

Apport des technologies informatiques dans l'enseignement de la physique : état de la question et conception d'un logiciel de simulation interactif

Abdeljalil Métioui

Université du Québec à Montréal, metioui.abdeljalil@uqam.ca

Louis Trudel

Université d'Ottawa, ltrudel@uottawa.ca

Fathi Matoussi

Université Virtuelle de Tunis, fathi.matoussi@gmail.com

Résumé

Dans la présente recherche, nous synthétiserons l'essentiel des travaux portant sur le développement d'environnements informatiques interactifs reliés à l'enseignement et à l'apprentissage de la physique. Nous verrons que peu de logiciels proposent des environnements qui rendent compte des représentations erronées de l'utilisateur afin de lui faire prendre conscience de ses erreurs. La majorité présente des activités de modélisation qui se limitent généralement à la « collecte automatisée des données » d'expérimentation et leurs analyses sous formes graphiques. Aussi, nous présenterons la conception d'environnements informatiques pour l'apprentissage du phénomène d'absorption et de diffusion de la lumière qui rendra compte des représentations initiales de l'utilisateur. Ces environnements se divisent en cinq étapes : (1) évaluation des représentations initiales; (2) confrontation des représentations initiales par la simulation; (3) reconstruction par l'utilisateur de ses représentations à la suite des simulations réalisées; (4) reconstruction des représentations à la suite de l'information scientifique présentée et (5) évaluation.

Mots clés

État de la question, physique, conception, environnements interactifs, représentations

1. Introduction

Pour faciliter l'enseignement et l'apprentissage des concepts de base de la physique, les chercheurs recourent de plus en plus aux technologies informatiques (TI) pour créer des environnements interactifs. Dans la présente recherche, nous énumérerons d'abord les difficultés qui y sont reliées et, ensuite, nous exposerons l'essentiel des travaux portant sur l'utilisation des TI en physique, suivis de leur analyse critique. Finalement, nous décrirons la conception d'un logiciel interactif qui rend compte des représentations de l'utilisateur et nous présenterons nos conclusions et les limites de notre étude.

2. Aperçu des problèmes reliés à l'enseignement et à l'apprentissage de la physique

Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 2005), les problèmes reliés à l'enseignement et à l'apprentissage des sciences perdurent malgré de multiples réformes des programmes ministériels. Les difficultés rencontrées sont multiples : (1) l'acquisition des concepts de base de la physique n'est pas facile, car l'élève doit déconstruire le cadre explicatif auquel il réfère pour expliquer un phénomène donné. À ce sujet, le Conseil canadien sur l'apprentissage (2007, p. 3) note que « l'effort nécessaire pour intégrer des connaissances scientifiques toujours plus complexes et souvent contre-intuitives peut provoquer du découragement chez l'élève et même le détourner de l'étude des sciences »; (2) la formation des enseignants en didactique (Coppens, Rebmann, & Munier, 2009) et en sciences (Métoui & Trudel, 2012a; OCDE, 2005; Walport, 2010) n'est pas suffisante; (3) le temps dispensé ne permet pas aux enseignants d'étudier la construction des concepts de la physique à travers l'histoire, afin d'analyser les difficultés rencontrées par des scientifiques de renom pour étudier différents phénomènes naturels et construits; (4) le nombre d'élèves dans une classe ne permet pas de tenir compte des difficultés conceptuelles de chacun et (5) les laboratoires tels que dispensés ne réussissent pas à faire voir aux élèves les interactions qui existent entre la théorie et la pratique, et malheureusement cette dernière est souvent réduite à une simple vérification de la théorie (Nonnon & Métoui, 2003). Pour pallier ces difficultés, certains chercheurs démontrent qu'un enseignement tutoriel permet aux élèves de réaliser des apprentissages significatifs : « Successful teaching practices have been implemented in a small number of physics classrooms internationally. These often involve strategically planned tutorials, concept checks in lecture classes and increased opportunities for student discussion » (Muller, Bewes, Sharma, & Reimann, 2008, p. 144). Un tel enseignement requiert de plus petits groupes d'élèves et une solide formation des enseignants, ce qui est difficilement réalisable dans nos systèmes actuels d'éducation. Ainsi, selon plusieurs chercheurs, l'utilisation des technologies dans l'enseignement pourrait offrir des avenues prometteuses pour la formation en sciences. Qu'en est-il dans le cas particulier de la physique, point central de la présente recherche?

