

Des étudiants et des simulations, ou comment les PhET de Wieman permettent d'améliorer l'apprentissage de la physique.

Rapport de recherche

Effectué dans le cadre d'un projet PREP

Pascal Larouche, Phd

Département de sciences de la nature, Collège Laflèche

ISBN: 978-2-9813696-1-1

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2013

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2013

Résumé de la recherche

L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'impact des simulations informatiques PhET sur l'apprentissage de la physique. Les PhET, accessible sans contrainte sur le web, ont été développées de manière à inciter les étudiants à explorer librement des phénomènes physiques avec très peu d'encadrement de la part d'un professeur. Elles ont été utilisées dans le contexte d'activités interactives qui sont construites autour de problèmes larges présentés sous la forme d'une question simple et lors de présentation magistrales. Pendant les activités interactives, dans le respect d'une approche constructiviste de l'apprentissage, peu de détails sur la façon de résoudre le problème étaient fournis aux étudiants afin de les encourager à explorer et rechercher la solution avec la PhET. Concrètement, l'impact des PhET sur l'apprentissage a été mesuré en quantifiant 4 paramètres, soit la motivation, la rétention des concepts physiques, la qualité de la compréhension et le développement de certaines habiletés cognitives. Ces paramètres ont été mesurés en employant plusieurs outils: le questionnaire CLASS, des problèmes à choix de réponses et des problèmes complexes. Ces outils ont été mis en oeuvre à différents moments dans la session afin de suivre l'évolution de l'apprentissage des étudiants.

1 Introduction

1.1 Présentation du projet

Il y a plusieurs choses qu'on peut faire avec le million de dollars qui accompagne un prix Nobel, mais une des plus étonnantes est certainement l'établissement d'une fondation pour l'enseignement de la physique. C'est ce que fit Carl Wieman en 2001 après avoir été récompensé pour ses travaux sur les condensats de Bose-Einstein [1].

L'étonnante contribution de Wieman et de ses collaborateurs est entièrement disponible en ligne [2]. Sur ce site, on trouve plusieurs simulations informatiques nommées PhET (pour Physics Education Technology). L'aspect le plus innovateur des PhET réside dans la possibilité d'interagir directement avec les concepts physiques et/ou des appareils virtuels.

Les PhET développées par Wieman [3] et son équipe de recherche possèdent des caractéristiques fascinantes: i) elles sont hautement interactives et fournissent une réponse immédiate aux actions de l'utilisateur, ii) elles offrent un environnement graphique attirant et raisonnablement sophistiqué qui invite les étudiants à interagir et à explorer, iii) elles présentent des contrôles simples et intuitifs qui nécessitent peu ou pas de lecture préliminaire et iv) elles sont (souvent) connectées à des objets de la vie courante.

Les PhET offrent à un professeur de multiples occasions de développer de riches activités d'apprentissage. Leur principale qualité est d'inciter les étudiants à les utiliser avec un minimum d'encadrement pour explorer des phénomènes physiques. Elles ont été spécifiquement conçues pour atteindre cet objectif. À cette fin, elles sont dotées des caractéristiques suivantes [3]: un environnement visuel dynamique qui est directement contrôlé par l'étudiant, les défis qu'elles posent ne sont ni trop faciles, ni trop difficiles, et elles possèdent un niveau de complexité suffisamment élevé pour susciter la curiosité. Ces caractéristiques offrent l'opportunité de mettre en place des activités

d'apprentissages interactives dans lesquelles les PhET sont utilisées pour stimuler la réflexion chez les étudiants et les inciter à être autonomes et à prendre des initiatives. De manière générale, ces activités sont constituées d'un problème large présenté sous la forme d'une question simple. Volontairement, peu de détails sur la façon de résoudre le problème sont fournis aux étudiants afin de les encourager à explorer et rechercher la solution avec la PhET. Pour les problèmes les plus complexes, plus d'une question peut être soumise pour guider les étudiants. Cette façon de faire s'inspire de l'approche constructiviste de l'apprentissage. Dit autrement, ces activités évitent l'approche «recette de cuisine» dans lesquelles de nombreuses questions sont proposées aux étudiants afin de les amener, étapes par étapes, à «découvrir» la solution. Dans de telles activités, les étudiants croient souvent que l'objectif de leur travail est de reproduire des résultats le plus rapidement possible sans faire d'erreur [3]. Les activités interactives utilisées pour cette étude amènent plutôt les étudiants à explorer avec les simulations de manière à mettre en évidence de nouveaux concepts physiques, un peu à la manière de la véritable recherche scientifique.

1.2 Pertinence de la recherche et objectifs

La Figure 1 montre un résumé schématique du projet de recherche. L'objectif principal est **d'évaluer l'impact sur l'enseignement de la physique d'activités interactives utilisant des PhET**. Concrètement, cette étude évaluera l'impact sur l'intérêt des étudiants pour la physique et sur la qualité de l'apprentissage. L'intérêt sera mesuré en quantifiant le niveau de motivation des étudiants. Pour tous les professeurs, développer la motivation chez les étudiants est une tâche primordiale. Les étudiants apprennent mieux lorsqu'ils construisent leurs connaissances à partir de celles qu'ils possèdent déjà. Mais pour accomplir ce processus, ils doivent être suffisamment motivés pour s'engager dans leur apprentissage et en retirer à la fin un bénéfice [4]. La motivation sera évaluée à l'aide du questionnaire CLASS administré aux étudiants au début et à la fin d'un cours (voir la section 3.1 pour une description détaillée de modalités de passation du questionnaire puis la section 3.3 pour les caractéristiques de ce questionnaire). Quant à la qualité de l'apprentissage, 3 variables seront quantifiées: la rétention, la qualité de la compréhension et les habilités cognitives liées à la résolution de problème de physique

(analyse et capacité à faire des liens entre les concepts et les phénomènes réelle). Ces variables seront également évaluées grâce aux questionnaires CLASS et à un certains nombre de problèmes complexes. Elles sont certainement des caractéristiques d'un apprentissage complet et optimal de la physique, et évaluer l'impact des activités interactives sur ces dernières contribue de façon importante à la pertinence de ce projet de recherche [5].

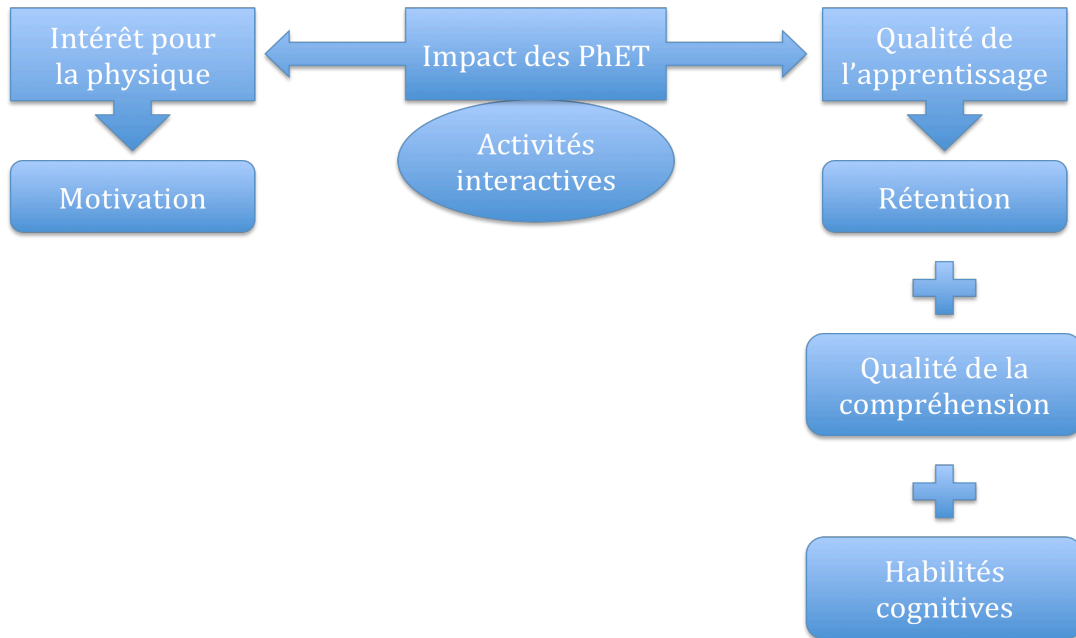


Figure 1 | Structure de la recherche.

1.3 Objectifs

Le tableau suivant expose les objectifs de l'étude. L'objectif général vise à **évaluer l'impact sur l'apprentissage de la physique des simulations PhET**. Cet objectif général se divise en 5 objectifs spécifiques regroupés en 2 catégories distinctes. La première touche l'intérêt pour la physique et est constituée de ce seul objectif spécifique. La seconde catégorie aborde les aspects cognitifs de l'apprentissage, soit la rétention, la qualité de la compréhension et les habiletés cognitives générales liées à la résolution de problèmes.

