

L'impact de la simulation par ordinateur sur le développement des habiletés de recherche en physique des élèves du secondaire

Mohamed I. Mustafa
Université d'Ottawa, mibra026@uottawa.ca

Louis Trudel
Université d'Ottawa, ltrudel@uottawa.ca

Résumé

L'objectif de cette étude fut de comparer l'efficacité de la visualisation de phénomènes naturels à l'aide de simulations par ordinateur et des manipulations d'objets concrets dans le développement d'habiletés de recherche en mécanique des élèves. L'échantillon était composé de 54 élèves de 11^e année provenant de deux classes de physique de la section de préparation universitaire du Conseil scolaire catholique d'Ottawa. Une classe a été assignée à la simulation interactive par ordinateur (traitement) et l'autre à des objets concrets dans un laboratoire de physique (contrôle) comme outils d'apprentissage. Les deux outils étaient ancrés dans une structure générale de l'approche par enquête scientifique guidée. Les résultats ont démontré que l'effet de l'interaction de l'Outil d'apprentissage x Temps d'apprentissage ne fut pas significatif statistiquement parlant. Par contre, les résultats ont aussi démontré un effet significatif sur le développement des habiletés de recherche des élèves sans tenir compte des outils d'apprentissage utilisés. Bien que les résultats conduisent à penser que ces deux stratégies sont efficaces auprès d'élèves dans le développement d'habiletés de recherche en mécanique, les élèves du groupe de simulation par ordinateur ont démontré un plus grand gain dans leurs tests d'habiletés que leurs homologues du groupe en laboratoire.

Mots clés

Mécanique des élèves, temps d'apprentissage, développement d'habiletés de recherche en mécanique, simulation interactive par ordinateur, outil d'apprentissage

1. Introduction

Un certain nombre de difficultés portent atteinte à l'apprentissage par enquête des sciences et empêchent l'implication des élèves dans une recherche constructive. Une des barrières principales à l'apprentissage par enquête est l'absence d'habiletés de recherche d'un niveau adéquat chez l'élève (Hofstein, 2004; Ketelhut, 2007; Kuhn & Pease, 2008), telles que poser des questions, identifier des variables, formuler des hypothèses, concevoir et conduire des recherches ainsi que recueillir et analyser des données. À cause d'un niveau d'habileté de recherche inadéquat, les élèves apprennent souvent les sciences par des observations directes et des tâches de résolution de problèmes sans s'efforcer de faire l'expérience du phénomène naturel ou d'acquérir

des aptitudes et des connaissances pour pouvoir comprendre comment la nature fonctionne (Manlove, Lazonder, & de Jong, 2006; Reid, Zhang, & Chen, 2003). Bien que la plupart des recherches pertinentes aient offert peu d'indices à propos de la façon dont les élèves acquièrent et développent avec le temps ces habiletés, certaines recherches démontrent que des facteurs tels que l'auto-efficacité des élèves, la modélisation, des environnements d'apprentissage collaboratif et l'utilisation d'outils d'apprentissage peuvent avoir un impact sur les habiletés des élèves à progresser dans les tâches de recherche (Ketelhut, 2007; Reid et al., 2003).

Différents outils d'apprentissage ont été identifiés et étudiés en fonction de leur utilité potentielle à aider les élèves à construire des connaissances et à développer des habiletés de recherche (Hofstien, 2004; Jonassen, 1996; Kuhn & Dean, 2005). Beaucoup d'espoir a été soulevé concernant la visualisation des phénomènes naturels lors de simulations interactives sur ordinateurs (Abdullah & Abbas, 2006) et à la manipulation d'objets concrets en laboratoire de sciences (Hofstien, 2004).