3. Synthèse des travaux recourant aux technologies informatiques dans l'enseignement de la physique

Pour faciliter l'apprentissage de la physique, on recourt de plus en plus aux technologies informatiques pour développer des activités de modélisation et de simulation : mécanique et cinématique (Couture, 2004; Muller et al., 2008; Riopel, 2005; Smyrniou & Weil-Barais, 2005; Tao & Gunstone, 1999; Trudel & Métoui, 2012; Zhou, Brouwer, Nocente, & Martin, 2005), circuits électriques et électromagnétisme (Baser, 2006; Baser & Durmus, 2010; Berube, 2004; Labrique, Grenier, & Labrique, 2004; Ronen & Eliahu, 2000; Vreman-de Olde & de Jong, 2004), optique (Buty, 2003; Eylon, Ronen, & Ganiel, 1996; Viudez, 2003) et phénomènes sonores (Séjourné, 2003). La majorité des activités développées dans ces travaux permet la « collecte automatisée des données » d'expérimentation et leur traitement graphique par l'utilisateur. À cet égard, la collecte automatisée réfère au processus de collecte des données qui est assurée par une sonde branchée à un port externe d'un ordinateur permettant par exemple de prendre des mesures de la température ou de l'intensité du courant électrique. Les données colligées par un tel procédé sont par la suite transmises et enregistrées, permettant leur traitement par des logiciels d'analyse tels que Regressi (Trudel & Métoui,

2012). Selon notre revue de la littérature et à l'instar d'autres recherches ayant réalisé une revue critique des travaux qui conçoivent des logiciels de simulation pour appuyer l'enseignement et l'apprentissage des sciences (Lee et al., 2011; Smetana & Bell, 2012), force est de constater qu'il n'y a pas suffisamment de logiciels de simulation qui créent des environnements permettant à l'utilisateur de détecter explicitement ses erreurs afin de les faire évoluer vers des représentations scientifiques, comme dans le cas des travaux de Muller et al. (2008) et de ceux de Baser et Durmus (2010), pour ne citer qu'eux. Par exemple, Baser et Durmus (2010) ont développé des stratégies axées sur le conflit conceptuel chez des enseignants en formation pour l'ordre primaire dans le cas du fonctionnement de circuits électriques simples. Dans leur stratégie, l'utilisateur devait dans un premier temps remplir un questionnaire qui servait à le déstabiliser au plan conceptuel une fois qu'il aura vérifié ses éléments de réponses par l'entremise de la simulation. Cette étape est indispensable pour créer les premières conditions qui l'amèneront à faire évoluer ses représentations erronées vers d'autres scientifiques. La simulation ne rend pas compte des représentations de l'utilisateur et ne peut l'aider à apprendre, comme le montre la recherche de Yeo, Loss, Zadnik, Harrison et Treagust (2004) selon qui le recours à des expériences simulées sur le mouvement de projectiles a fait interagir superficiellement des étudiants puisqu'ils ont conservé leurs représentations intuitives qui sont erronées sur le mouvement. Dans la même perspective, Zhou et al. (2005) montrent qu'il est possible de créer le changement conceptuel en recourant à des expériences qui seront suivies d'une intervention de l'enseignant pour susciter la discussion et l'argumentation entre les étudiants à la suite des simulations. Mais pour ce faire, l'enseignant doit avoir les compétences nécessaires pour gérer les représentations erronées des étudiants. Les auteurs synthétisent leurs résultats selon ce qui suit : « This study demonstrates that computer-based applets, designed in the light of constructivism, can be helpful in fostering conceptual change/learning, but they should be used in a constructivist teaching environment to be more effective. [...]. Well-designed new media applications must be used in a constructivist teaching environment by enthusiastic teachers to be effective » (Zhou et al., 2005, p. 47).