Table 1 | Les objectifs de l'étude.

| Objectif général | |
|--|---|
| Évaluer l'impact sur l'apprentissage de la physique d'activités interactives utilisant des PhET. | |
| Objectif spécifique 1 | Objectifs spécifiques 2 |
| Vérifier l'impact des simulations PhET sur l'intérêt pour la physique. | Vérifier l'impact des simulations PhET sur la qualité de l'apprentissage en évaluant la rétention des concepts physiques. |
| | Vérifier l'impact des simulations PhET sur la qualité de l'apprentissage en évaluant la qualité de la compréhension des concepts physiques. |
| | Vérifier l'impact des simulations PhET sur les habiletés cognitives. |

2 Les simulations PhET

2.1 Présentation

Les PhET sont le fruits du travail d'un groupe de recherche mis en place par Wieman [2]. L'ensemble des simulations est librement accessible sur la page web du projet. Puisqu'elles emploient la technologie Flash ou Java, elles ne nécessitent pas d'installation et elles fonctionnent sans problème sous les principaux systèmes d'exploitations (Windows, Macintosh et Linux).

La Figure 2 montre une capture d'écran d'une simulation PhET permettant de réaliser des circuits électriques. Sur cet exemple, un circuit simple composé de 2 résistances et d'un pile a été assemblé à partir des composantes situées à droite de l'espace bleu. Étant donné la nature interactive de la simulation, il est possible d'employer un voltmètre pour mesurer la chute de tension aux bornes d'une des résistances et un ampèremètre pour évaluer le courant.. Tous les paramètres du circuit (différence de potentiel de la pile et les valeurs des résistances) peuvent être modifiées à volonté. Il en

va de même pour toutes les autres composantes disponibles. Il est donc possible d'assembler à partir de cette simulation des circuits complexes dont les caractéristiques reproduisent fidèlement celles d'authentiques circuits.

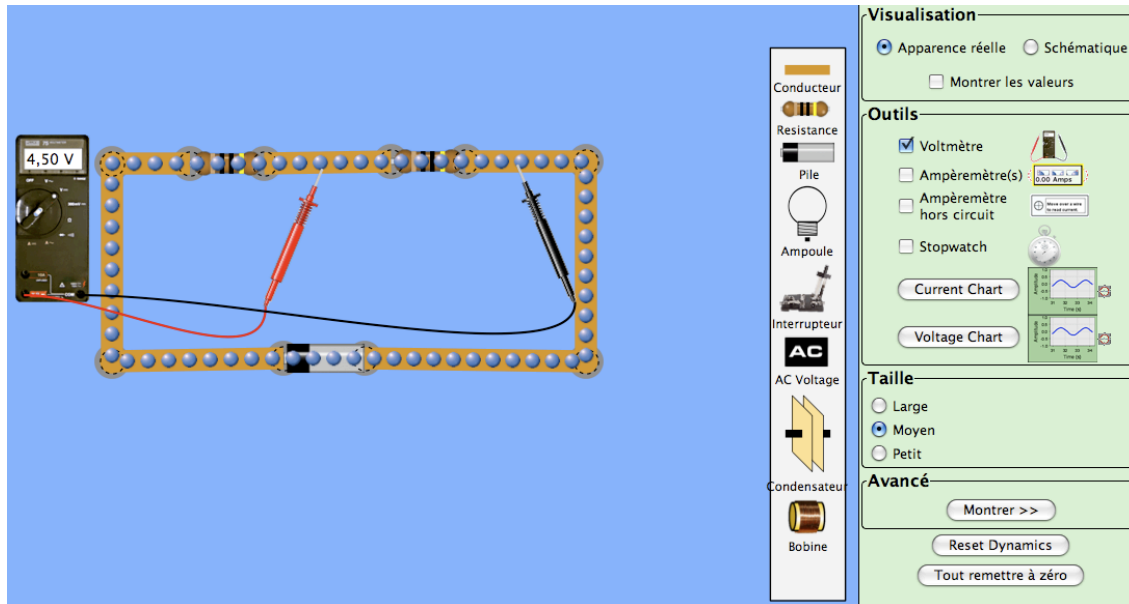


Figure 2 | Exemple d'une simulation PhET permettant de réaliser des circuits électriques.

2.2 Processus d'élaboration

Les PhET sont le résultat d'un processus d'élaboration long, complexe et rigoureux [6]. Ce dernier est présenté à la Figure 3.

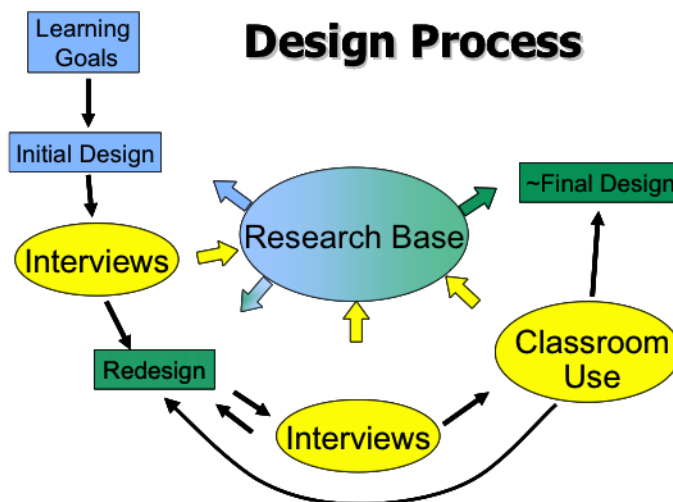


Figure 3 | Processus d'élaboration des simulations.

Le développement de nouvelles simulations compte un minimum de 7 étapes, plusieurs allers-retours pouvant être exécutés entre les étapes 4, 5 et 6:

1. Définition des objectifs d'apprentissages.
2. Premier design de la simulation.
3. La version préliminaire de la simulation est proposée à des étudiants et les commentaires de ces derniers sont soigneusement recueillis afin d'améliorer la simulation.
4. D'autres entrevues avec des étudiants peuvent être réalisées afin de s'assurer de la qualité du travail accompli.
5. Première utilisation en classe. Cette étape génère de nouveaux commentaires qui peuvent être mis à profit pour peaufiner la simulation.
6. La version finale de la PhET est élaborée.

À noter que l'ensemble de ce travail est continuellement alimenté par une recherche sur l'enseignement de la physique et l'innovation pédagogique.

2.3 Utilisation en classe

Les PhET ont été employés de deux manières distinctes pendant les 15 semaines de cours. Dans un premier temps, elles ont été régulièrement mises de l'avant lors de présentations magistrales. Pendant ces moments, les étudiants étaient passifs et observaient les manipulations que le professeur exécutaient. À l'occasion, ils devaient prendre en note certaines informations inscrites au tableau. La seconde utilisation a été beaucoup plus riche, car elle permettait aux étudiants de manipuler directement les simulations. Ces activités ont pris la forme d'expériences virtuelles tenues pendant les séances de laboratoire. Explicitement, ces expériences s'effectuaient en 3 temps: un texte troué permettant aux étudiants de s'approprier le vocabulaire important, une série de problèmes plus complexes nécessitant souvent des calculs et/ou une réflexion élaborés, et finalement, des questions pour lesquelles les étudiants pouvaient seulement trouver la réponse en manipulant la simulation. Parfois, les fonctionnalités de la PhET permettaient de vérifier les réponses de la deuxième partie de l'expérience virtuelle (par exemple, celle sur les circuits électriques qui offrait la possibilité de

réaliser virtuellement le circuit des problèmes précédents et de valider les résultats des calculs).

3 Méthodologie

3.1 Les groupes étudiés

Des questions et le formulaire CLASS ont été soumis à 3 groupes d'étudiants. À noter qu'avant le début de la recherche, tous les étudiants avaient signé un formulaire de consentement. Les caractéristiques de ces groupes sont les suivantes:

1. Groupe 1: 23 étudiants de technologie de radiodiagnostic.
2. Groupe 2: 16 étudiants de technologie de radiodiagnostic.
3. Groupe 3: 8 étudiants inscrits au programme Sciences, lettres et art.

Le tableau qui suit présente l'organisation et les caractéristiques de la collecte de données qui a été effectuée pendant 2 sessions consécutives lors de l'année scolaire 2011-2012.

