

Évaluation informatisée des cheminements d'apprentissage de la modélisation scientifique

Martin Riopel, Patrice Potvin et Gilles Raïche

Résumé

Dans le but de rendre les séances au laboratoire de science plus formatrices, nous avons développé un environnement informatisé d'apprentissage humain qui permet aux étudiants de s'engager dans un processus de modélisation scientifique en combinant l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) et la simulation assistée par ordinateur (EAO). La caractéristique la plus originale de l'environnement est de permettre aux étudiants de comparer un mouvement filmé en vidéo avec une simulation animée d'un phénomène en superposant directement les images réelles (de la vidéo) et virtuelles (de la simulation). Nous avons expérimenté l'environnement développé avec plusieurs groupes d'étudiants et nous avons observé qu'ils ont réussi à l'utiliser pour obtenir des réponses à des questions concernant des concepts scientifiques préalablement abordés en classe ainsi que des concepts complètement nouveaux. Les étudiants ont complété l'expérience environ deux fois plus rapidement que normalement et ont émis l'avis que l'utilisation de l'environnement d'apprentissage permettait de mieux comprendre le phénomène que les expériences habituelles. Nous en concluons qu'il serait intéressant d'explorer plus en profondeur certaines propriétés de cet environnement dans des recherches futures.

Abstract

In order to facilitate learning during science labs, we developed a computerized learning environment allowing students to engage in a scientific modelling process by combining computer-assisted experimentation (ExAO) and computer-assisted simulation (EAO). The novelty of this environment resides in the fact that students can superimpose real video images and simulated animations. We tested the environment with several groups of students and observed that they were able to use it to answer questions about concepts seen in class but also about entirely new concepts. The students completed the experiments twice as fast as with the usual lab environment and reported a better understanding of the phenomenon being studied. We conclude a deeper understanding of the properties of this environment could be achieved through further research.

Introduction

Depuis leur apparition sur le marché dans les années 80, les ordinateurs

personnels sont devenus de plus en plus présents dans notre société. Ils en constituent maintenant clairement une composante essentielle et un des rôles du milieu de l'éducation est de trouver des façons d'en faire bon usage. Les applications pédagogiques de l'ordinateur en sciences sont généralement séparées en quatre catégories définies dans Berger et al. (1994) et que nous avons présentées dans le tableau 1. Nous avons ajouté à ce tableau une cinquième catégorie présentée dans Moreau et al. (2004) et qui concerne les développements récents de la technologie en ligne.

Tableau 1
Catégories d'environnements informatisés d'apprentissage humain

Catégorie	Description
Expérimentation assistée par ordinateur (ExAO)	Environnement qui interagit avec une expérimentation réelle par le biais d'une interface munie de capteurs et reliée à un ordinateur permettant de recueillir les données, de les représenter et de les analyser.
Simulation assistée par ordinateur (SAO)	Environnement qui utilise les possibilités de calcul et d'affichage de l'ordinateur pour simuler un phénomène et le représenter à l'écran avec différents niveaux de complexité, d'interactivité et de réalisme.
Évaluation assistée par ordinateur (EAO)	Environnement qui correspond à des tests administrés et compilés par un ordinateur, localement ou à distance, et susceptibles de mettre en évidence certains besoins des étudiants dans le but de les diriger vers les ressources correspondantes à ces besoins.
Production multimédia et hypermédia (PMH)	Environnement qui correspond à des exercices, à des documents multimédias pouvant contenir des hyperliens et à des présentations sur support informatique avec lesquels les étudiants peuvent interagir.
Communauté virtuelle éducative (CVE)	Environnement qui permet à des groupes d'étudiants, sous la supervision de modérateurs, de collaborer au moyen de la technologie comme le font les chercheurs.