De plus, nous avons identifié dans la plupart des travaux analysés un autre problème qui est relié à la méthodologie de recherche utilisée. En effet, les expérimentations simulées n'ont pas été réalisées avec un groupe expérimental et un groupe témoin pour montrer le bien-fondé de la simulation relativement au laboratoire traditionnel. Smetana et Bell (2012, p. 1320) soulignent à ce sujet ce qui suit : « [...], several studies did not include a comparison group. In these cases, the question remains whether students would have learned as much without the simulation, under the traditional instruction. In those studies that employed a variety of instructional interventions, the contribution of the simulation to student outcomes is uncertain without appropriate controls. »

La présente recherche s'inscrit dans la lignée des travaux menés par Baser et Durmus (2010) en électricité et propose la conception d'environnements informatiques dans le cas de l'optique aux enseignants en formation et en exercice pour l'ordre primaire.

4. Conception d'environnements informatiques

La conception d'environnements informatiques pour l'apprentissage du phénomène de l'absorption et de la diffusion de la lumière sera structurée en cinq étapes, comme il est illustré à la figure 1. Qu'entendons-nous cependant par le terme de conception d'environnements informatiques? Nous l'employons dans le sens de Tchounikine (2009, p. 2) selon qui « le terme de conception d'un EIAH (environnements informatiques pour l'apprentissage humain) renvoie au fait d'imaginer, de penser, d'élaborer, de représenter un artefact informatique en tenant compte des objectifs pédagogiques poursuivis et des contraintes de nature diverses pouvant s'exercer, et donc, en particulier, des situations pédagogiques visées. Les termes de réalisation ou de construction renvoient au fait de rendre exécutable sur un ordinateur, i.e., le programmer. »

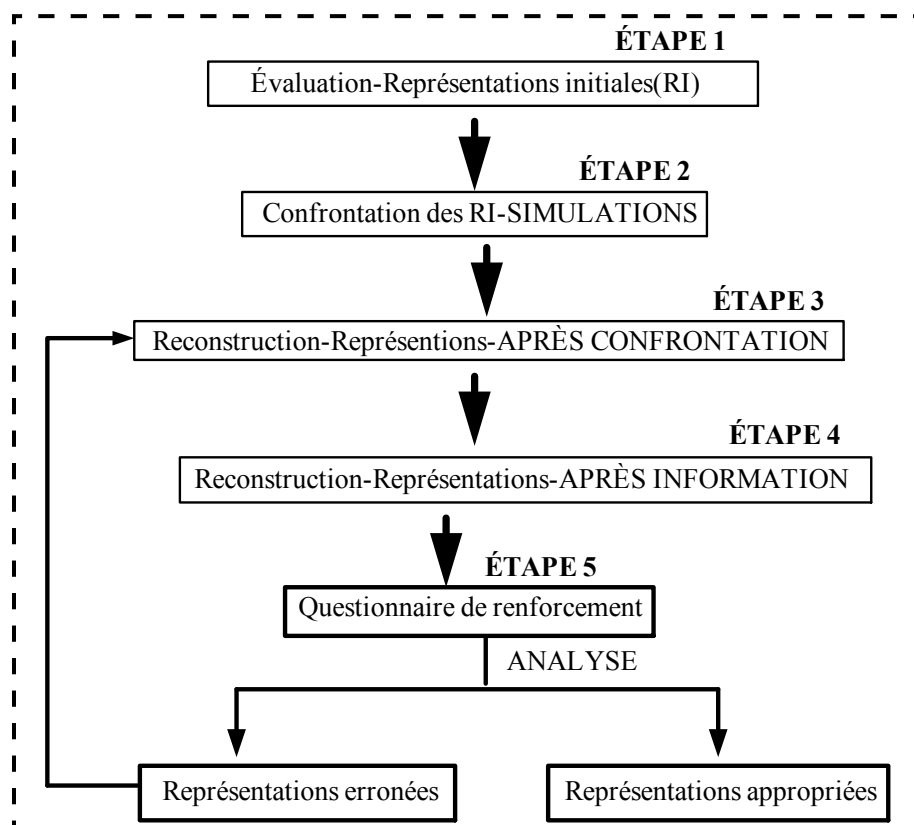


Figure 1. Schéma théorique d'un logiciel de simulation interactif.