Tableau 2 | Organisation et caractéristiques de la collecte de données.

| | Groupe 1 | | Groupe 2 | | Groupe 3 |
|--|---------------------------------------|----------|--------------|----------|-----------------------|
| | A-11 | H-12 | A-11 | H-12 | H-12 |
| CLASS | début et fin | fin | début et fin | fin | début et fin |
| Questions complexes | oui | non | non | non | oui |
| Contact préalable avec les PhET | non | oui | oui | oui | non |
| Utilisation des PhET | magistrales et expériences virtuelles | très peu | très peu | très peu | magistrales seulement |

3.2 Le questionnaire CLASS et traitement des résultats

Le questionnaire CLASS est constitué d'énoncés touchant la perception de la physique comme, par exemple: «Je pense que lire un texte en détail est une bonne façon pour moi d'étudier la physique». À chaque question, l'étudiant doit choisir parmi les réponses suivantes:

1. Totalement en désaccord
2. En désaccord
3. Neutre
4. En accord
5. Totalement en accord

L'en-tête du questionnaire porte les consignes suivantes: *«Les énoncés qui suivent peuvent potentiellement décrire votre perception de l'apprentissage de la physique. Choisissez un des 5 choix qui expriment le mieux votre appréciation de l'énoncé. Si vous ne comprenez pas un énoncé, ne fournissez aucune réponse. Si vous comprenez un énoncé mais que vous n'avez pas d'opinion tranchée sur son appréciation, choisissez la réponse 3».*

Afin de mettre en évidence l'évolution de la perception des étudiants, le questionnaire CLASS doit minimalement leur soumis au début et à la fin de la session. Les changements dans la perception des étudiants sont alors mis en évidence en notant l'évolution du pointage pour chaque question entre le début et la fin de la session. Pour toutes les questions, à chaque passation, la moyenne des réponses fournies par les étudiants a été calculée. C'est uniquement l'évolution entre 2 passations de ces moyennes qui est traitée et analysée, ce qui permet d'assurer l'anonymat des réponses.

Pour la plupart des questions, la réponse attendue était 5, c'est-à-dire celle que fournirait un expert en physique [7], tandis que pour certaines autres questions, étant donné leur formulation négative, la réponse valable était 1. Lors du calcul des moyennes, ces particularités ont été prises en compte afin d'obtenir des résultats décrivant fidèlement la perception des étudiants. Ainsi, puisque les réponses fournies par les étudiants sont comprise entre 1 et 5, les variations des moyennes ne peuvent excéder 4.

Les questions du questionnaire CLASS peuvent être regroupées en catégories illustrant l'évolution de variables qualitatives, comme le montre le Tableau 3 [5].

Tableau 3 | Les variables qualitatives évaluées par le questionnaire CLASS.

| Variables qualitatives | Questions |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Connections avec le monde réel | 28-30-35-37 |
| Intérêt personnel | 3-11-14-25-28-30 |
| Faire des efforts | 11-23-24-32-36-39-42 |
| Relations conceptuelles | 1-5-6-13-21-32 |
| Applications des concepts appris | 1-5-6-8-21-22-40 |
| Résoudre des problèmes en général | 13-15-16-25-26-34-40-42 |
| Résoudre des problèmes avec confiance | 15-16-34-40 |
| Résoudre des problèmes sophistiqués | 5-21-22-25-34-40 |

3.3 Formulation des questions complexes, modalités de passation et traitement

La formulation des questions complexes c'est avérée une tâche plus délicate et compliqués que prévue initialement. En effet, de nombreux facteurs autres que l'utilisation des PhET affectent la performance des étudiants à ce type de questions:

1. Les questions doivent être suffisamment complexes afin d'être clairement distinctes l'une de l'autre et mettre en évidence les différences entre les étudiants; dit autrement, à des questions trop simples, les étudiants trouvent tous la bonne réponse sans égard à l'utilisation des PhET.
2. Soumettre une question immédiatement avant ou après un examen fait en sorte que les résultats sont nettement meilleurs, car les étudiants ont beaucoup étudié en prévision de l'examen, ce qui ne permet pas de mettre en évidence l'effet des PhET.
3. Soumettre une question après une séance d'exercices formatifs fait en sorte que les résultats sont nettement meilleurs, car les étudiants ont eu la chance

d'approfondir leur apprentissage sans égard, encore une fois, à l'utilisation des PhET.

Ces contraintes font en sorte que les moments propices à la passation d'une question complexe ont été relativement peu nombreux. Le tableau suivant montre la répartition des questions pour les groupes 1 et 3, de telles questions n'ayant pas été soumises au groupe 2.

Tableau 4 | Répartition des questions au travers des groupes 1 et 2.

| | Groupe 1 | Groupe 3 |
|------------------|-----------------|-----------------|
| Sans PhET | 4 | 2 |
| Avec PhET | 3 | 1 |

Après la correction, les résultats des questions ont été accumulés dans un chiffrier électronique afin de faciliter leur traitement. Ces derniers ont été simples: la moyenne des résultats est employée plutôt que chaque résultats afin d'assurer l'anonymat des étudiants. La moyenne des écarts-types à chaque question a été réalisée afin de calculer l'erreur standard sur la moyenne. Cette dernière a été employée comme marge d'erreur associée aux résultats.

4 Résultats

4.1 Les données du formulaire CLASS

Cette importante section aborde les résultats au questionnaire CLASS. Chaque groupe est traité séparément. Les graphiques présentés montrent l'évolution des moyennes pour chaque question et celle des variables qualitatives.

4.1.1 Groupe 1

Le questionnaire CLASS a été administré à 3 reprises aux étudiants du groupe 1. Les 2 premières fois ont eu lieu pendant leur premier cour de physique à la session

d'automne 2011, leur première au programme de technologie de radiodiagnostic. Pendant ce cours, les simulations PhET ont été régulièrement employées dans le cadre de présentations magistrales et d'expériences virtuelles. Ainsi, la variation observée permet d'appréhender l'évolution de leur perception sous l'effet de l'apprentissage avec les simulations. C'est ce que met en évidence le graphique de la Figure 4.

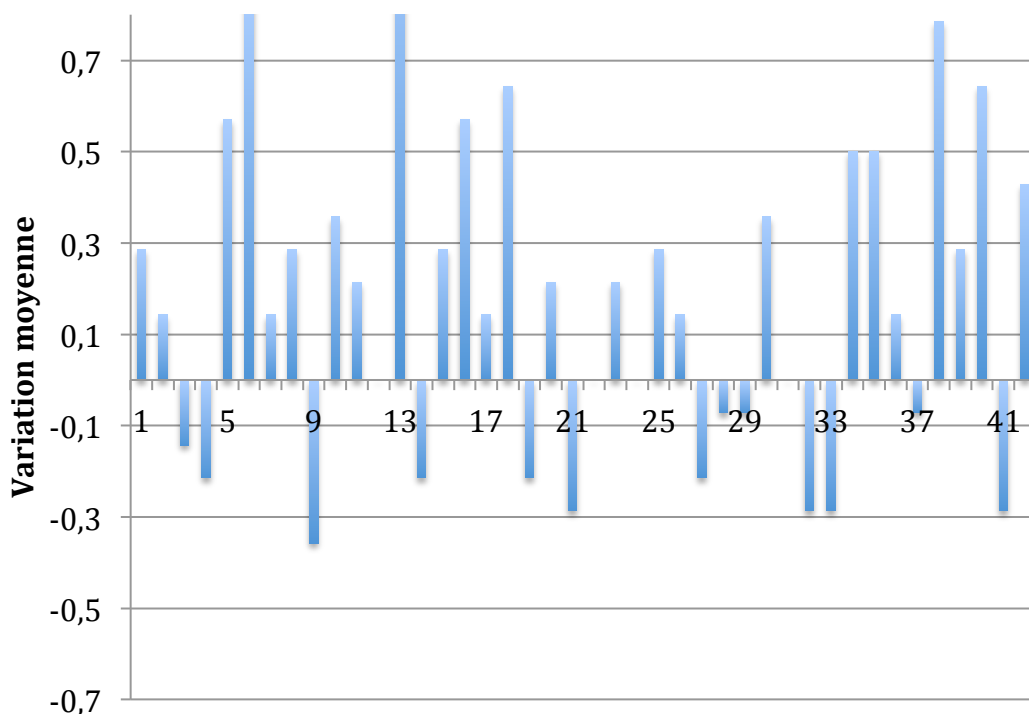


Figure 4 | Variations de la moyenne à chaque questions entre le début et la fin de la session A-2011.

Les variations positives sont celles qui sont recherchées. Pour 25 questions, la variation est positive, 13 sont négatives et 4 sont nulles. La moyenne des variations est de 0.18.

Le graphique suivant (Figure 5) présente les variations entre la fin de la session d'automne 2011 et la fin de celle d'hiver 2012. Les données récoltées permettent donc de suivre l'évolution de leur perception lors du deuxième cours de physique. Pendant ce cours, les simulations n'ont pratiquement pas été employées (2 présentations magistrales seulement). Dans cette deuxième série de données, pour 17 questions, la

variation est positive, alors que 20 sont négatives et 5 sont nulles. La moyenne des variations est de -0.02.

