (9%+11%) qui sont au-dessus du seuil acceptable de compréhension.

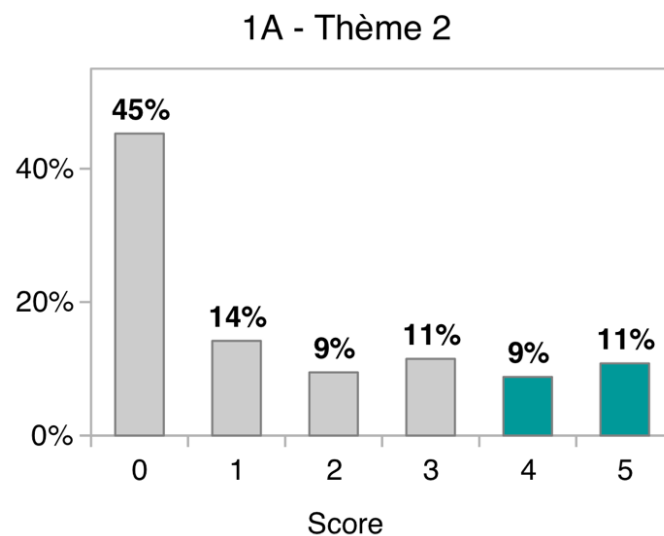


Figure 2 : Résultats obtenus en 1A sur la thématique 2. Le pourcentage représente le nombre d'étudiants ayant obtenu un score donné (sur les 5 questions de la thématique). Les pourcentages correspondant à des scores supérieurs à 4 sont représentés en bleu.

Enfin concernant la thématique trois, la loi des actions réciproques, 37% n'ont aucune réponse correcte et 26% une seule (cf. Figure 3). Seulement 12% sont au-dessus du seuil acceptable de compréhension.

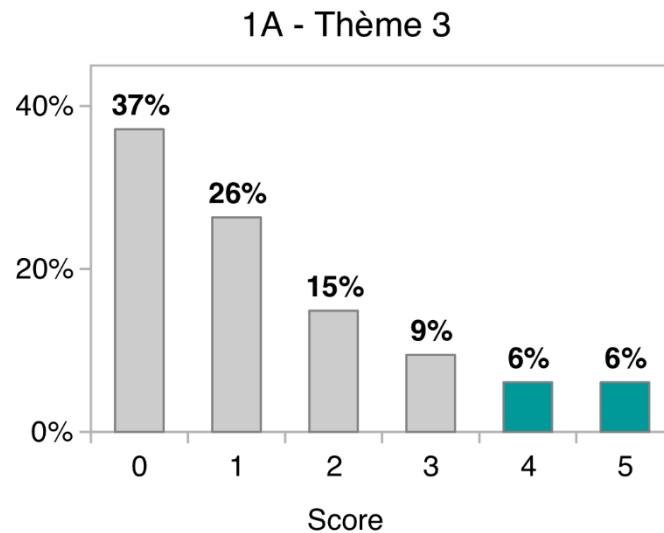


Figure 3 : Résultats obtenus en 1A sur la thématique 3. Le pourcentage représente le nombre d'étudiants ayant obtenu un score donné (sur les 5 questions de la thématique). Les pourcentages correspondant à des scores supérieurs à 4 sont représentés en bleu.

Deuxième année et progression

Les résultats des 175 étudiants de deuxième année sur les thématiques 1 et 2 sont présentés Figure 4. On constate que 60% (25%+35%) dépassent le seuil acceptable de compréhension pour la notion de force, et 44% (20%+24%) pour le principe d'inertie.