La première étape sert à évaluer les représentations initiales de l'utilisateur qui aura à remplir un questionnaire à choix multiples dont chaque question est formulée sous forme d'énoncé et il devra indiquer, tout en justifiant son choix, s'il est vrai ou faux. Dans une deuxième étape, l'utilisateur confrontera ses réponses anticipées par le biais de la simulation. Pour cela, une fenêtre de simulation sera à sa disposition pour valider

lui-même sa réponse. Ceci l'incitera à remettre en question sa structure conceptuelle et il voudra probablement reformuler ses explications dans les cas où certaines de ses réponses anticipées s'avèreraient erronées. S'il le souhaite, le système l'invitera à reformuler de nouveau ses explications (troisième étape).

Selon Zhou (2010, p 108), cette phase de vérification par le biais de la simulation facilitera le changement conceptuel : « The ability for students to visually compare the consequence of their predictions with the realistic process can be helpful in creating cognitive conflict and facilitating conceptual change. »

Dans une quatrième étape, il sera de nouveau invité à reformuler ses réponses erronées à la suite de l'information scientifique qui lui sera offerte. On lui présentera une synthèse des théories, des lois et des modèles scientifiques dont l'acquisition est indispensable pour expliquer les résultats découlant des expérimentations sur le phénomène étudié et une fenêtre de documentation sera dédiée à cette fin. L'objectif est de lui permettre d'acquérir certaines notions de base en lien avec le phénomène étudié, sans toutefois lui donner les explications scientifiques reliées directement au phénomène. À cette étape, il est probable qu'il remettra en question sa structure conceptuelle et reconstruira une nouvelle structure qui, cette fois-ci, sera juste au plan scientifique. Dans une cinquième étape, on lui présentera de nouveau le questionnaire qu'il a rempli lors de la première étape. Pour chaque question, il devra évaluer différentes représentations en indiquant pour chacune si elle est vraie, partiellement vraie, incomplète ou fausse, tout en justifiant son choix. Dans cette étape, il ne devra pas recourir à la simulation, mais plutôt référer à ses nouvelles connaissances et inscrire dans une fenêtre son évaluation, comme demandé. Dans le cas où l'utilisateur n'a pas réellement compris le phénomène, ses réponses risquent de le déstabiliser, voire de semer un doute chez lui. Pour mettre en évidence ces représentations, nous avons soumis un questionnaire papier-crayon à 120 étudiants en formation des maîtres dans le cadre d'un cours portant sur la didactique des sciences. Nous avons aussi tenu compte des travaux portant sur les représentations des enseignants et des élèves qui sont peu nombreux relativement à ce phénomène (Métoui & Trudel, 2012b; Ravanis, Zacharos, & Vellopoulou, 2010; Selley, 1996).

Si les analyses effectuées par l'utilisateur sont appropriées, le système l'invitera à remplir un questionnaire de renforcement qui portera sur de nouvelles questions.

5. Conclusion et limites de notre étude

Notre analyse des travaux précités portant sur le développement d'environnements informatiques révèle que très peu de recherches ont été menées dans le but de comprendre ce qu'ils apportent réellement pour corriger les représentations erronées des élèves telles que répertoriées dans notre revue de la littérature et que l'enseignement traditionnel ne réussit pas à corriger, comme le confirment plusieurs organismes tels que l'OCDE (2005). Aussi, très peu de travaux ont été menés pour voir comment les ressources multimédias pourraient être utilisées pour rendre compte des erreurs des apprenants afin d'engendrer le conflit conceptuel et de proposer les environnements avec lesquels l'utilisateur doit interagir afin de rétablir son équilibre conceptuel, et ce, au sens de Posner, Strike, Hewson, & Gertzog (1982). Également, peu de recherches se sont préoccupées des prérequis des utilisateurs afin d'employer adéquatement les outils mis à leur disposition, telle la représentation graphique comme outil d'acquisition des connaissances. Plusieurs recherches montrent que les élèves ont de sérieuses difficultés à utiliser correctement une telle représentation graphique (Roth & McGinn, 1997).