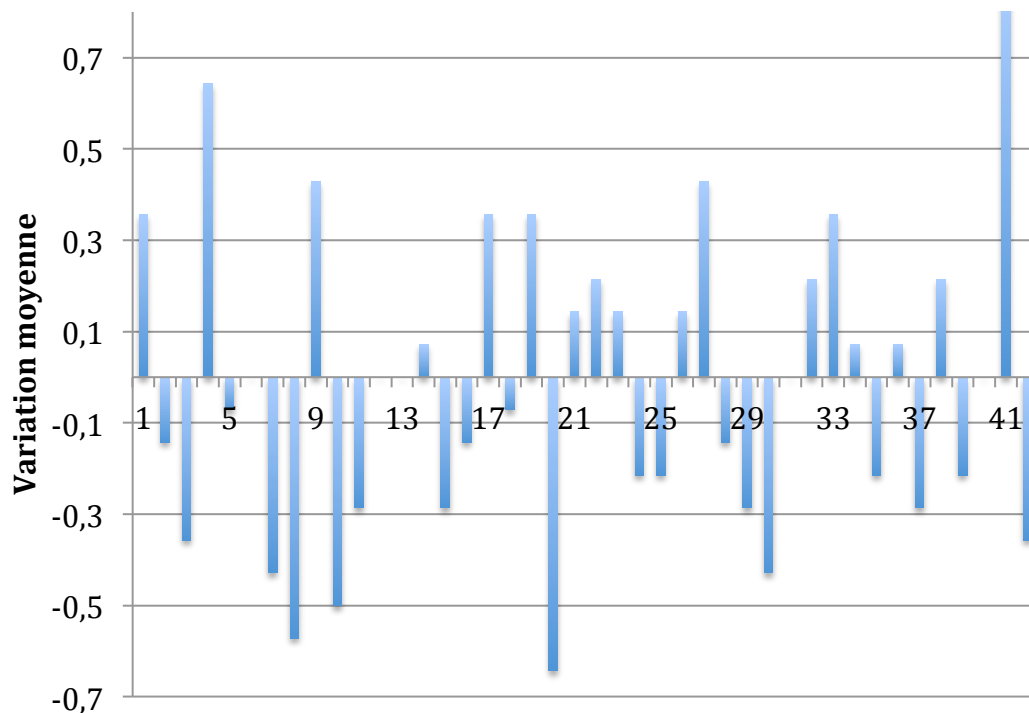


Figure 5 | Variations de la moyenne à chaque questions entre la fin de la session A-2011 et H-2012.

Les résultats aux questions peuvent être combinés comme l'indique le Tableau 3, ce qui permet de mettre en évidence l'évolution des variables qualitatives. C'est ce que montre le graphique de la Figure 6. Les variations pour les 2 cours de physique sont simultanément présentées: celles en oranges sont pour le premier tandis que celles en bleus pour le deuxième.

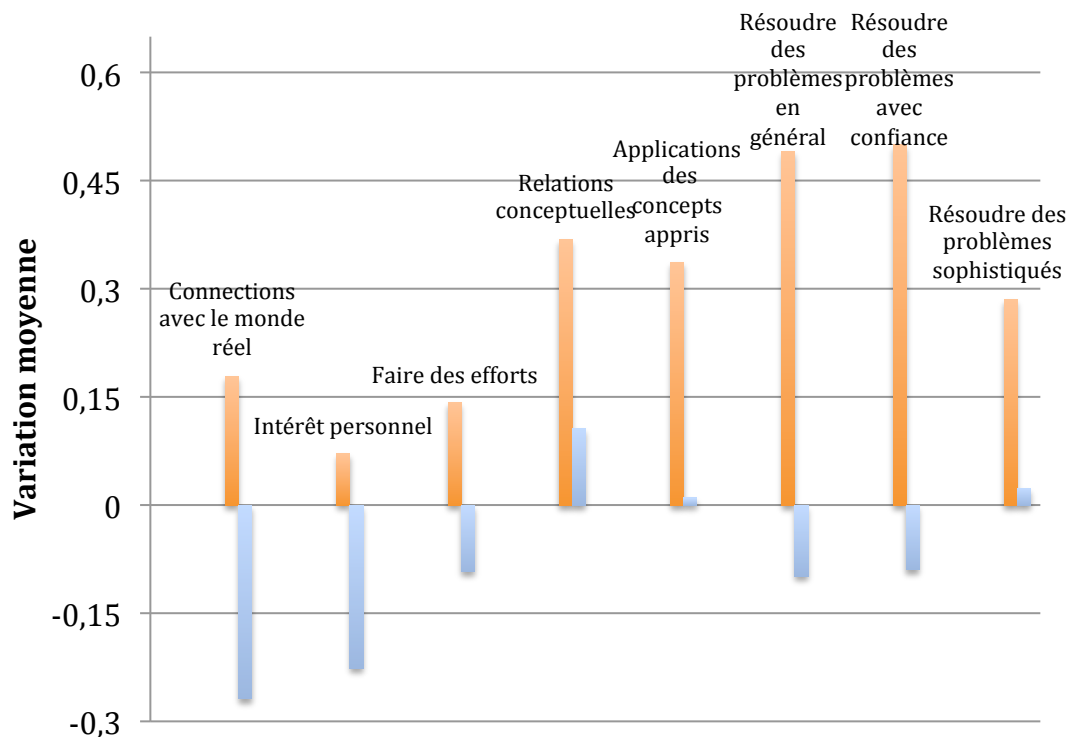


Figure 6 | Variations moyennes des variables qualitative après le premier (orange) et deuxième (bleu) cours.

4.1.2 Groupe 2

Le questionnaire a été administré à 3 reprises aux étudiants du groupe 2. Les 2 premières fois ont eu lieu pendant leur deuxième cours de physique à la session d'automne 2011. Pendant ce cours, les simulations ont été peu employées.

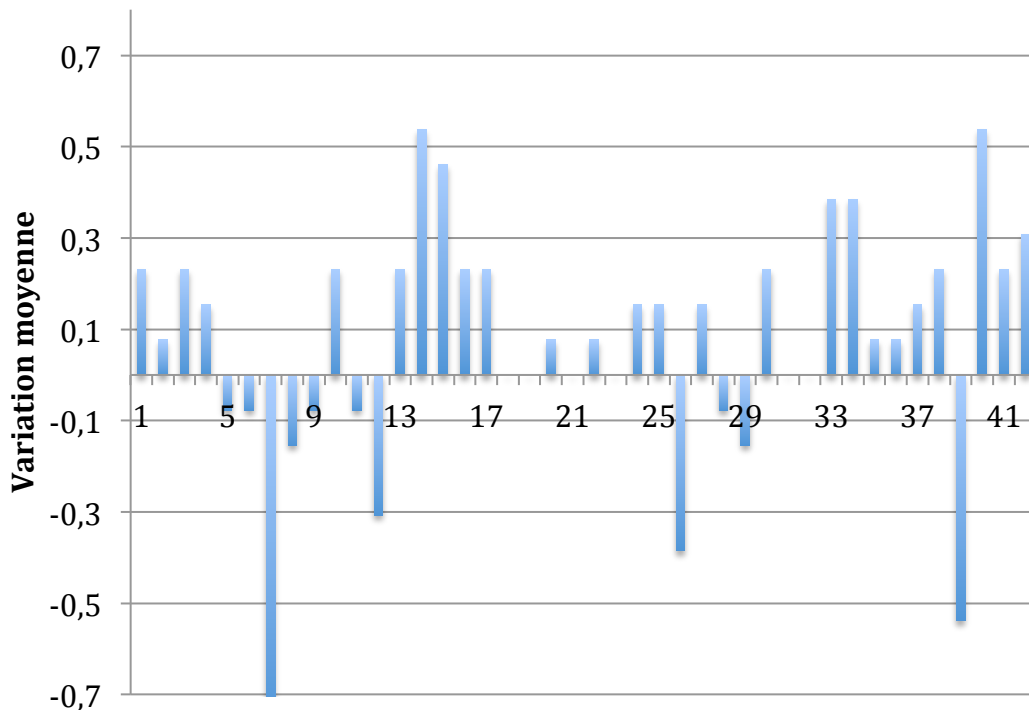


Figure 7 | Variations de la moyenne à chaque questions entre le début et la fin de la session de la session A-2011.

Pour ce deuxième groupe, pour 25 questions, la variation est positive, 11 sont négatives et 6 sont nulles. La moyenne des variations est de 0.08.

Le graphique suivant (Figure 8) présente les variations entre la fin de la session d'automne 2011 et la fin de celle d'hiver 2012. Les données récoltées permettent de suivre l'évolution de leur perception lors du deuxième cours de physique. Pendant ce cours, les simulations n'ont pratiquement pas été employées. Pour cette deuxième série de données, pour 17 questions, la variation est positive, 20 sont négatives et 5 sont nulles. La moyenne des variations est de 0.02.

