
RECHERCHE EXPÉRIMENTALE

**Impacts des dimensions cognitives et affectives de l'intérêt
situationnel sur la performance à un jeu vidéo éducatif en science**

Yannick Skelling-Desmeules^{1*}

RÉSUMÉ

Cette étude cible le lien entre l'intérêt situationnel et la performance au cours d'une séance de jeu vidéo éducatif. Dix-sept participants universitaires ont pris part à l'étude. Le devis expérimental consistait à jouer à 12 niveaux de *Mécanika*, un jeu vidéo éducatif en physique prenant la forme d'épreuves de type casse-tête. Tout au long de l'expérience, la dimension affective de l'intérêt situationnel a été mesurée par activité électrodermale (activation) et par reconnaissance faciale des émotions (valence). La dimension cognitive de l'intérêt situationnel a été mesurée par électroencéphalographie (engagement cognitif dans la tâche, charge mentale) et par dilatation pupillaire (charge mentale). La performance était mesurée à l'aide du temps de complétion de chaque niveau. Une régression multiple démontre que l'intérêt situationnel mesuré prédit significativement la performance pour chaque niveau. La dimension cognitive de l'intérêt situationnel serait par ailleurs un meilleur prédicteur de la performance que la dimension affective. Les implications de cette étude fournissent des pistes pour la recherche dans le domaine des jeux vidéo éducatifs, notamment sur l'importance du rôle de la dimension cognitive de l'intérêt situationnel.

¹ Université du Québec à Montréal, Faculté des sciences de l'éducation, Département de didactique, Montréal, Canada

*Correspondance avec l'auteur : skelling_desmeules.yannick@uqam.ca

Pour citer cet article: Skelling-Desmeules, Y. (2018). Impacts des dimensions cognitives et affectives de l'intérêt situationnel sur la performance à un jeu vidéo éducatif en science. *Neuroéducation*, 5(1), 7-12.

DOI: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20180501.7>

Reçu le 14 février 2017. Révision reçue le 29 juin 2017.

Accepté le 17 septembre 2017. Publié en ligne le 1^{er} mars 2018.

Neuroéducation, 5(1), 7-12

ISSN: 1929-1833

Tous droits réservés © 2018 – Association pour la recherche en neuroéducation / Association for Research in Neuroeducation

1. Introduction

L'importance d'une éducation scientifique de qualité pour une société n'est plus à démontrer (NSF, 2004; OCDE, 2014). Cependant, de nombreuses études publiées depuis 1976 rapportent un déclin de l'intérêt pour les sciences chez les élèves (Barnby *et al.*, 2008; Osborne, Simon et Collins, 2003; Potvin et Hasni, 2014). Ce dernier est à considérer sérieusement, puisque plusieurs chercheurs établissent des liens directs entre l'intérêt et l'apprentissage des sciences et des mathématiques (Singh, Granville et Dika, 2002), tout comme pour la réussite scolaire en général (Cavas, 2011; Hidi et Harackiewicz, 2000; Hidi et Renninger, 2006; Potvin et Hasni, 2014). L'intérêt serait donc non seulement désirable, mais central à l'apprentissage.

Plusieurs études émettent diverses recommandations pédagogiques à privilégier pour favoriser l'intérêt des élèves envers les sciences. Parmi celles-ci, on retrouve le travail coopératif (Lorenzo *et al.*, 2006), l'interactivité (Tsai *et al.*, 2008), les rétroactions (Clariana, 1993; Hidi et Renninger, 2006) et la mise en action des apprenants (Hasni et Potvin, 2015). C'est pour ces raisons que les jeux vidéo éducatifs, qui possèdent ces caractéristiques, font maintenant partie d'une tendance mondiale grandissante dans le domaine de l'éducation (Clark, Tanner-Smith et Killingsworth, 2015; Djaouti, 2011).

Bien que certaines études ne détectent pas d'effets des jeux vidéo éducatifs sur l'apprentissage (Boyle *et al.*, 2016), les méta-analyses récentes démontrent que les jeux vidéo éducatifs ont généralement un potentiel en tant que ressources d'apprentissage efficaces lorsqu'utilisés dans des contextes spécifiques (Clark *et al.*, 2015; Sitzmann, 2011; Wouters *et al.*, 2013). Cependant, bien que certaines études rapportent des effets positifs des jeux vidéo sur la motivation, l'intérêt et l'attitude dans des domaines aussi variés que le théâtre (Manero *et al.*, 2015), l'éducation à la santé (Theng *et al.*, 2015), les langues secondes (Calvo-Ferrer, 2017), les mathématiques (Chang *et al.*, 2015), etc., les méta-analyses récentes affirment qu'il n'existe pas encore de consensus clair quant au potentiel des jeux vidéo pour susciter l'intérêt des apprenants dans un contexte d'apprentissage (Clark *et al.*, 2015; Wouters *et al.*, 2013). Dans le cas spécifique des jeux vidéo visant l'apprentissage des sciences, ce manque de consensus serait attribuable au faible nombre d'études portant spécifiquement sur l'enseignement des sciences par le jeu vidéo (Li et Tsai, 2013; Potvin et Hasni, 2014) et le faible nombre d'études ciblant les impacts des jeux vidéo sur l'intérêt plutôt que l'apprentissage (Clark *et al.*, 2015; Li et Tsai, 2013; Wouters *et al.*, 2013).