Le passage suivant, emprunté à Muller et al. (2008, p. 144) synthétise l'essentiel de nos avancées : « [...] limited research has been conducted on how resources like linear multimedia can be altered to promote conceptual change. Multimedia research has investigated student learning of scientific topics [...], but the issue of misconceptions has rarely been addressed. Studies have also typically been conducted in controlled laboratory environments, with learners who have little or no prior knowledge about the subject matter nor experience in the ways of knowing, learning and thinking in the domain. »

Enfin, en ce qui concerne le deuxième volet de notre recherche, nous nous proposons de poursuivre notre travail de conception, notamment en ce qui a trait aux notions scientifiques que le système présentera à l'utilisateur (étape 4). Pour cela, nous sommes en train de réaliser une analyse conceptuelle afin d'identifier les notions scientifiques les plus importantes que l'utilisateur devrait acquérir. Cette analyse rendra compte des théories erronées construites par les scientifiques au cours de l'histoire et servira entre autres à valoriser les représentations erronées de l'utilisateur.

Quant à la partie réalisation (au sens de Tchounikine) des environnements proposés, elle sera développée une fois que notre travail de conception sera avancé. À ce sujet, nous sommes conscients que la réalisation de la partie informatique pourrait nous amener à revoir certains éléments de notre conception pour des raisons reliées à leur programmation. Ainsi, nous pensons recourir à d'autres supports comme la vidéo (Trudel & Métioui, 2012) dans le cas des expérimentations qui seraient difficiles à réaliser sur un écran d'ordinateur.

Références

- Baser, M. (2006). Effects of conceptual change and traditional confirmatory simulations on preservice teachers' understanding of direct current circuits. *Journal of Science Education and Technology*, 15(5), 367-381.
- Baser, M., & Durmus, S. (2010). The effectiveness of computer supported versus real laboratory inquiry learning environments on the understanding of direct current electricity among pre-service elementary school teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(1), 47-61.
- Berube, R. H. (2004). *Computer simulated experiments for electric circuits using electronics workbench Multisim*. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.
- Buty, C. (2003). Richesses et limites d'un « modèle matérialisé » informatisé en optique géométrique. *Didaskalia*, 23, 39-63.
- Conseil canadien sur l'apprentissage. (2007). *Apprentissage informel de la science au Canada. Carnet du savoir*. Ottawa, ON : CCA.
- Coppens, N., Rebmann, G., & Munier, V. (2009). Suivre l'évolution des conceptions des élèves en mécanique : développement et évaluation d'exercices informatisés. *Didaskalia*, 35, 37-58.
- Couture, M. (2004). Realism in the design process and credibility of a simulation-based virtual laboratory. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20(1), 40-49.
- Eylon, B., Ronen, M., & Ganiel, U. (1996). Computer simulations as tools for teaching and learning : Using a simulation environment in optics. *Journal of Science Education and Technology*, 5(2), 93-10.