D'un côté, la simulation interactive par ordinateur procure un soutien dans pratiquement tous les aspects de la recherche scientifique (Windschit, 2000). Les technologies par ordinateurs ont évolué aujourd'hui au point qu'elles peuvent contribuer à l'apprentissage des élèves dans le cadre d'enquêtes scientifiques et permettre aux enseignants de mieux satisfaire les besoins des élèves (Foti & Ring, 2008). Les apprenants utilisent différents types de simulations pour recueillir, organiser et analyser des données, transformer des données dans une variété de représentations, créer des situations virtuelles avec lesquels ils peuvent tester des hypothèses, et même pour synthétiser et exécuter leurs propres modèles (Kubicek, 2005; Windschit, 2000).

D'un autre côté, plusieurs études ont considéré l'apprentissage par enquête en laboratoire comme étant l'une des manières permettant aux élèves de comprendre les sciences de la nature et de développer leurs habiletés de recherche (Hofstein, 2004; Kipnis & Hofstein, 2007). Ainsi, lorsqu'une recherche en laboratoire est construite dans un contexte de résolution de problèmes, les élèves doivent développer un plan d'action, exécuter ce plan, rassembler les données nécessaires, organiser et interpréter les données, et formuler une conclusion. Ce type de laboratoire de recherche permet de développer la compréhension dans les sciences de la nature et dans l'approche de résolution de problèmes, ainsi que dans l'acquisition d'habiletés de recherche et dans la compréhension des protocoles de recherche scientifique.

Malgré les avantages potentiels de la simulation par ordinateur et de ceux de phénomènes concrets dans l'amélioration de l'apprentissage par enquête, il est important de noter que l'utilisation de ces stratégies peut potentiellement présenter certains désavantages qui doivent être pris en considération. Par exemple, les logiciels de simulation par ordinateur dictent la direction de l'enquête en prédéfinissant les variables. Même si la simulation peut être interactive, les élèves ne peuvent pas tester des modèles alternatifs ou de nouvelles variables qui ne sont pas programmées dans le système et, par conséquent, ils ne peuvent pas identifier des variables par eux-mêmes (Feldman, Finkel, & Marion, 2000; Maxwell, 1999). Aussi, le travail en laboratoire a été critiqué et considéré comme étant contre-productif en semant la confusion chez les élèves. En effet, très souvent, les élèves sont impliqués dans des activités techniques (telles que l'assemblage de l'installation expérimentale) et peu d'opportunités leur sont offertes de présenter leurs interprétations et leurs conceptions à l'égard des phénomènes naturels (Gunstone, 1991). Ces obstacles peuvent empêcher les élèves de bénéficier d'une véritable occasion de développer un niveau adéquat d'habiletés de recherche et, conséquemment, nuisent à leurs efforts pour construire leurs connaissances et s'engager dans des apprentissages par enquête (Kuhn, Black, Keselman, & Kaplan, 2000; Windschit, 2000).

Cette recherche tente donc de comparer les impacts de deux stratégies d'enseignement relativement au développement des habiletés de recherche des élèves dans le domaine de la physique. La première stratégie intégrera la simulation par ordinateur et la deuxième stratégie intégrera des objets concrets comme outils d'apprentissage. Dans ce sens, l'objectif principal est de découvrir lequel des outils d'apprentissage est le mieux adapté afin d'aider les élèves à développer leurs habiletés de recherche et déterminer sous quelles conditions celles-ci se révèlent efficaces. Par conséquent, afin de guider l'étude, les questions de recherches suivantes ont été conçues :

1. Quels sont les impacts possibles de la visualisation de la deuxième loi du mouvement de Newton par la simulation interactive par ordinateur sur le développement des habiletés de recherche des élèves?
2. Quels sont les impacts possibles de la manipulation d'objets concrets pour exécuter l'expérimentation de la deuxième loi de Newton sur le développement des habiletés de recherche des élèves?
3. Comment les effets de l'utilisation de la simulation par ordinateur et de la manipulation d'objets concrets peuvent-ils être comparés?