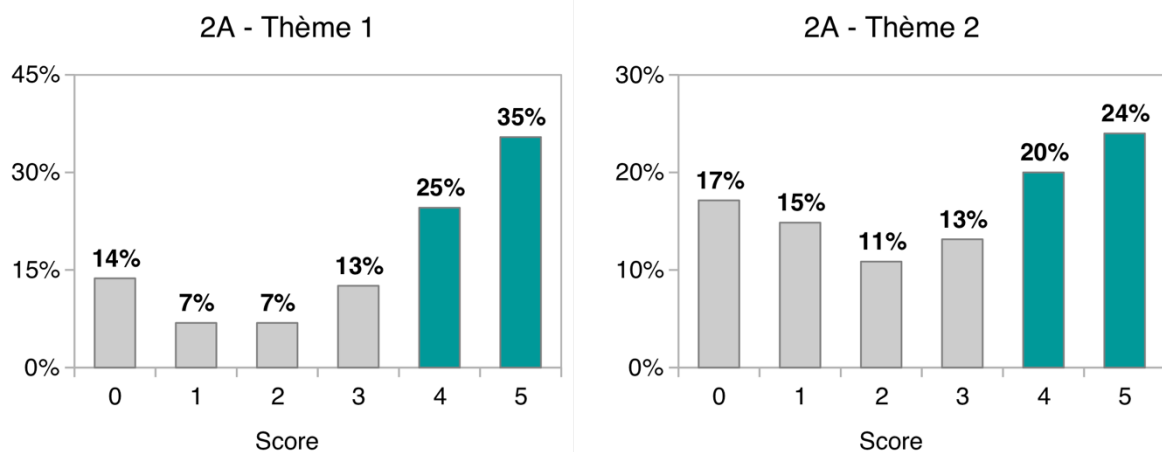


Figure 4 : Résultats obtenus en 2A sur les thématiques 1 et 2. Le pourcentage représente le nombre d'étudiants ayant obtenu un score donné (sur les 5 questions de la thématique). Les pourcentages correspondant à des scores supérieurs à 4 sont représentés en bleu.

La différence sur la thématique 1 en suivant les cohortes (années 2015/2016, 2016/2017 et 2017/2018 pour les 1A et 2016/2017, 2017/2018 et 2018/2019 pour les 2A) est seulement marginalement significative (p -value = 0.056). Au contraire elle est très significative pour la thématique 2 (p -value < $2e-7$). En conclusion, il est certain que les étudiants ont progressé sur le principe d'inertie entre la 1^{re} et la 2^e année : passage de 20% à 46% d'étudiants au-dessus du seuil de compréhension. Il semble que la

progression sur la notion de force ait elle aussi progressé, passant de 45% à 60% d'étudiants au-dessus du seuil.

Concernant la loi des actions réciproques (Figure 5), 30% d'étudiants sont au-dessus du seuil pour les années 2015/2016 et 2016/2017, alors que 65% le sont pour les années 2017/2018 et 2018/2019. Le suivi de cohortes montre pour les deux groupes une progression significative entre la 1A et la 2A (p -value < $4e-4$ pour C1 et < $4e-9$ pour C3 et C4). On est donc passé de 12% de compréhension à 30% avant les modifications du cours et 65% après les modifications.

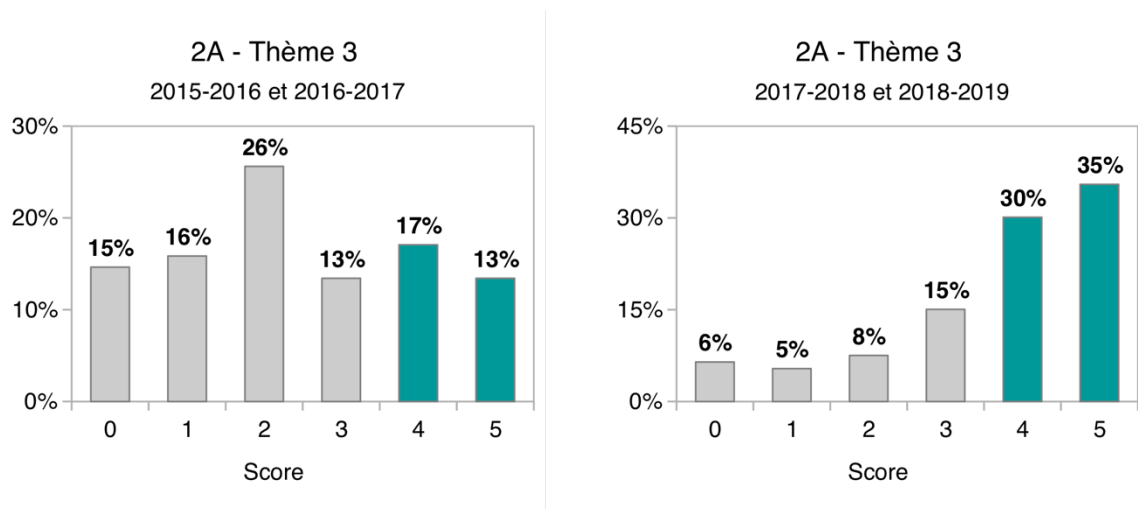


Figure 5 : Résultats obtenus en 2A sur la thématique 3. Le pourcentage représente le nombre d'étudiants ayant obtenu un score donné (sur les 5 questions de la thématique). Les pourcentages correspondant à des scores supérieurs à 4 sont représentés en bleu.

4 Conclusions

L'utilisation répétée d'un test fiable et valide issu de la recherche a permis de mettre en évidence des lacunes fortes des étudiants arrivant à l'école concernant les principes de base de la mécanique newtonienne (notion de force, principe d'inertie et loi des actions réciproques). Bien qu'une progression notable soit observée entre les premières années et les deuxièmes années, le niveau final reste cependant faible au regard des attendus d'un M1 : seulement 60% d'étudiants maîtrisant la notion de force, 44% le principe d'inertie et 65% la loi des actions réciproques. Par ailleurs des premières mesures sur un nombre réduit d'étudiants de M2 semblent montrer que le niveau reste ensuite constant.