Durant les dernières années, les recherches effectuées au Laboratoire de robotique pédagogique de l'Université de Montréal se sont surtout intéressées aux deux dernières catégories qui conviennent particulièrement bien au travail expérimental des étudiants en sciences. On peut considérer, par exemple, les travaux de Fournier(2001) en ExAO et de Cervera(1998) en SAO. Les travaux de Fournier concernent un environnement d'apprentissage permettant à l'étudiant de construire un système de mesure. Cette construction amène l'étudiant à entreprendre un processus de modélisation essentiellement inductif qui lui permet de mieux comprendre des phénomènes mesurables. Les travaux de Cervera (1998) concernent un environnement d'apprentissage basé sur des simulations de phénomènes particulièrement abstraits faisant intervenir des fluides dans des systèmes technologiques fermés. Cet environnement permet à l'étudiant d'expérimenter et d'observer en temps réel le comportement de systèmes complexes qui ne sont pas directement observables. Nous croyons que ces travaux de Fournier en ExAO et de Cervera en SAO peuvent et doivent être vus comme complémentaires.

Nous avons donc entrepris d'explorer cette complémentarité de l'ExAO et de la SAO en développant une nouvelle génération d'environnement informatique intégrant de façon cohérente ces deux approches dans un même logiciel. Nous avons choisi pour cela le contexte de la mécanique classique au niveau pré universitaire. Cette idée de combiner les avantages des deux approches nous a semblé intéressante parce qu'elle permet de faire parcourir à l'étudiant, en une seule séance de laboratoire, un cycle complet du processus de modélisation scientifique. Nous avons observé que cette nouvelle juxtaposition des potentialités de l'ExAO et de la SAO pour assister les étudiants en induction et en déduction est susceptible de provoquer une accélération du cheminement expérimental de ceux-ci et un enrichissement de leurs raisonnements.

Considérations

Afin de guider notre démarche lors de l'élaboration du prototype, nous avons tout d'abord adopté une position épistémologique réaliste, telle que définie par Begin (1997), qui considère que les modèles scientifiques sont des constructions destinées à prédire certains aspects d'une réalité objective qui existe indépendamment de l'observateur. Cette position nous a amené à croire que, d'un point de vue didactique, la réalité ne puisse pas être évacuée du processus d'apprentissage de l'étudiant et que celui-ci doive impérativement effectuer des expérimentations sur la réalité pour apprendre et comprendre les sciences. C'est cette croyance qui nous a poussé à concevoir un environnement intégrant l'ExAO et la SAO et à ne pas nous satisfaire de la SAO seule dans le contexte d'un

laboratoire virtuel. En d'autres mots, une simulation de la réalité ne saurait avoir dans tous les cas la même valeur que la réalité elle-même.

Nous avons ensuite considéré le processus de modélisation scientifique tel que présenté par Joshua et Dupin (1999) ainsi que Lawson (1994) et nous avons tenté d'assister les étudiants durant chacune des étapes de ce processus au moyen de l'environnement informatique projeté intégrant l'ExAO et la SAO. L'objectif était évidemment de maximiser l'efficacité de la démarche des étudiants engagés dans un processus de modélisation scientifique.

Nous avons enfin adopté la perspective de DiSessa (1993) qui considère que les étudiants, pour produire des jugements concernant des situations en mécanique, utilisent un espace cognitif qui considère des paramètres d'entrée qu'ils mettent en relation à l'aide des classes de coordination (qui doivent être vues comme des systèmes de connaissances permettant de donner un sens aux phénomènes) et enfin qu'ils traitent à l'aide de primitives phénoménologiques (ou p-prims), qui sont d'une certaine façon analogues aux fonctions primitives d'un programme informatique. Il est important de noter que, selon DiSessa, les p-prims correspondent à des unités plus fondamentales de la compréhension des étudiants que les conceptions ou les représentations. En adoptant une position semblable à celle de Potvin (2002) concernant la perspective de DiSessa, nous avons retenu deux influences principales de cette perspective sur notre développement. La première étant que, si l'on accepte que les unités de base de la compréhension de l'étudiant sont des primitives qui mettent en relation des paramètres, il apparaît naturel de concevoir un environnement basé sur des paramètres que l'étudiant est amené à utiliser pour observer directement des effets, plutôt que sur des concepts que l'étudiant est appelé à définir à l'aide de relations analytiques. La seconde influence que nous avons retenue a été de faire en sorte que l'étudiant puisse aller directement vers ce qui l'intéresse, vers ce qui interpelle ses p-prims, sans nécessairement passer par toutes les étapes intermédiaires d'un raisonnement rigoureux. Nous avons donc conçu un environnement devant assister l'étudiant dans le plus de directions possible et en le dirigeant le moins possible, afin de le laisser explorer par lui-même et construire ses connaissances. Nous avons espéré que de cette façon l'étudiant puisse arriver, par un chemin cognitif plus facile et plus rapide, à développer son intuition physique du phénomène avant de pouvoir le raisonner en toute rigueur.