2. Cadre théorique

Le cadre théorique de cette étude est basé sur l'approche sociale constructiviste de l'apprentissage. Selon cette approche, Piaget (1964) avance que les apprenants sont constamment en train de construire et reconstruire leurs connaissances dans leurs efforts afin de maintenir un système d'interprétation cohérent (Davis, Sumara, & Luce-Kapler, 2008). En outre, ils sont capables de performer à un niveau intellectuel supérieur lorsqu'ils sont guidés par une personne d'expérience et lorsqu'on leur demande de travailler en situation de collaboration (Vygotsky, 1978). Or, les apprenants, dans un environnement d'apprentissage par enquête guidé, ont besoin d'acquérir un niveau approprié d'habiletés de recherche afin d'accomplir avec succès les tâches et les phases de recherche. À cet égard, une des manières de réussir repose sur les opportunités données aux élèves d'apprendre avec des outils cognitifs comme la simulation par ordinateur ou à l'aide d'objets concrets en laboratoire de science.

Lorsque les outils cognitifs présentent des phénomènes naturels semblables à des problèmes de la vie courante, les élèves seraient en mesure de recevoir une rétroaction et d'effectuer une réflexion portant sur leurs essais à résoudre ces problèmes. Dans ce contexte d'apprentissage, la rétroaction et la réflexion valident la performance des élèves lors de la collecte des données et de la prédiction des résultats de recherche (Dewey, 1938; Jonassen, 1996). En effet, les apprenants reçoivent lors de l'investigation des phénomènes naturels une rétroaction non seulement d'une personne expérimentée (comme l'enseignant ou un pair compétent), mais aussi de leurs performances associées à l'outil cognitif. Ce faisant, ils peuvent ressentir le besoin d'ajuster leurs performances en conséquence, leur permettant de prendre conscience de leurs manques d'habiletés de recherche et, ainsi, les encourager à réfléchir à la façon de pallier ces manques. En conséquence, les élèves ont tendance à s'investir à plusieurs reprises dans des enquêtes afin de pratiquer leurs habiletés de recherches et de consolider ces habiletés lors de chaque investissement (Kuhn & Dean, 2005). De plus, l'assistance de l'enseignant et l'interaction avec les pairs présentent des expériences additionnelles qui incitent les élèves à accomplir leurs tâches et à compléter les phases de la recherche plus efficacement.

En conséquence, on s'attend à ce que l'intégration d'outils cognitifs dans l'approche par enquête guidée développe les habiletés de recherche des élèves. Ainsi, la raison principale de la recherche est de comparer l'efficacité des deux stratégies d'enseignement comprenant deux outils cognitifs – la visualisation de phénomènes naturels par la simulation interactive sur ordinateur et la manipulation d'objets concrets dans un laboratoire de physique – sur le développement des habiletés de recherches des élèves en relation à la 2^e loi du mouvement de Newton.

3. Méthodologie

La méthode idéale serait de comparer dans un modèle quasi expérimental le développement des habiletés de recherche des élèves dans deux environnements d'apprentissage : le premier avec une simulation interactive par ordinateur et le second avec des objets concrets et des matériaux de laboratoire de physique. Par conséquent, les hypothèses suivantes ont été postulées et calculées au niveau 0.05 de degré d'importance :

1^{re} hypothèse : les élèves à qui l'on aura enseigné par enquête lors d'une simulation par ordinateur développeront plus significativement leurs habiletés de recherche que les élèves à qui l'on aura enseigné par enquête en laboratoire.

2^e hypothèse : les élèves à qui l'on aura enseigné par enquête en laboratoire développeront significativement plus leurs habiletés de recherche que les élèves à qui l'on aura enseigné par enquête lors d'une simulation par ordinateur.

3^e hypothèse : les élèves à qui l'on aura enseigné par enquête en laboratoire et lors d'une simulation par ordinateur développeront significativement leurs habiletés de recherche.