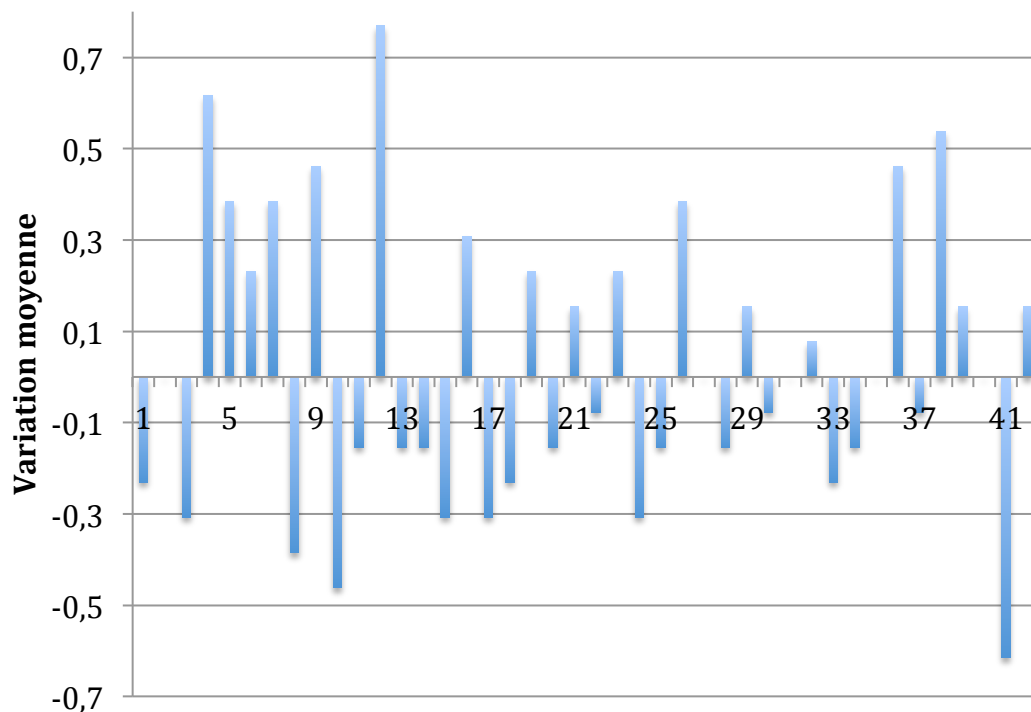


Figure 8 | Variations de la moyenne à chaque questions entre la fin de la session A-2011 et H-2012.

Encore une fois, comme à la section précédente, les résultats aux questions peuvent être combinés, ce qui permet de mettre en évidence l'évolution des variables qualitatives. C'est ce que montre le graphique de la Figure 9. Les variations pour les 2 cours de physique sont simultanément présentées: celles en orange sont pour le premier et celle en bleu pour le deuxième.

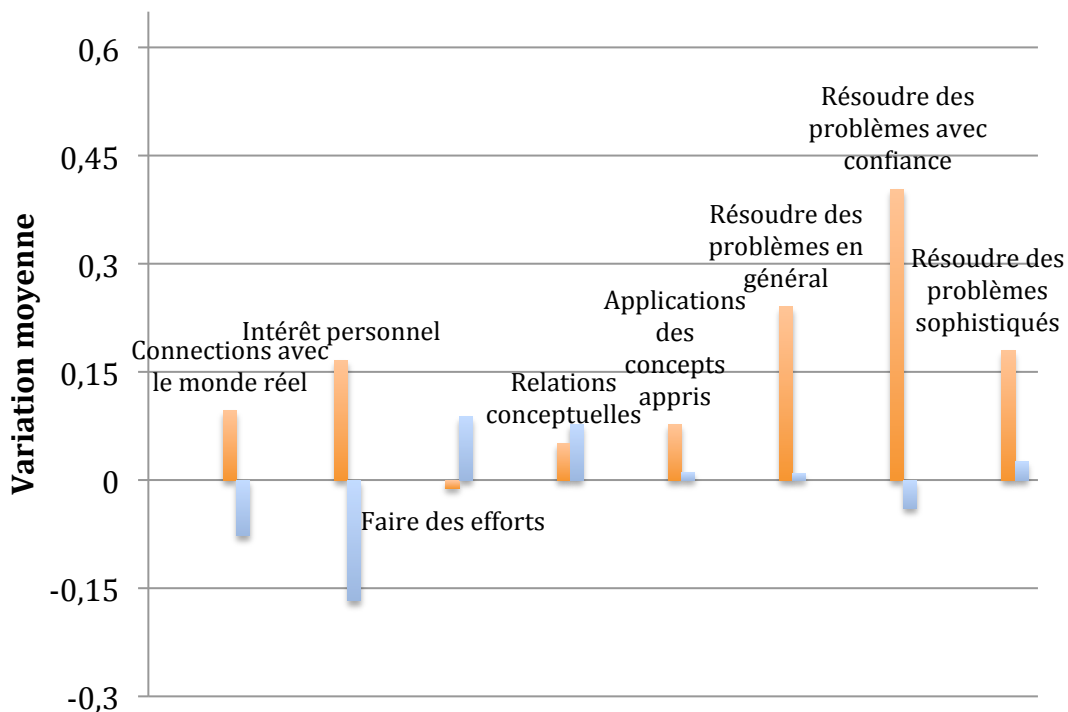


Figure 9 | Variations moyennes des variables qualitative après le premier (orange) et deuxième (bleu) cours.

4.1.3 Groupe 3

Le questionnaire CLASS a été administré à 2 reprises aux étudiants du groupe 3 lors de leur premier cour de physique à la session d'hiver 2012. Pendant ce cours, les simulations PhET ont été régulièrement employées dans le cadre de présentations magistrales et d'expériences virtuelles. La variation observée permet donc de saisir l'évolution de leur perception sous l'effet de l'apprentissage avec les simulations. C'est ce que montre le graphique de la Figure 10.

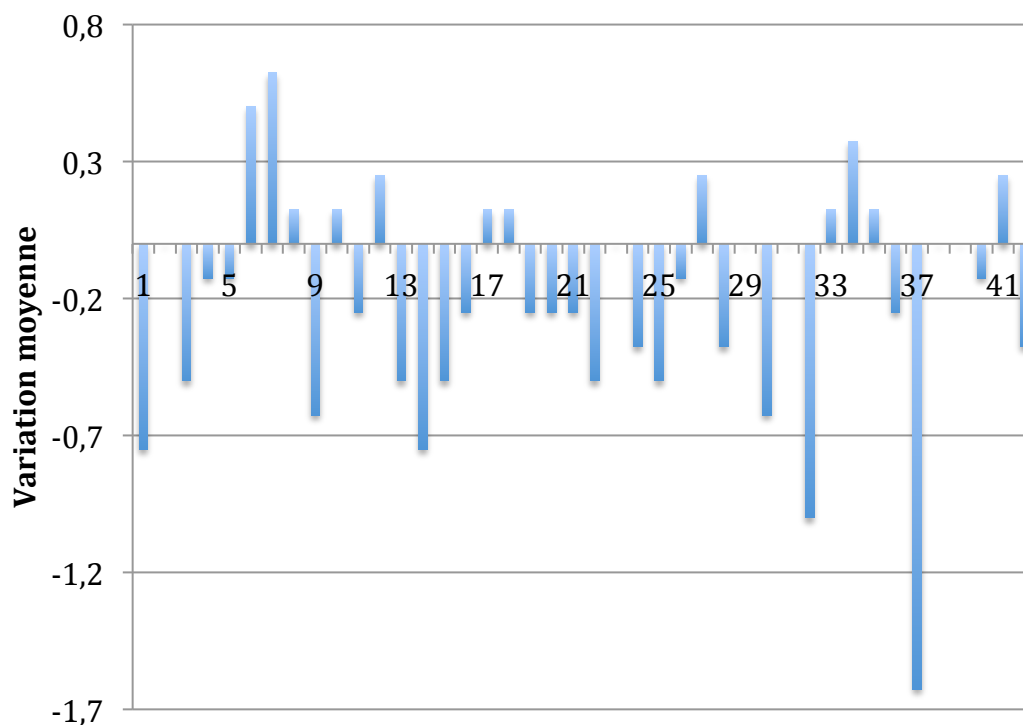


Figure 10 | Variations de la moyenne à chaque questions pour le groupe 3 lors de la session H-2012.

Pour ce troisième groupe, pour 12 questions, la variation est positive, 24 sont négatives et 6 sont nulles. La moyenne des variations est de -0.19.

Les résultats aux questions peuvent également être combinés, ce qui permet de mettre en évidence l'évolution des variables qualitatives. C'est ce que montre le graphique de la Figure 11.