Prototype

L'environnement d'apprentissage a été développé avec le langage Visual Basic pour le système d'exploitation Windows de Microsoft. Cet



Figure 1. Exemple de fenêtre d'animation. Les points blancs correspondent aux positions successives de la balle sur les images de la séquence vidéo. La balle de gauche est simulée.

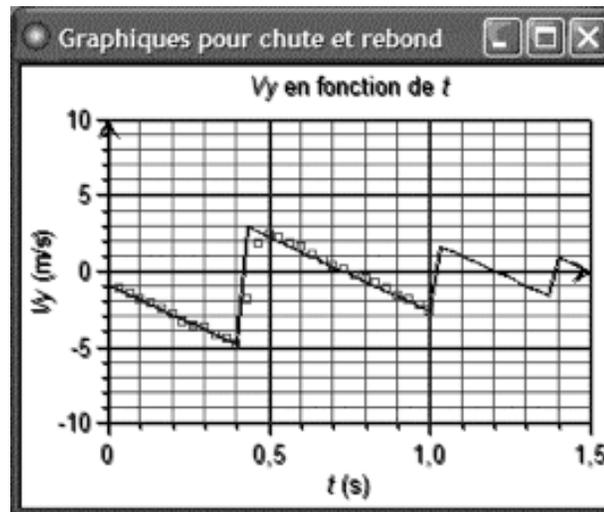


Figure 2. Exemple de fenêtre des graphiques illustrant la vitesse verticale d'une balle lors de sa chute et de ses rebonds : valeurs issues du film (petits carrés) et simulées (trait plein).

Balle1		Mesure1	
Paramètre sim.	Valeur	Paramètre mes	Valeur
t	0	T	0
M	1	M	1
R	0,057	R	1
X	0,864	X	0,999
Y	1,558	Y	1,565
Vx	0	Vx	0
Vy	-0,900	Vy	-1,063
Le temps (en s.)		Le temps (en s.)	

Figure 3. Exemple de fenêtre des paramètres. Les deux colonnes de gauche affichent les valeurs des paramètres simulés. Celles de droite affichent les valeurs des paramètres mesurés.

environnement est une application basée sur trois types de fenêtres : la fenêtre d'animation (figure 1), la fenêtre des graphiques (figure 2) et la fenêtre des paramètres (figure 3). Ces trois fenêtres sont associées à trois types de représentation du même phénomène. Les étudiants peuvent choisir d'afficher ou de cacher chaque fenêtre.

Finalement, l'environnement d'apprentissage peut enregistrer chacune des actions effectuées par les étudiants. Cette fonctionnalité permet de modéliser automatiquement les cheminements d'apprentissage. Il est important de noter ici que c'est précisément la combinaison des potentialités de l'ExAO et de la SAO qui permet au logiciel d'assister les étudiants efficacement pour des étapes de raisonnement aussi bien inductives que déductives.

Résultats

Comme le mentionne Nonnon (1993) dans son modèle, une recherche de développement devrait passer successivement par les étapes de la mise à l'essai fonctionnelle, de la mise à l'essai empirique et de la mise à l'essai systématique. Nous avons retenu cette approche.