Bien que les jeux vidéo éducatifs soient généralement abordés par la recherche à travers le concept de motivation (Sitzmann, 2011; Vogel, 2006; Wouters *et al.*, 2013), le modèle de l'intérêt de Hidi et Renninger (2006) sera adopté dans le cadre de cette étude. Ce dernier présente l'intérêt comme ayant les composantes affective et cognitive, permettant une analyse et une compréhension plus fine de l'expérience d'un

apprenant lors d'une tâche d'apprentissage. De plus, l'intérêt situationnel se distingue de l'intérêt individuel en étant déclenché par un stimulus externe et sa grande variabilité temporelle (*ibid.*). Cette définition du concept d'intérêt situationnel, par ses caractéristiques, est applicable à une tâche de jeu vidéo circonscrite dans le temps et conçue pour générer des réactions affectives et cognitives de la part du joueur.

Étant donné que l'intérêt est un facteur de réussite en science, l'approfondissement des connaissances actuelles quant au potentiel des jeux vidéo à déclencher ce dernier devient primordial. Ainsi, il importe de vérifier si le niveau d'intérêt peut être associé à la réussite dans le cadre d'une tâche de jeu vidéo en science, à l'instar d'autres méthodes d'apprentissage. Étant donné les composantes affective et cognitive de l'intérêt situationnel, deux hypothèses sont formulées pour répondre à cette question :

H1 : Un haut niveau d'intérêt situationnel affectif pourra être associé à une meilleure performance dans une tâche de jeu vidéo éducatif en science.

H2 : Un haut niveau d'intérêt situationnel cognitif pourra être associé à une meilleure performance dans une tâche de jeu vidéo éducatif en science.

2. Méthodologie

2.1 Participants

Dix-sept (17) étudiants universitaires (HEC Montréal) ont été recrutés pour participer à la présente étude. Aucun des participants ne connaissait le jeu vidéo éducatif retenu pour la collecte.

Bien que la tâche ait ciblé des contenus abordés en physique de secondaire 5, le choix de mener l'étude avec des participants adultes est justifié en fonction des mesures psychophysiologiques de l'intérêt retenues. D'une part, les mesures de la composante cognitive de l'intérêt situationnel ont été validées chez les adultes (Adam *et al.*, 2014; Jensen et Tesche, 2002; Pope, Bogart et Bartolome, 1995). De plus, étant donné la localisation du laboratoire de collecte de données psychophysiologiques (HEC Montréal), l'accès à une population universitaire était d'autant plus simple sur le plan logistique.

Pour limiter les impacts de l'âge adulte des participants, un des critères de recrutement était de n'avoir jamais suivi de formation scientifique au-delà du secondaire. De nombreux participants ont par ailleurs rapporté que le jeu vidéo était « très difficile ».

2.2 Tâche expérimentale

Pour la présente étude, les participants étaient invités à jouer à *Mécanika*, un jeu vidéo éducatif portant sur la physique

mécanique. Le choix de ce dernier a été effectué sur la base de sa validation par la recherche en tant qu'outil de changement conceptuel efficace en physique (Boucher-Genesse, 2011), et étant un des rares jeux vidéo éducatifs en science dans la langue maternelle des participants. Ce jeu demande au joueur de résoudre divers niveaux de type cassette en faisant passer des objets (robots) par des points spécifiques (étoiles). Pour y parvenir, le joueur doit stratégiquement positionner des éléments permettant d'influencer les robots selon des principes de physique. La figure 1 illustre l'interface de jeu. Douze niveaux concernant spécifiquement les concepts de force et d'accélération ont été retenus pour l'expérimentation. Les participants disposaient d'un nombre illimité d'essais pour compléter chacun des niveaux, qui augmentaient graduellement en difficulté. La performance au jeu était mesurée selon le temps requis pour compléter chacun des niveaux du jeu. Le temps maximal pour résoudre un niveau était de cinq minutes pour éviter qu'un joueur ne reste bloqué indéfiniment dans un niveau impossible à résoudre pour lui, et pour prévoir la durée totale de l'expérience pour le participant. Puisque seul un nombre marginal de niveaux n'ont pas été complétés par les joueurs, nous n'avons considéré que les niveaux résolus dans le temps alloué. Ce choix méthodologique vise à éliminer les effets de plafond temporels liés au protocole.