- Labrique, S., Grenier, D., & Labrique, F. (2004). Entre savoir et savoir-être, du rôle des TIC dans le processus d'apprentissage du génie électrique : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, 24, 104-131.
- Lee, S.-W.-L., Tsai, C.-C., Wu, Y.-T., Tsai, M.-J., Liu, T.-C., Hwang, F.-K., . . . Chang, C.-Y. (2011). Internet-based science learning : A review of journal publications. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1893-1925.
- Métioui, A., & Trudel, L. (2012a). Quebec secondary physics teachers and modern science : The case of the concept of matter. *The International Journal of Science in Society*, 3(1), 177-190.
- Métioui, A., & Trudel, L. (2012b). The model of the rectilinear propagation of light and the study of the variation of the size of a shadow. *US-China Education Review*, 2(9), 173-186.
- Muller, D. A., Bewes, J., Sharma, M. D., & Reimann, P. (2008). Saying the wrong thing : Improving learning with multimedia by including misconceptions. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(2), 144-155.
- Nonnon, N., & Métioui, A. (2003). L'appropriation du processus de vérification expérimentale par des étudiants en formation des maîtres au secondaire : exemple de la diffusion de la chaleur dans un liquide. *Res Academica*, 21(1), 39-61.
- Organisation de coopération et de développement économique. (2005). *Declining enrolment in science & technology Studies. Is it real? What are the causes? What can be done?* Amsterdam, Pays-Bas : OCDE.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accomodation of a scientific conception : Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-228.
- Ravanis, K., Zacharos, K., & Vellopoulou, A. (2010). The formation of shadows : The case of the position of a light source in relevance to the shadow. *Acta Didactica Napocensia*, 3(3), 1-6.
- Riopel, M. (2005). *Conception et mise à l'essai d'un environnement d'apprentissage intégrant l'expérimentation assistée par ordinateur et la simulation assistée par ordinateur* (Thèse de doctorat inédite). Université de Montréal, Montréal, QC. Repéré à <http://tel.archives-ouvertes.fr/edutice-00001008>
- Ronen, M., & Eliahu, M. (2000). Simulation – a bridge between theory and reality : The case of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16, 14-26.
- Roth, W. M., & McGinn, M. K. (1997). Graphing : A cognitive ability or a cultural practice? *Science Education*, 81, 91-106.
- Séjourné, A. (2003). Éléments théoriques pour la conception d'un hypermédia en sciences physiques et pour l'analyse de l'activité des élèves : le cas des phénomènes sonores. *Didaskalia*, 23, 65-99.
- Selley, N. J. (1996). Children's ideas on light and vision. *International Journal of Science Education*, 18(6), 713-723.
- Smetana, L.-K., & Bell, R.-L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning : A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370.
- Smyrnaïou, Z., & Weil-Barais, A. (2005). Évaluation cognitive d'un logiciel de modélisation auprès d'élèves de collège. *Didaskalia*, 27, 133-149.
- Tao, P.-K., & Gunstone, R.-F. (1999). The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of research in science teaching*, 36(7), 858-882.

- Tchounikine, P. (2009). *Précis de recherche en ingénierie des ELAH*. Repéré à <http://membres-liglab.imag.fr/tchounikine/Precis.html>
- Trudel, L., & Métioui, A. (2012). Effect of a video-based laboratory on the high school pupils' understanding of constant speed motion. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(5), 71-76.
- Viudez, C. (2003). Expérimentation d'un environnement informatique dans le cadre de travaux pratiques sur l'interféromètre de Michelson en licence : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, 23, 147-161.
- Vreman-de Olde, C., & de Jong, T. (2004). Student-generated assignments about electrical circuits in a computer simulation. *International Journal of Science Education*, 26(7), 859-873.
- Walport, M. (2010). *Science and mathematics secondary education for the 21st century. Report of the Science and Learning Expert Group*. Repéré à <http://interactive.bis.gov.uk/scienceandsociety/site/learning/files/2010/02/Science-and-Learning-Expert-Group-Report-Annexes-31.pdf>
- Yeo, S., Loss, R., Zadnik, M., Harrison, A., & Treagust, D. F. (2004). What do students really learn from interactive multimedia? A physics case study. *American Journal of Physics*, 72(10), 1351-1358.
- Zhou, G.-G. (2010). Conceptual change in science : A process of argumentation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(2), 101-110.
- Zhou, G.-G., Brouwer, W., Nocente, N., & Martin, B. (2005). Enhancing conceptual learning through computer-based applets : The effectiveness and implications. *Journal of Interactive Learning Research*, 16(1), 31-49.