Lors des mises à l'essai fonctionnelles, nos deux objectifs principaux étaient l'évaluation de la fonctionnalité du prototype de l'environnement

d'apprentissage développé et l'évaluation de sa capacité à être utilisé dans une situation didactique réelle. Nous avons choisi deux professeurs de physique pour ces évaluations. Les professeurs consultés se sont montrés satisfaits ou très satisfaits de l'environnement pour au moins 78% des questions comportant une évaluation quantitative. Ces mêmes professeurs ont émis l'avis que l'environnement pourrait remplacer avantageusement, compte tenu des fonctionnalités associées à la vidéo, certaines expériences actuellement effectuées par les étudiants, et plus particulièrement celle concernant la chute d'un corps.

Toujours selon le modèle de Nonnon, l'objectif des mises à l'essai empiriques est la mise en évidence, par un processus empirique et essentiellement inductif, des variables associées à l'utilisation du prototype et susceptibles d'être étudiées systématiquement. Ainsi le rôle des mises à l'essai empiriques est nécessairement plus exploratoire que discriminatoire. Nous nous sommes donc fixé comme objectif principal, pour les mises à l'essai de l'environnement développé, de rendre compte des fonctionnalités complètes du prototype, mais avec un nombre limité d'étudiants. Ces fonctionnalités étaient, d'une part, d'offrir la possibilité aux les étudiants de s'engager dans un processus de modélisation et, d'autre part, d'enregistrer et d'identifier les étapes du raisonnement effectué par les étudiants. Pour atteindre cet objectif, nous avons effectué deux mises à l'essai impliquant des étudiants du niveau pré universitaire et suivant le cours de mécanique classique. Pour tenter de mettre en évidence, autant que possible, des variables associées à une utilisation réelle de l'environnement d'apprentissage, nous avons élaboré, avec l'aide des professeurs impliqués dans ces mises à l'essai, un scénario d'utilisation par des étudiants en équipe au laboratoire. Bien entendu, il nous fallait considérer que les étudiants n'avaient aucune expérience avec l'environnement et c'est pourquoi nous avons séparé le scénario en trois parties : une première partie de présentation des fonctionnalités de l'environnement par le professeur, une seconde partie de familiarisation des étudiants avec l'environnement sous la forme d'exercices et une troisième partie d'expérimentation des étudiants avec l'environnement. Nous avons aussi prévu, pour les besoins de cette recherche, d'enregistrer à l'aide d'un magnétophone les observations et les commentaires des étudiants durant toute la durée de l'expérimentation des étudiants afin de conserver autant d'observations que possible et de pouvoir comparer à posteriori ces observations et ces commentaires aux enregistrements effectués par l'environnement d'apprentissage lui-même. Lors de ces mises à l'essai empiriques, nous avons observé que les étudiants se sont engagés avec un certain enthousiasme dans un processus de modélisation faisant intervenir des étapes de raisonnement inductives et déductives. Les étudiants ont consacré en moyenne 47 min à l'expérimentation (28

min en induction, 19 min en déduction). Durant cette période de 47 min, qui correspond environ à la moitié d'une séance de laboratoire habituelle, les étudiants ont modélisé le mouvement de trois objets. Nous avons aussi observé, en comparant la synthèse de la transcription des interventions des étudiants avec la synthèse des enregistrements effectués par l'environnement, que les étapes identifiées automatiquement par l'environnement rendent compte avec une relative fidélité du cheminement des étudiants.