54 élèves ont été sélectionnés au hasard en 11^e année de la section de préparation universitaire d'une école secondaire d'Ottawa. Sans perturber le cursus scolaire de l'école, cette étude a été conduite lors du premier semestre de l'année scolaire 2010-2011 de l'école. Le contenu de l'étude fut le cours régulier de physique de 11^e année – section de préparation universitaire – développé par le ministère de l'Éducation de l'Ontario et supervisé par un enseignant de physique du secondaire. Les élèves participants provenaient de deux groupes-classes formés de manière normale (chacun d'environ 27 élèves). Les deux groupes effectuaient « Force dans une dimension », une des expériences du curriculum en Ontario – physique (2009). Un groupe était assigné par hasard à un environnement d'enquête par ordinateur, et l'autre à un environnement de laboratoire de physique.

Un modèle *split-plot* à deux sens fut effectué afin d'examiner s'il y avait une différence statistique significative entre les moyennes des résultats des étudiants dans le pré- et post-TIPS (II)¹ (Burns, Okey, & Wise, 1985). Le nombre de questions répondues correctement dans le TIPS (II) a servi de variable dépendante dans l'outil d'apprentissage 2 x 2 fois l'analyse de la variance *split-plot* (ANOVA). Le facteur de l'outil d'apprentissage (entre-sujets) possède deux niveaux : la simulation interactive par ordinateur et le laboratoire de physique; et le facteur de temps de passation du test (entre-sujets) aura deux niveaux : pré- et post- activités sur la deuxième loi de Newton. De plus, un test ANOVA unidirectionnel comparant les résultats MDT²,

1 TIPS est le sigle de Test of Integrated Process Skills (Burns, Okey, & Wise, 1985).

2 MDT est le sigle de Mechanics Diagnostic Test (Halloun, 1985).

Test diagnostique mécanique (Halloun, 1985), des participants dans les deux conditions d'apprentissage fut réalisé afin d'assurer qu'il n'y ait aucune différence préexistante dans la compréhension conceptuelle, et ainsi, a été considéré comme un facteur covariant.

4. Résultats

Les résultats descriptifs du MDT ont démontré que les élèves des deux groupes, en moyenne, avaient des niveaux similaires de compréhension conceptuelle en mécanique. La Figure 1 décrit deux lignes représentant les moyennes des résultats des élèves dans les tests d'aptitude *pré- et post-* (avant et après) du groupe en laboratoire et du groupe en simulation. Le graphique montre une augmentation dans les moyennes des deux groupes. Par contre, il semble que la ligne du groupe de simulation dans le graphique soit plus raide que celle du groupe en laboratoire. Il semble que les élèves dans le groupe de simulation aient obtenu un gain légèrement plus élevé dans les résultats au *TIPS* que les élèves du groupe en laboratoire, malgré le fait que le graphique du groupe de simulation soit plus bas que celui du groupe en laboratoire.

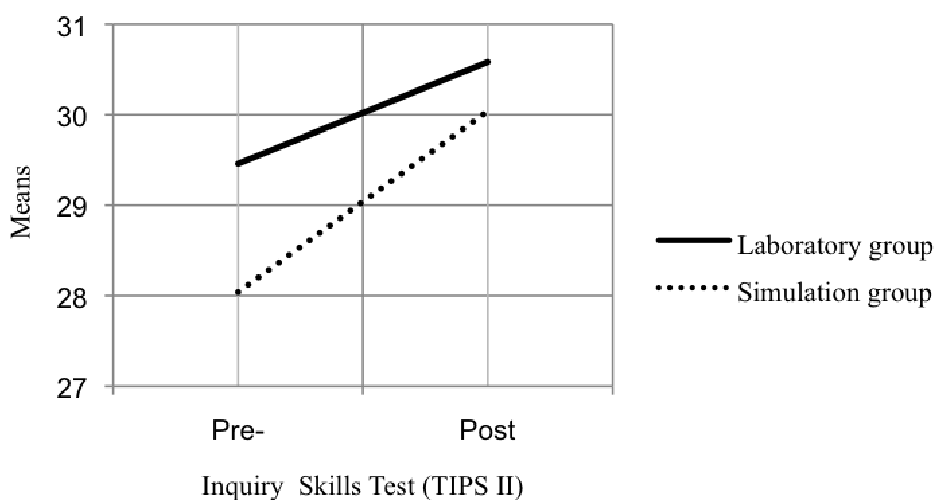


Figure 1. Graphique, moyenne des résultats des élèves dans les pré- et post- *TIPS*, par groupe.