L'usage continu de ce test permettra de surveiller l'évolution des capacités, aussi bien en début de cursus qu'en fin de cursus, en particulier au regard de réformes des enseignements de lycée et classes préparatoires, mais aussi des transformations pédagogiques en cours dans l'école.

Ce test ne fournit une mesure que sur l'approche qualitative et conceptuelle des lois de Newton. Une étude similaire sur les aspects calculatoires sur les mêmes principes serait aussi pertinente à mettre en place. Enfin, d'autres domaines, telle la statique des solides, font aussi partie des essentiels du cursus et leurs compréhensions pourraient être aussi mesurés.

Annexe

| 1A | Score : | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------|---------|----|----|---|---|----|----|
| 2015/2016 51 étudiants | Thème 1 | 16 | 6 | 4 | 4 | 8 | 13 |
| | Thème 2 | 26 | 6 | 3 | 7 | 3 | 6 |
| | Thème 3 | 21 | 15 | 8 | 5 | 1 | 1 |
| 2016/2017 48 étudiants | Thème 1 | 10 | 5 | 4 | 9 | 9 | 11 |
| | Thème 2 | 21 | 11 | 3 | 7 | 3 | 3 |
| | Thème 3 | 15 | 14 | 7 | 4 | 4 | 4 |
| 2017/2018 49 étudiants | Thème 1 | 11 | 6 | 2 | 4 | 12 | 14 |
| | Thème 2 | 20 | 4 | 8 | 3 | 7 | 7 |
| | Thème 3 | 19 | 10 | 7 | 5 | 4 | 4 |

Tableau 2 : Résultats obtenus en première année. Les valeurs indiquées correspondent au nombre d'étudiants ayant obtenu un score donné (entre 0 et 5).

| 2A | Score : | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------|---------|----|---|----|---|----|----|
| 2015/2016 36 étudiants | Thème 1 | 3 | 5 | 3 | 4 | 10 | 11 |
| | Thème 2 | 10 | 6 | 3 | 4 | 7 | 6 |
| | Thème 3 | 5 | 6 | 12 | 5 | 6 | 2 |
| 2016/2017 46 étudiants | Thème 1 | 4 | 1 | 3 | 4 | 17 | 17 |
| | Thème 2 | 4 | 6 | 6 | 4 | 11 | 15 |
| | Thème 3 | 7 | 7 | 9 | 6 | 8 | 9 |
| 2017/2018 44 étudiants | Thème 1 | 10 | 2 | 3 | 6 | 8 | 15 |
| | Thème 2 | 10 | 6 | 2 | 9 | 7 | 10 |
| | Thème 3 | 4 | 1 | 4 | 5 | 10 | 20 |
| 2018/2019 49 étudiants | Thème 1 | 7 | 4 | 3 | 8 | 8 | 19 |
| | Thème 2 | 6 | 8 | 8 | 6 | 10 | 11 |
| | Thème 3 | 2 | 4 | 3 | 9 | 18 | 13 |

Tableau 3 : Résultats obtenus en deuxième année. Les valeurs indiquées correspondent au nombre d'étudiants ayant obtenu un score donné (entre 0 et 5).

Références

- [1] Peters, P. C. (1982). Even honors students have conceptual difficulties with physics. *American Journal of Physics*, 50(6).
- [2] Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056–1065.
- [3] Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043–1055.
- [4] Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique: La part du sens commun*. De Boeck Supérieur.
- [5] Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (2000). *How people learn: brain, mind, experience, and school (Expanded Edition)*. Washington, D.C: National Academy Press.

- [6] Parmentier, J.-F., & Lamine, B. (2015). Que comprennent nos étudiants de la mécanique newtonienne? M01 Mini Symp. Formation et Pédagogie. Presented at the Congrès Français de Mécanique, Lyon.
- [7] Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158.
- [8] Henderson, C. (2002). Common Concerns About the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 40(9), 542–547.
- [9] Galpin, T., Delvare, F., Génévaux J.-M., Huilier D. & Parmentier J.-F. (2019). Tests internationaux de mécanique et outils de remédiations : une plateforme pour suivre le niveau d'acquis des concepts de vos étudiants. ? M01 Mini Symp. Formation et Pédagogie. Presented at the Congrès Français de Mécanique, Brest.
- [10] Price, P. C., Jhangiani, R. S., & Chiang, and I.-C. A. (1444694400). *Research Methods in Psychology, Chapter 5*. Retrieved from <https://opentextbc.ca/researchmethods/chapter/reliability-and-validity-of-measurement/>
- [11] Wang, J., & Bao, L. (2010). Analyzing force concept inventory with item response theory. *American Journal of Physics*, 78(10), 1064–1070. <https://doi.org/10.1119/1.3443565>
- [12] Madsen, A., McKagan, S. B., & Sayre, E. C. (2014). Best Practices for Administering Concept Inventories. *arXiv:1404.6500 [physics]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1404.6500>