Nous avons ensuite entrepris des mises à l'essai systématiques faisant intervenir un plus grand nombre d'étudiants. Notre principal objectif pour ces mises à l'essai était de valider notre modèle d'action en illustrant comment l'environnement d'apprentissage développé pouvait être utilisé dans le contexte réel d'une classe complète. Nous avons donc choisi d'effectuer les mises à l'essai systématiques dans deux classes comportant respectivement 33 et 34 étudiants. Nous avons convenu avec le professeur d'un scénario d'intervention en trois temps, relativement semblable à celui utilisé pour les mises à l'essai empiriques. Dans la troisième partie, les étudiants étaient invités à analyser une séquence vidéo de la chute d'un objet effectuée à partir d'une fenêtre située au quatrième étage. Le choix d'analyser le mouvement d'un objet plutôt que trois a été fait de

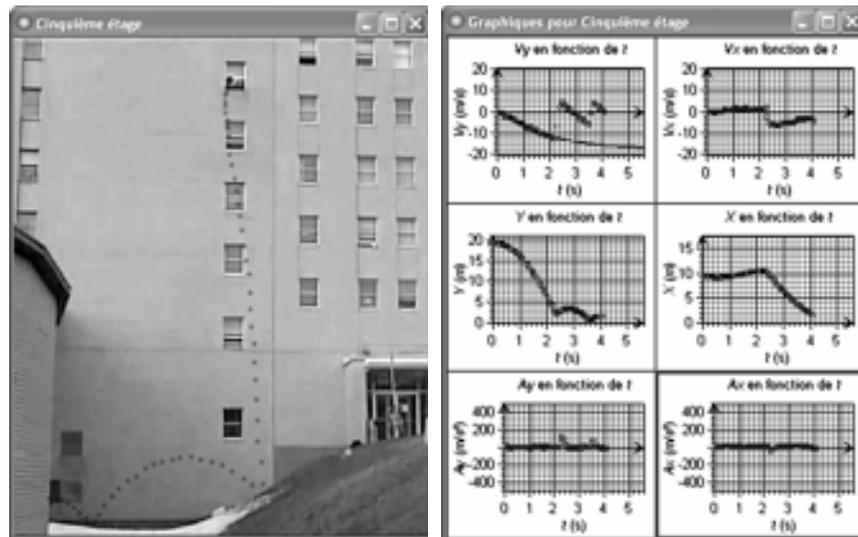


Figure 4. Copie d'écran typique pour une modélisation inductive. À partir des images d'une séquence vidéo, on obtient les positions, les vitesses et les accélérations qui sont ensuite représentées graphiquement.

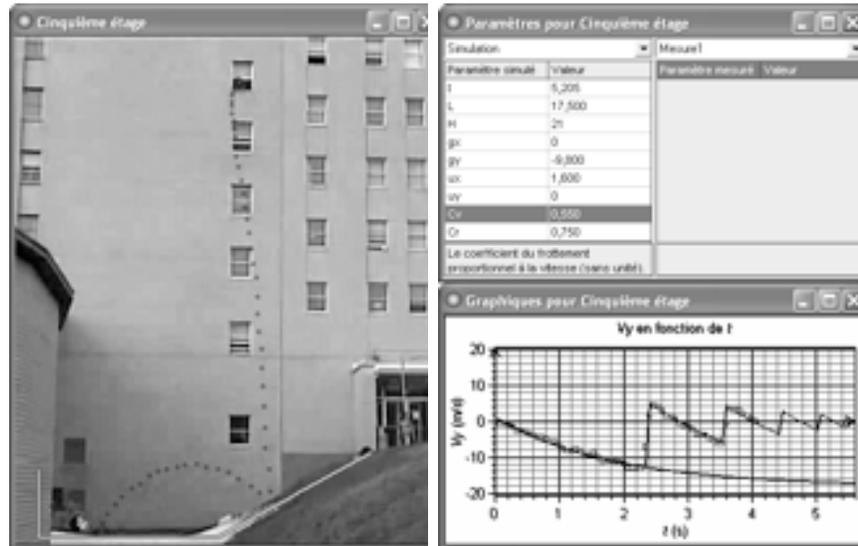


Figure 5. Copie d'écran typique pour une modélisation déductive. On ajuste les paramètres d'une balle simulée afin de reproduire le mouvement de chute et de rebond d'une balle filmée. On obtient ainsi des valeurs pour l'accélération, le coefficient de frottement fluide, le coefficient de restitution lors de la collision avec le sol et la vitesse du vent.

façon à ressembler autant que possible, selon le souhait exprimé par le professeur, à l'expérimentation habituellement effectuée par les étudiants et concernant la chute libre. Nous avons cependant fait en sorte que la seconde moitié de la chute de l'objet soit influencée par le frottement afin de rendre possible un approfondissement par les étudiants. Les figures 4 et 5 illustrent des copies d'écran typiques pour des modélisations en induction et en déduction.