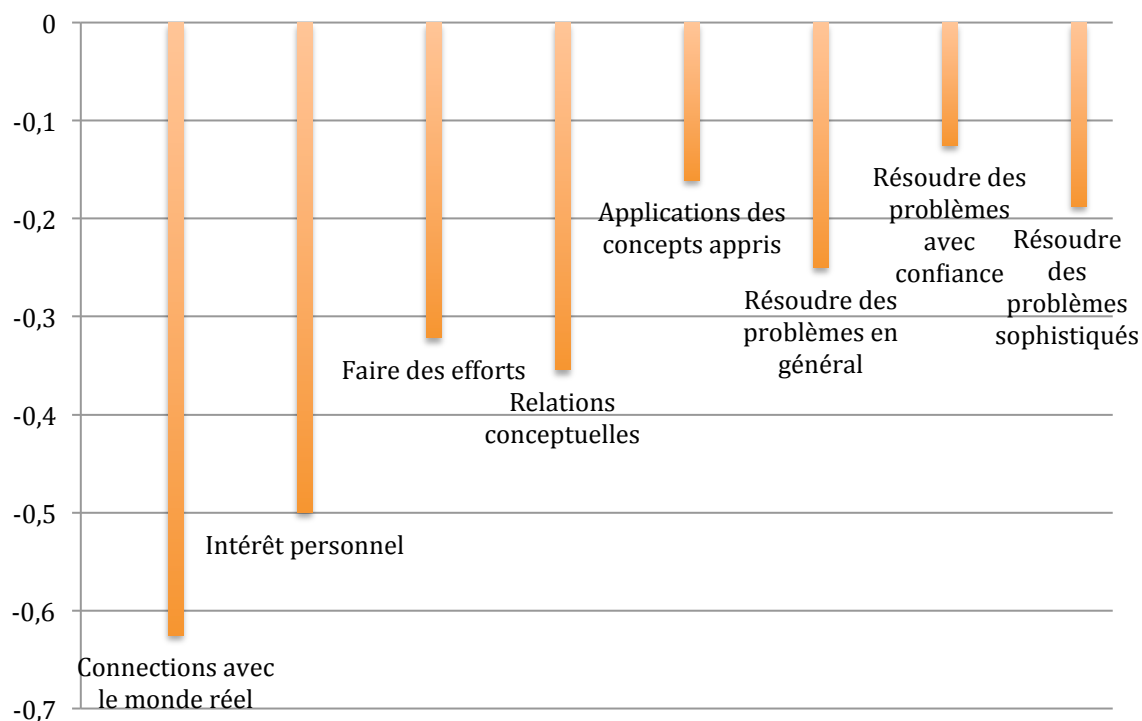


Figure 11 | Variations moyennes des variables qualitative après le premier (orange) et deuxième (bleu) cours.

4.2 Les questions complexes

Le Tableau 5 présente le résultat moyen à chaque questions complexes. Les 4 premières questions sans PhET et les 3 premières avec PhET ont été soumise aux étudiants du premier groupe, alors que les autres ont été proposées aux étudiants du troisième groupe. Finalement, le tableau présente l'erreur sur la moyenne calculée à partir des écarts-types, ces erreurs étant considérées par la suite la marge d'erreur des résultats.

Tableau 5 | Résultats aux questions complexes.

| | Sans PhET | | Avec PhET | |
|----------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | Moyenne | Écart-type | Moyenne | Écart-type |
| 1 | 83 | 20 | 80 | 38 |
| 2 | 53 | 44 | 79 | 37 |
| 3 | 60 | 36 | 95 | 11 |
| 4 | 82 | 27 | 78 | 32 |
| 5 | 50 | 27 | | |
| 6 | 75 | 30 | | |
| Moyenne | 67 | 31 | 83 | 30 |
| Erreur | 5 | | 5 | |

4.3 Les questions à choix de réponses

Les résultats obtenus aux questions simples à choix de réponses ne sont pas concluants. En effet, ces questions étaient trop faciles, ce qui a fait en sorte que les étudiants arrivaient presque tous à trouver systématiquement la bonne réponse. Ainsi, elles ne peuvent être employées pour mettre en évidence l'effet des simulations sur la rétention des connaissances.

5 Interprétation des résultats

5.1 Remarques préliminaires

Un des aspects devant être évalué dans cette étude était l'effet des simulations sur la rétention des connaissances. Malheureusement, la méthodologie employée n'a pu permettre de réaliser cette tâche comme il est expliqué à la section 4.3. Notons également que les résultats du questionnaire CLASS du troisième groupe, étant donné leurs différences marquées avec ceux des 2 premiers, seront traités séparément.

5.2 La motivation

L'effet des simulations PhET sur la motivation des étudiants peut être évaluée à l'aide de 2 variables qualitatives du questionnaire CLASS, soit *intérêt personnel* et *faire des efforts*. La Figure 12 montre la variation moyenne de ces variables pour les groupes 1 et 2 après le premier (bleu) et deuxième (rouge) cours.

Les variations de la motivation sont modestes pour les 2 groupes et les 2 cours. Par contre, pour le premier groupe, entre le premier et deuxième cours, la variation est relativement plus marquée. Lors de leur premier cours, les simulations ont été régulièrement employées (voir le Tableau 2) puis, pour le second, très peu. L'origine de cette variation peut être attribuée à l'arrêt de l'utilisation des PhET. Pour le second groupe, lors des 2 cours, les simulations ont été peu mises à profit: ceci explique probablement les faibles variations.

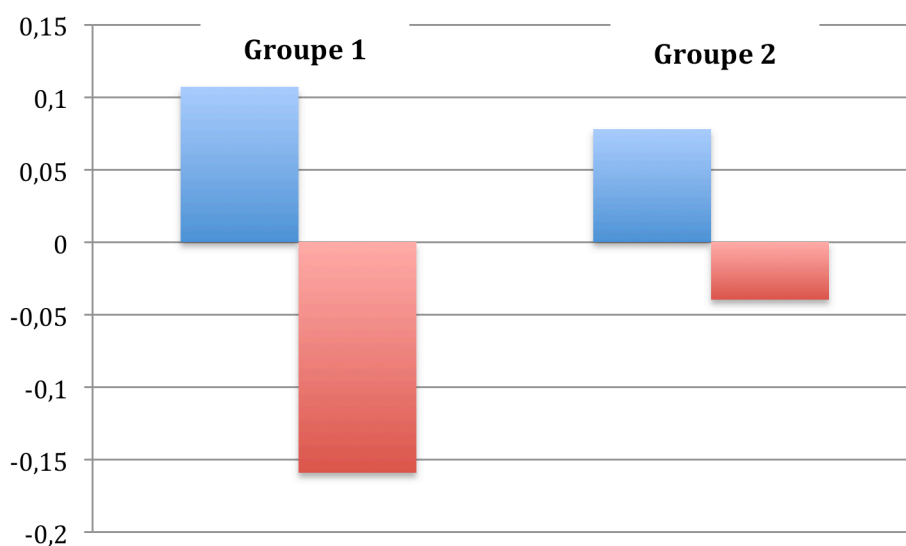


Figure 12 | Variation moyenne de la motivation des groupes 1 et 2 après leur premier (bleu) et deuxième (rouge) cours.

5.3 La qualité de la compréhension

Les variables qualitatives du CLASS employées pour quantifier la qualité de la compréhension sont *connections avec le monde réel*, *relations conceptuelles* et

applications des concepts appris. La Figure 13 montre la variation de la qualité de la compréhension des groupes 1 et 2 après le premier (bleu) et deuxième (rouge) cours.

Les variations moyennes de la qualité de la compréhension sont importantes pour le premier groupe, et plutôt faible pour le second. Soulignons à nouveau que le premier groupe est passé d'un cours utilisant beaucoup les simulations à un cours presque sans simulations. Cette variation illustre probablement l'effet des PhET. Pour le second groupe, comme pour la motivation, la variation est peu importante et elle s'explique certainement de la même façon.

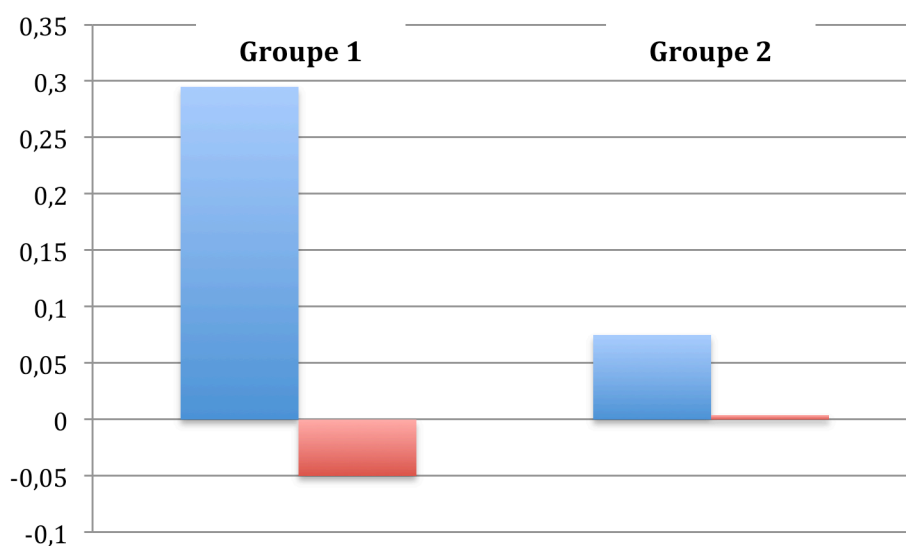


Figure 13 | Variation moyenne de la qualité de la compréhension des groupes 1 et 2 après leur premier (bleu) et deuxième (rouge) cours.

5.4 Habiletés cognitives

Les habiletés cognitives peuvent elles aussi être évaluées à l'aide des variables qualitatives du questionnaire CLASS. Les variables choisies sont *résoudre des problèmes en général*, *résoudre des problèmes avec confiance* et *résoudre des problèmes sophistiqués*. La Figure 14 montre la variation moyenne des habiletés cognitives des groupes 1 et 2 après le premier (bleu) et deuxième (rouge) cours.