Les résultats du test ANOVA unidirectionnel (Tableau 1) ont soutenu la sélection initiale effectuée avec l'enseignant de physique et ont démontré que le niveau de compréhension conceptuelle des élèves des deux groupes ne diffère pas de façon significative ($F(1, 47) = 0.278$). En conséquence, les résultats au MDT des élèves n'influencent pas la relation entre l'outil d'apprentissage (facteur indépendant) et les résultats du *TIPS* (II) des élèves (facteur dépendant).

	Somme au carré	Df	Moyenne au carré	F	Sig.
Entre les groupes	1.768	1	1.768	0.278*	0.600
Dans les groupes	298.640	47	6.354		
Total	300.408	48			

*p < .05

Tableau 1. Test ANOVA unidirectionnel.

L'analyse de la variance (ANOVA) des mesures répétées (Tableau 2) a démontré que l'effet de l'interaction n'était pas significatif ($F(1,47) = 1.345$). Cela semble indiquer qu'avec le temps, l'effet de l'activité d'apprentissage sur le développement des habiletés de recherches des élèves ne dépend pas du type d'outils d'apprentissage. Donc, les hypothèses 1 et 2 ont été rejetées.

Source	Type III Somme au carré	Df	Moyenne au carré	F	Sig.
Entre-sujets					
Intersection	85424.866	1	85424.866	3300.7	0.000
Outil d'apprentissage	23.56	1	23.56	0.910*	0.345
Erreur	1216.399	47	25.881		
Entre-sujets					
Temps (pré- et post)	59.790	1	59.790	17.207**	0.000
Outil d'apprentissage Temps	4.688	1	4.688	1.349***	0.251
Erreur (temps)	163.312	47	3.475		

*p < .05, **p < .05, ***p < .05

Tableau 2. Outil d'apprentissage Split-plot Analyse des écarts de temps (ANOVA).

Le test à mesures répétées démontre également qu'il n'y avait pas d'effet principal significatif pour l'outil d'apprentissage ($F(1,47) = 0.910$). Cela donne à penser que le type d'outil d'apprentissage n'influence pas significativement le développement des habiletés de recherche des élèves.

Toutefois, le test à mesures répétées révèle un effet principal significatif pour le facteur Entre-sujets ($F(1,47) = 17.207$). Cela indique qu'il y avait une différence statistique significative entre les résultats des élèves dans le *pre-TIPS* (II) et le *post TIPS* (II) quel que soit le type d'outil d'apprentissage utilisé lors de l'activité sur la deuxième loi de Newton. Ainsi, la 3^e hypothèse est soutenue.

5. Discussion

Les résultats de cette recherche démontrent que, dans un environnement d'apprentissage par enquête, la visualisation à l'aide de la simulation interactive par ordinateur ou la manipulation d'objets concrets dans un laboratoire de physique peuvent tous deux être utilisées comme outils d'apprentissage dans le développement des habiletés de recherche en mécanique des élèves. L'effet positif de ces outils d'apprentissage

intellectuel (outils cognitifs) dans le développement des habiletés de recherche des élèves concorde avec les outils cognitifs qui soutiennent les structures ayant comme objectif de compenser pour les connaissances ou les carences en compétences de recherche des élèves (Jonassen, 1996; Linn, Davis, & Bell, 2004; Manlove et al., 2006).