Lors des mises à l'essai systématiques faisant intervenir 67 étudiants, nous avons observé que 68% des étudiants ont réussi à utiliser l'environnement d'apprentissage pour obtenir des réponses satisfaisantes à des questions dont certaines concernaient des éléments de théorie vue en classe et d'autres concernaient des éléments nouveaux. Les étudiants ont effectué en moyenne 74 actions (29 en induction et 42 en déduction) pour compléter l'expérimentation en 41 minutes (22 en induction et 17 en déduction). De plus, nous avons observé que l'environnement d'apprentissage a réussi à identifier de façon satisfaisante les actions des étudiants. L'historique de la figure 6 rend compte de la distribution des étapes du cheminement des étudiants et du temps consacré à chaque étape. Lors des mises à l'essai systématiques, 93% des étudiants se sont

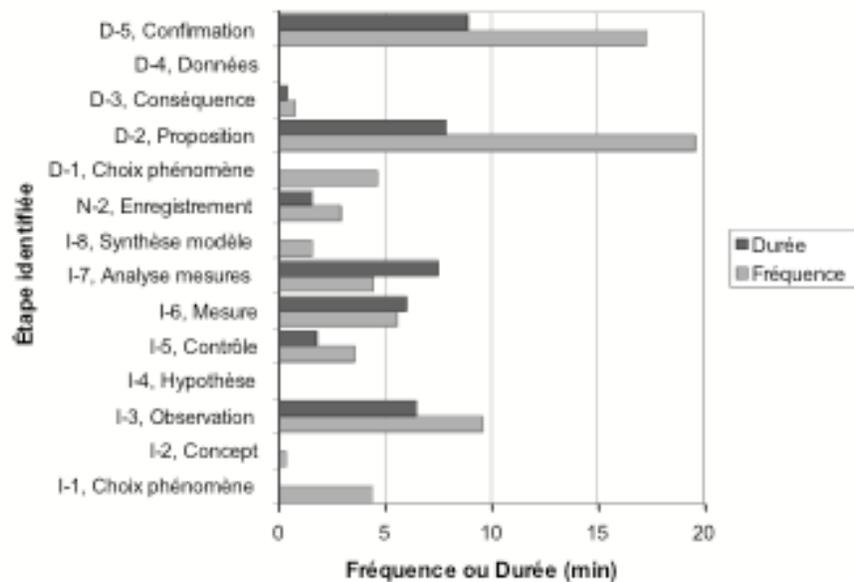


Figure 6. Durée moyenne (en minutes) et fréquence moyenne (en nombre d'épisodes répétés) des épisodes de cheminement. L'écart type sur les valeurs est de 30%. L'ordre des épisodes sur l'axe vertical est arbitraire.

montrés plus intéressés par l'expérience faisant intervenir l'environnement d'apprentissage que par les expériences précédentes du même trimestre. De plus, presque tous les étudiants se sont montrés d'avis que l'environnement d'apprentissage permet de mieux comprendre le phénomène physique que les expériences précédentes du même trimestre.