Pour les variations des habiletés cognitives du groupe 1, un phénomène identique à celui observé pour la motivation et la qualité de la compréhension se produit: l'effet des

simulations est tout aussi marqué entre les 2 cours. Par contre, les résultats pour le groupe 2 diffèrent de ce qui a été obtenu précédemment, car le premier cours a généré une variation significative des habiletés cognitives. Aucune explication évidente et satisfaisante ne peut être formulée pour expliquer ce phénomène.

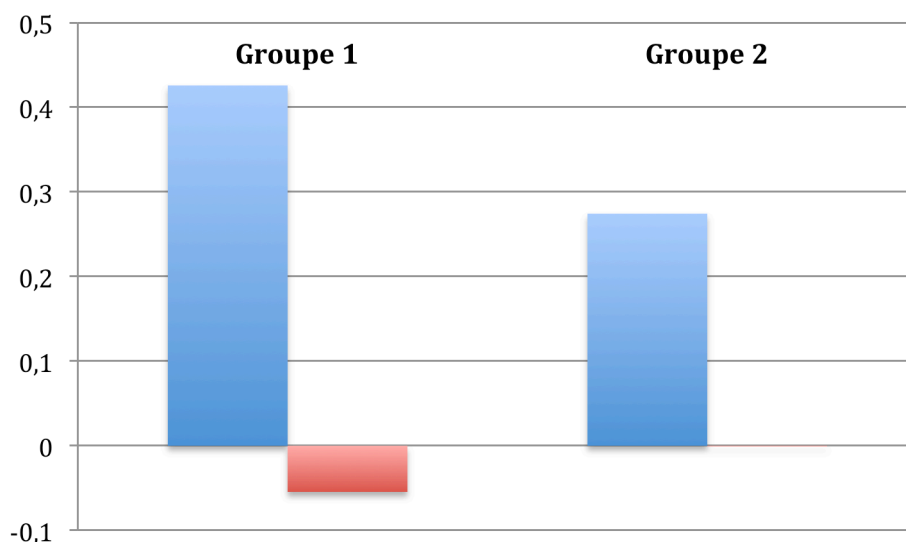


Figure 14 | Variation moyenne des habiletés cognitives des groupes 1 et 2 après leur premier (bleu) et deuxième (rouge) cours.

Les habiletés cognitives peuvent également être évaluées grâce aux résultats aux questions complexes. La Figure 15 montre la performance globale à ces questions. Pour celles touchant des thèmes et des concepts étudiés sans l'aide des PhET, la note moyenne est de 67% avec une erreur de 5%. Pour les autres questions abordant des thèmes enseignés avec des simulations, la note moyenne est de 83% avec une erreur de 5%. Étant donné l'erreur associée à ces résultats, il est possible d'affirmer que la différence observée est significative et qu'elle peut être attribuée probablement à l'efficacité des simulations.

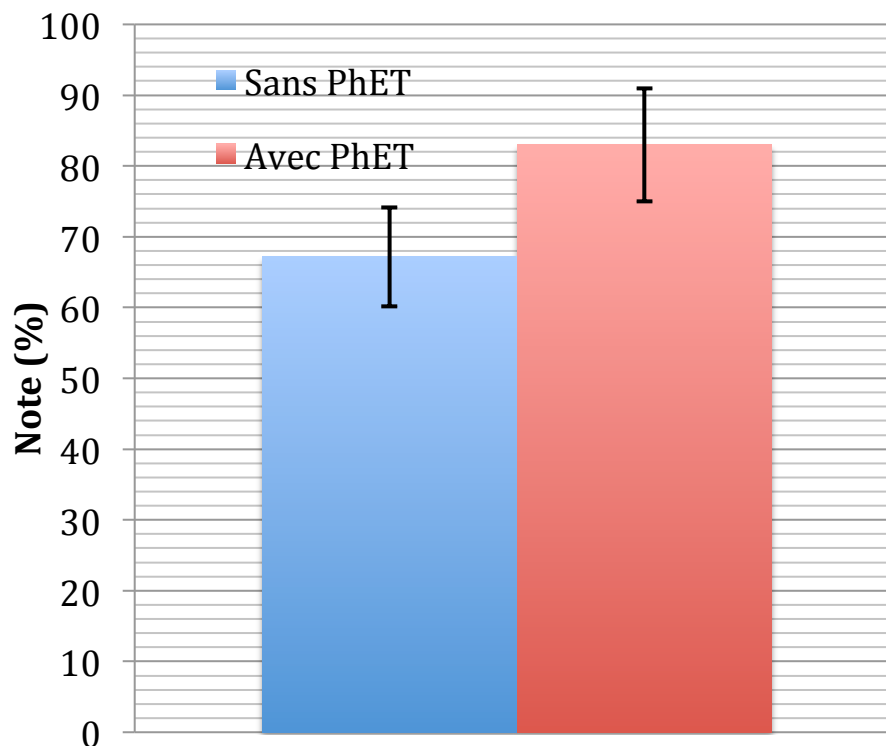


Figure 15 | Performance à des questions complexes.

5.5 Troisième groupe

Les résultats du troisième groupe diffèrent de façon importante de ceux obtenus pour les 2 premiers. Pour les 3 critères analysés, la variation est significativement négative.

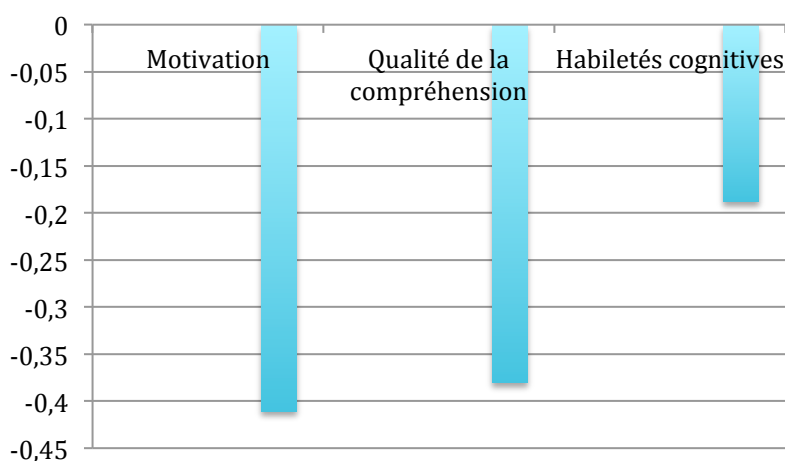


Figure 16 | Variation moyenne de la motivation, de la qualité de la compréhension et des habiletés cognitives du troisième groupe.

Quelques hypothèses peuvent être formulées pour expliquer ces observations. Premièrement, seulement 8 étudiants ont participé à cette étude, ce qui rend hasardeux le calcul des moyennes. Deuxièmement, ces étudiants font partie d'un programme mélangeant des composantes de sciences naturelles et humaines, ce qui implique qu'ils peuvent posséder un intérêt limité pour la physique, ou un préjugé défavorable envers cette discipline.

6 Conclusion

Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer l'impact des simulations PhET sur la rétention des connaissances, la motivation, la qualité de la compréhension et les habiletés cognitives des étudiants. Étant donné certains problèmes méthodologiques et les contraintes inhérentes à la bonne marche d'un cours, la qualité de la rétention n'a pu être évaluée. En dépit de ces difficultés, les autres aspects ont été quantifiés comme prévu.

Les simulations PhET semblent avoir eu un impact modeste sur la motivation. Par contre, en ce qui concerne la qualité de la compréhension et le développement des habiletés cognitives, l'effet est marqué et évident. Les simulations semblent donc remplir adéquatement la fonction pour laquelle elles ont été conçues: favoriser l'apprentissage de la physique. Quant aux habiletés cognitives, les résultats aux questions complexes confirment ceux obtenus grâce au questionnaire CLASS.

À la fin de leur premier cours, l'intérêt des étudiants du groupe 1 pour les PhET a été évalué à l'aide de la question suivante: «Les simulations PhET utilisées pendant les cours théoriques et les laboratoires ont favorisé votre apprentissage de la physique». L'objectif de ce sondage improvisé était de demander explicitement l'avis des étudiants. Les résultats issus de ce coup de sonde confortent ceux obtenus précédemment: une large majorité d'étudiants, soit 79%, ont affirmé être totalement en accord avec cet énoncé, alors que tous les autres ont répondu être en accord (voir le graphique de la Figure 17).

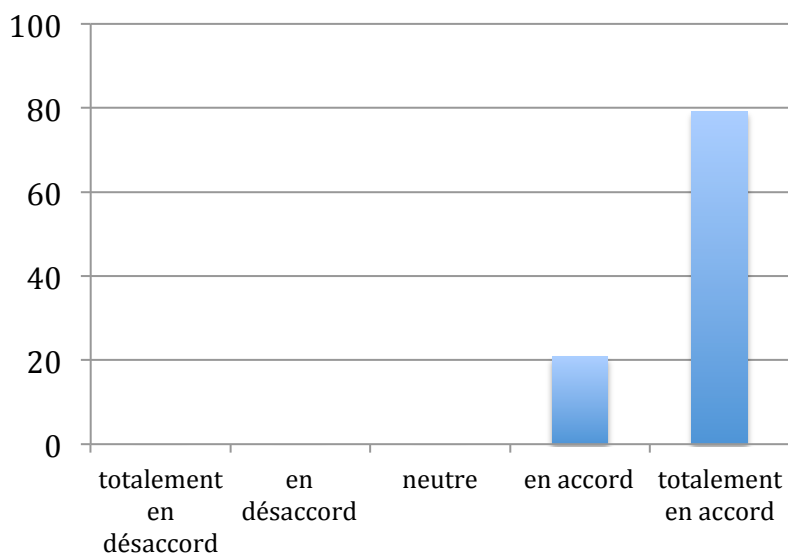


Figure 17 | Perception des étudiants de l'efficacité des PhET.