Malgré le fait que les deux outils d'apprentissage n'aient pas démontré une différence statistique significative, les observations subjectives de l'environnement de classe effectuées par le chercheur principal peuvent donner quelque idée sur l'efficacité de la simulation sur ordinateur et sur celles de la manipulation d'objets concrets. Par exemple, dans leurs tentatives d'établir des relations entre la force nette, la masse et l'accélération, les élèves du groupe de simulation par ordinateur ont non seulement eu la chance de manipuler les valeurs de force nette et d'observer le type de mouvement à plusieurs reprises, mais ils ont aussi pu visualiser les effets de composantes spécifiques de la force nette sur l'accélération d'un objet, ce qu'ils n'auraient pu observer s'ils avaient manipulé des objets concrets. En revanche, les élèves du laboratoire de recherche ont eu la chance de manipuler des objets concrets, ce qui a permis de faire des expériences réelles avec des phénomènes naturels (mouvement d'un chariot dynamique) qui a permis aux élèves d'étudier ce qui a influencé le mouvement (accélération) du chariot dynamique.

Cependant, une recherche antérieure a démontré que le développement des habiletés de recherche est typiquement difficile à atteindre dans le laps de temps alloué en général à une recherche en salle de classe et qu'il peut être confondu avec les habiletés des élèves à s'auto-diriger (s'autoréguler) dans leur recherche d'informations (De Jong & van Joolingen, 1998). Cette observation a également été notée lors de la présente recherche. À cet égard, différents défis ont été ciblés tirés du journal du chercheur et à partir des livrets des élèves, y compris les erreurs d'observations, les erreurs instrumentales, les tâches s'étendant sur une longue période de temps et le manque de compétences opérationnelles.

La majeure partie des défis cités ci-dessus a été compensée par une mise en œuvre réussie d'autres composantes de la stratégie d'enseignement telles que la qualité des livrets des élèves, le cadre collaboratif et la supervision de l'enseignant de physique.

6. Conclusion

Les résultats de l'étude ont démontré qu'il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre les types d'outils d'apprentissage utilisés pendant les activités et le développement des habiletés de recherche des élèves mesurés par le *pré-TIPS (II)* et le *post-TIPS (II)*. Les élèves des deux conditions ont significativement développé leurs habiletés de recherche pendant la période allouée aux activités d'apprentissage. À partir de cela, le niveau de compréhension conceptuelle en mécanique des élèves n'a pas influencé leurs efforts à développer leurs habiletés de recherche.

La réponse à la première question de recherche permet de conclure que la simulation par ordinateur permet d'aider les élèves dans l'identification et l'établissement de relations entre les variables. Le fait de travailler avec la simulation par ordinateur permet aux élèves de travailler de manière indépendante et ainsi de gagner du temps précieux à l'enseignement d'autres activités d'apprentissage. Il convient de noter, toutefois, que les simulations actuelles pourraient ne pas promouvoir des expériences réelles avec les phénomènes naturels.

La deuxième question de recherche permet de conclure qu'avec des directives très précises les élèves peuvent bénéficier de la manipulation d'objets concrets en laboratoire de science. Les élèves peuvent comparer leurs idées avec les phénomènes naturels et peuvent ainsi observer comment ils fonctionnent concrètement, ils peuvent pratiquer différentes composantes de leurs habiletés de recherche et voir ce qu'est le réel travail d'un scientifique. Une expérience de laboratoire réussie, par contre, exige une bonne préparation et demande plus de temps à réaliser, ce qui ne peut être possible à tout moment.

En tout et pour tout, si la technologie est utilisée équitablement lors de vraies expériences et qu'elle est située dans son contexte propre, elle peut enrichir une classe en lui procurant un contexte nouveau et différent à travers lequel l'expérience peut être comprise (Feldman et al., 2000).

Malgré cela, la présente étude comporte certaines restrictions qui devraient être prises en considération lors de l'interprétation des résultats. Les restrictions ont rapport au fait que :

- L'étude n'a pas pris en compte la diversité des élèves, ce qui a rendu les résultats moins concluants du point de vue du sexe, des capacités physiques et du bagage culturel;
- La petite taille de l'échantillon limite la généralisabilité de l'étude. Ainsi, les résultats sont soumis aux conditions et circonstances d'apprentissage qui ont pris place durant la recherche;
- La stratégie d'enseignement a inclus deux outils d'apprentissage pour aborder les cinq habiletés de recherche. Les résultats ne furent pas assez spécifiques pour permettre d'identifier les habiletés de recherche qui ont suscité l'amélioration constatée dans son ensemble.