Conclusion

Dans le cadre de cette recherche qui visait le développement structuré d'un outil didactique, nous avons conçu et développé un environnement informatisé d'apprentissage permettant aux étudiants de parcourir un cycle complet du processus de modélisation scientifique en couplant un système d'expérimentation assistée par ordinateur et un système de simulation assistée par ordinateur. Ce couplage avait pour but d'assister les étudiants, lors de leur implication dans un processus de modélisation d'un phénomène, dans la réalisation des étapes de raisonnement inductives et déductives caractérisant la modélisation scientifique. Suite

aux mises à l'essai, nous concluons que cette nouvelle façon de concevoir l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences que nous avons mise en œuvre et mise à l'épreuve à travers ce développement structuré d'un outil didactique enrichit vraisemblablement l'éventail des possibilités offertes aux étudiants et aux professeurs, qui pourraient utiliser l'environnement pour apprendre et faire apprendre, mais aussi aux didacticiens, qui pourraient utiliser l'environnement pour suivre les cheminements d'étudiants engagés dans un processus de modélisation. Il serait aussi, à notre avis, intéressant d'explorer, par des expérimentations contrôlées avec de grands échantillons, certains mérites propres associés à cette nouvelle façon de concevoir l'utilisation de l'ordinateur, dont certains comme l'accélération temporelle, l'enrichissement du raisonnement et l'équilibre entre l'induction et la déduction, ont été observés dans nos échantillons.

References

- Alters, J. A. (1997). Whose Nature of Science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (1), 39-55.
- Bégin, R. (1997). Conception de la science et intervention pédagogique, *Spectre*, 26 (2), 10-16.
- Berger, C. F., Lu, C. R., Belzer, S. J., & Voss, B. E. (1994) Research on the Uses of Technology in Science Education. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 466-490). Toronto : Maxwell Macmillan Canada.
- Cervera, D. (1998). *Élaboration d'un environnement d'expérimentation en simulation incluant un cadre théorique pour l'apprentissage des fluides*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal, 151 p.
- DiSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and instruction*, 10 (2), 105-225.
- Fournier, F. (2001). *Un environnement d'apprentissage technologique pour la compréhension du concept de mesure en sciences expérimentales*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal, 199 p.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France, 422 p.
- Lawson, A. E. (1994). Research on the Acquisition on Science Knowledge : Epistemological Foundations of Cognition, In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 131-176). Toronto : Maxwell Macmillan Canada.
- Moreau, D., Lesterlin, B., & Beauchesne, S. (2004). Les communautés virtuelles éducatives. *Aster*, 39, 173-198.
- Nonnon, P. (1993). Proposition d'un modèle de recherche développement technologique en éducation. In B. Denis & G.-L. Baron (Eds.). *Regard sur la robotique pédagogique* (pp. 147-154). Liège : Université de Liège-INRP.
- Potvin, P. (2002). *Regard épistémique sur une évolution conceptuelle en physique au secondaire*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal, 221 p.
- Riopel, M. (2005). *Conception et mises à l'essai d'un environnement d'apprentissage intégrant l'expérimentation assistée par ordinateur et la simulation assistée par ordinateur*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal, 326 p.

Riopel, M., & Nonnon, P. (2005). Nouvelle génération d'environnement informatique pour l'apprentissage de la physique intégrant l'ExAO et la SAO dans un logiciel cohérent. *Skholé, HS 2*, 89-95.

Martin Riopel est professeur en technologie éducationnelle à la faculté des sciences de l'éducation de l'UQÀM. Scientifique de formation, auteur de plusieurs logiciels éducatifs, ses intérêts de recherche portent sur les environnements informatisés d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation dans le contexte des sciences, des mathématiques et des langages.

Patrice Potvin est professeur en didactique de la science et de la technologie au secondaire à la faculté des sciences de l'éducation de l'UQÀM. Il a œuvré dans le développement de nombreux programmes de formation, tant au secondaire qu'au niveau universitaire. Ses intérêts de recherche portent sur l'apprentissage des sciences en contexte ouvert ainsi que sur le changement conceptuel.

Gilles Raïche est professeur en mesure et évaluation à la faculté des sciences de l'éducation de l'UQÀM. Ses intérêts de recherche portent sur la mesure, sur l'évaluation des apprentissages en ligne et sur la détection des fraudes aux évaluations.