Le groupe 3 est le seul à avoir produit des résultats négatifs qui semblent indiquer que les PhET ont nuit à l'apprentissage de la physique. Comme mentionné la section 5.5, le faible nombre d'étudiants et/ou leur intérêt limité pour la physique peut expliquer les résultats. Malgré tout, il toujours raisonnable de considérer les simulations PhET comme un solide outil pédagogique.

7 Annexes

7.1 Le questionnaire CLASS

Les questions qui suivent sont celles constituant le questionnaire CLASS. La traduction de l'anglais vers le français a été réalisée librement par l'auteur.

Question 1. Un problème important que je rencontre lorsque j'étudie la physique consiste à être en mesure de mémoriser toute l'information que je dois savoir.

Question 2. Pendant que je résous un problème de physique, j'essaie de déterminer quelle pourrait être une réponse raisonnable.

Question 3. Je m'interroge sur des phénomènes physiques que j'observe dans la vie de tous les jours.

Question 4. Il est important pour moi de faire beaucoup de problèmes lorsque j'étudie la physique.

Question 5. Lorsque j'ai étudié un sujet en physique et que j'ai l'impression de bien le comprendre, il est malgré tout difficile pour moi de résoudre des problèmes sur ce sujet.

Question 6. La physique est constituée de sujets sans liens entre eux.

Question 7. Plus les physiciens comprennent les phénomènes naturels, plus les idées que nous étudions maintenant devraient se révéler fausses.

Question 8. Pour résoudre un problème de physique, je trouve une équation qui contient les variables du problème et j'y insère les valeurs données.

Question 9. Je pense que lire un texte en détail est une bonne façon pour moi d'étudier la physique.

Question 10. Habituellement, il n'y a qu'une seule façon de résoudre un problème de physique.

Question 11. Lorsque j'étudie quelque chose, je ne suis réellement satisfait que lorsque je comprends comment il fonctionne.

Question 12. Je ne peux comprendre la physique si le professeur n'explique pas clairement en classe.

Question 13. Je ne crois pas que les équations en physique peuvent m'aider à comprendre les idées, car elles ne servent qu'à faire des calculs.

Question 14. J'étudie la physique afin d'acquérir des connaissances qui me seront utiles dans la vie

Question 15. Si je n'arrive pas à résoudre un problème de physique à la première tentative, j'essaie habituellement de trouver une autre approche qui pourrait fonctionner.

Question 16. Presque toutes les personnes peuvent comprendre la physique à la condition d'y mettre les efforts nécessaires.

Question 17. Comprendre la physique signifie essentiellement être en mesure de se souvenir de ce qu'on a lu ou vu.

Question 18. Il peut y avoir 2 bonnes réponses à un problème de physique si on utilise 2 approches différentes.

Question 19. Je discute avec mes amis ou d'autres étudiants de concepts de physique afin de mieux les comprendre.

Question 20. Lorsque je suis bloqué sur un problème de physique, je ne consacre jamais plus de 5 minutes à tenter de le résoudre avant d'abandonner ou de demander de l'aide à une autre personne.

Question 21. Pendant un examen, lorsque je n'arrive plus à me souvenir d'une équation particulière pour résoudre un problème, il n'y a rien d'autre (de permis!) que je puisse faire pour résoudre le problème.

Question 22. Si je veux appliquer une méthode utilisée pour résoudre un problème à un autre problème, cet autre problème doit être très similaire au premier.

Question 23. Lorsque je résous un problème de physique, si mes calculs donnent un résultat très différent de celui que j'attendais, je fais confiance à mes calculs plutôt que de reviser le problème.

Question 24. En physique, il est important pour moi de comprendre le sens d'une équation avant d'être en mesure de l'utiliser correctement.

Question 25. J'ai du plaisir à résoudre des problèmes de physique.

Question 26. En physique, les équations établissent des relations utiles entre des quantités mesurables.

Question 27. Il est important que le gouvernement approuve les nouvelles idées en physique avant qu'elles soient largement acceptées.

Question 28. Étudier la physique change ma façon de voir comment le monde fonctionne.

Question 29. Pour apprendre en physique, j'ai seulement besoin de mémoriser la solution de quelques problèmes.

Question 30. Les habiletés que je développe pour résoudre des problèmes de physique peuvent m'être utiles dans la vie de tous les jours.

Question 31. Cette question ne sert qu'à identifier les gens qui répondent sans lire les questions. Encerclez l'option 4 pour que vos réponses soient considérées lors de l'analyse des résultats.

Question 32. Prendre du temps pour comprendre l'origine des équations est une perte de temps.

Question 33. Je crois qu'analyser en profondeur seulement quelques problèmes est une façon efficace d'apprendre la physique.

Question 34. Habituellement, je trouve une façon de résoudre un problème de physique.

Question 35. Les sujets étudiés en physique ont peu de relation avec ce que je vois dans la vie.

Question 36. Parfois, résoudre un problème de plusieurs façons permet d'améliorer ma compréhension de la physique.

Question 37. Pour comprendre la physique, je pense parfois à mes expériences personnelles et aux relations entre ces expériences et le problème que j'essaie de résoudre.

Question 38. Il est possible de comprendre la physique sans utiliser d'équations.

Question 39. Lorsque j'essaie de résoudre un problème de physique, je pense explicitement à quel principe physique correspond ce problème.

Question 40. Si je ne parviens pas à résoudre un problème de physique, il n'y a pas de chance que je parvienne à trouver la solution sans aide.

Question 41. Il est possible pour un physicien de réaliser soigneusement deux fois la même expérience et obtenir malgré tout deux résultats différents qui soient corrects.

Question 42. Lorsque j'étudie la physique, j'établis des relations avec ce que je sais déjà plutôt que de simplement mémoriser les choses.

8 Bibliographie

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Wieman

[2] <http://phet.colorado.edu/>

[3] Wieman, C E. "A powerful tool for teaching science." *Nature*, 2006.

[4] Wieman, C E, W K Adams, and K K Perkins. "PhET: simulations that enhance learning." *Science*, 2008.

[5] W. K. Adams, K. K. Perkins, N. S. Podolefsky, M. Dubson, N. D. Finkelstein, et C. E. Wieman, *A new instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: the Colorado Learning Attitudes about Science Survey*, Physical Review Special Topics - Physics Education Research, 2006.

[6] W. K. Adams, S. Reid, R. LeMaster, S. B. McKagan, K. K. Perkins, M. Dubson et C. E. Wieman, *A study of educational simulations part I - engagement and learning*, Journal of Interactive Learning Research, 2008.

[7] W. K. Adams, K. K. Perkins, M. Dubson, N. D. Finkelstein et C. E. Wieman, *The design and validation of the Colorado Learning Attitudes about Science Survey*, Physics Education Research Conference, 2004.

[8] K. K. Perkins, W. K. Adams, S. J. Pollock, N. D. Finkelstein et C. E. Wieman, *Correlating student beliefs with student learning using the Colorado Learning Attitudes about Science Survey*, Physics Education Research Conference, 2004.

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduction | 3 |
| 1.1 | Présentation du projet | 3 |
| 1.2 | Pertinence de la recherche et objectifs..... | 4 |
| 1.3 | Objectifs..... | 5 |
| 2 | Les simulations PhET | 6 |
| 2.1 | Présentation..... | 6 |
| 2.2 | Processus d'élaboration..... | 7 |
| 2.3 | Utilisation en classe..... | 8 |
| 3 | Méthodologie..... | 9 |
| 3.1 | Les groupes étudiés | 9 |
| 3.2 | Le questionnaire CLASS et traitement des résultats | 10 |
| 3.3 | Formulation des questions complexes, modalités de passation et traitement.. | 11 |
| 4 | Résultats | 12 |
| 4.1 | Les données du formulaire CLASS | 12 |
| 4.2 | Les questions complexes | 20 |
| 4.3 | Les questions à choix de réponses..... | 21 |
| 5 | Interprétation des résultats..... | 21 |
| 5.1 | Remarques préliminaires | 21 |
| 5.2 | La motivation | 22 |
| 5.3 | La qualité de la compréhension | 22 |
| 5.4 | Habiletés cognitives | 23 |
| 5.5 | Troisième groupe..... | 25 |
| 6 | Conclusion..... | 26 |
| 7 | Annexes..... | 28 |
| 7.1 | Le questionnaire CLASS..... | 28 |
| 8 | Bibliographie..... | 32 |