Les résultats de cette étude offrent des directions possibles pour orienter de futures recherches : Comment le développement des habiletés de recherche peut-il soutenir les efforts des élèves dans leur compréhension des concepts et théories en physique? Quels genres de stratégies d'enseignement et d'outils d'évaluation sont exigés afin de cibler le développement d'une habileté de recherche spécifique? Comment de nouvelles stratégies de recherche peuvent-elles être conçues dans l'apprentissage des sciences par enquête?

Références

- Abdullah, S., & Abbas, M. (2006). The effects of inquiry-based computer simulation with cooperative learning on scientific thinking and conceptual understanding. *Malaysian Online Journal of Instructional Technology*, 3(2), 1-16.
- Burns, J. C., Okey, J. R., & Wise, K. C. (1985). Development of an integrated process skills test : TIPS (II). *Journal of Research in Science Teaching*, 22(2), 169-177.
- Davis, B., Sumara, D., & Luce-Kapler, R. (2008). *Engaging minds : Changing teaching in complex times* (2^e éd.). New York, NY : Routledge.
- De Jong, T., & van Joolingen, W. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179-202.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Kappa, IN : Delta Pi.
- Feldman, A., Finkel, E., & Marion, S. (2000). *Network science, a decade later – The internet and classroom learning*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

- Foti, S., & Ring, G. (2008). Using a simulation-based learning environment to enhance learning and instruction in a middle school science classroom. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 27(1), 103-120.
- Gunstone, F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. Dans B. E. Woolnough (dir.), *Practical science* (p. 67-77). Milton Keynes, Royaume-Uni : Open University Press.
- Halloun, I. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
- Hofstein, A. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry type laboratory : A case study. *International Journal of Science Education*, 26(1), 47-62.
- Jonassen, D. (1996). *Computer in the classroom : Mindtools for critical thinking*. Englewood Cliffs, NJ : Merrill.
- Ketelhut, D. (2007). The impact of student self-efficacy on scientific inquiry skills : An exploratory investigation in River City, a multi-user virtual environment. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), 99-111.
- Kipnis, M., & Hofstein, A. (2007). The inquiry laboratory as a source for development of metacognitive skills. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 601-627.
- Kubicek, P. (2005). Inquiry-based learning, the natural of science, and computer technology : New possibilities in science education. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 31(1). Repéré à <http://cjlt.cj.ualberta.ca/index.php/cjlt/article/view/149/142>
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognitive and Instruction*, 18(4), 495-523.
- Kuhn, D., & Dean, D. (2005). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, 16(11), 866-870.
- Kuhn, D., & Pease, M. (2008). What needs to develop in the development of inquiry skills? *Cognition and Instruction*, 26, 512-559.
- Linn, C., Davis, A., & Bell, P. (2004). Inquiry and technology. Dans M.C. Linn, E.A. Davis, & P. Bell (dir.), *Internet environment for science education* (p. 3-28). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Manlove, S., Lazonder, A., & de Jong, T. (2006). Regulative support for collaborative scientific inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(2), 87-98.
- Maxwell, M. (1999). Is technology in education promising too much? A neo-luddite analysis of IT in curriculum. *Encounter : education for meaning and social justice*, 12(4), 36-46.
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario. (2009). *The Ontario curriculum grades 11 and 12*. Repéré à <http://www.edu.gov.on.ca/eng/curriculum/secondary/2009teched1112curr.pdf>
- Piaget, J. (1964). Cognitive development in children : Development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 176-186.
- Reid, D., Zhang, J., & Chen, Q. (2003). Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19(1), 9-20.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society : The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA : Harvard University Press., & Wadsworth Publication Company.
- Windschit, M. (2000). Supporting the development of science inquiry skills with special classes of software. *ETR&D*, 48(2), 81-95.