Figure 1. Interface du jeu *Mécanika*

2.3 Mesures de l'intérêt

Selon le modèle de Hidi et Renninger (2006), l'intérêt situationnel comprend les dimensions affective et cognitive. Étant donné l'aspect instantané de l'intérêt situationnel, des mesures psychophysiologiques ont été privilégiées lors de cette étude. Tous les signaux collectés ont été traités suivant des procédures établies, qui sont décrites dans Charland et al. (2015). Ainsi, la dimension affective de l'intérêt situationnel a été mesurée sur deux continuums distincts, soient la valence et l'activation émotionnelle. La valence émotionnelle fut mesurée par reconnaissance faciale automatique des émotions (Goldberg, 2014), qui établit la probabilité qu'un individu soit dans un état émotionnel positif en fonction de

ses expressions faciales. L'activation émotionnelle fut mesurée par l'activité électrodermale (Boucsein, 2012). Un individu activé aurait en effet une conductivité électrique cutanée accrue au niveau de l'épiderme des mains (*ibid.*).

La dimension cognitive de l'intérêt situationnel fut ciblée par trois mesures. Elle fut d'abord mesurée par un indice d'engagement dans la tâche par électroencéphalographie (EEG) (Pope et al., 1995), qui considère le rapport des fréquences cérébrales *bêta* et *alpha*. Celles-ci sont liées respectivement à un haut niveau d'engagement et à un faible niveau d'engagement dans les régions frontales du cerveau. Deux mesures de charge cognitive ont également été utilisées, soit les fréquences cérébrales *alpha* (Jensen et Tesche, 2002) par EEG et la dilatation de la pupille (Adam et al., 2014). En effet, une charge mentale élevée est liée à un plus grand diamètre de la pupille (Xu et al., 2011). Une fois les données collectées et traitées, la moyenne pour chacun de ces signaux a ensuite été calculée individuellement pour chaque niveau du jeu.

3. Résultats

Pour vérifier le lien entre la performance et l'intérêt situationnel généré par un jeu vidéo éducatif en science, une régression multiple a été menée. Le tableau 1 illustre l'impact de chacune des variables indépendantes sur le temps (en secondes) de résolution des niveaux.

Deux variables modératrices ont d'abord été intégrées au modèle, soit l'estimation du degré de difficulté des niveaux (facile ou difficile; déterminé de façon indépendante et par accord commun entre le chercheur et deux enseignants de science), ainsi que leur ordre de présentation (1 à 12), limitant ainsi les impacts de la difficulté d'un niveau ou les effets d'habituation au jeu. Leurs effets se sont tous deux avérés significatifs. Un niveau difficile était associé à un plus long temps de résolution ($t(131)=9.05$, $p=0.00$). Quant à l'effet d'ordre, nous avons détecté que plus le joueur effectuait de niveaux, plus il tendait vers une bonne performance ($t(131)=3.10$, $p=0.01$). Ce dernier résultat représente l'habituation de l'apprenant au fonctionnement du jeu.

Les mesures électroencéphalographiques de la dimension cognitive de l'intérêt situationnel (index d'engagement dans la tâche, charge mentale) se sont avérées toutes deux être significatives pour prédire le temps de résolution d'un niveau ($t(131)=2.29$, $p=0.04$ et $t(131)=2.49$, $p=0.03$). Ces relations étant négatives et quadratiques, elles signifient que plus la mesure d'engagement cognitif dans la tâche ou la mesure de charge cognitive est élevée, plus rapide est le temps de résolution du niveau de *Mécanika*. Cette relation étant quadratique, l'effet sera davantage prononcé pour les mesures d'engagement ou de charge cognitive élevées. Quant à la charge cognitive mesurée par la dilatation pupillaire, celle-ci s'est avérée significative et linéaire ($t(131)=2.21$, $p=0.05$). Toutefois, cette relation n'allait pas dans le même sens que pour les mesures électroencéphalographiques. Plus la charge cognitive telle que mesurée par la dilatation pupillaire était grande, plus le temps de résolution du niveau avait été long.

Tableau 1. Régression multiple expliquant le temps de résolution d'un niveau par des mesures d'intérêt situationnel

		B	SE B	t	sig.	Intervalle de confiance 95 %	
	Constante	94.98	17.41	5.46	0.00	56.67	133.29
Variables modératrices	Ordre de présentation	-6.01	1.94	3.10	0.01	-10.28	-1.74
	Difficulté du niveau	33.26	3.67	9.05	0.00	25.17	41.35
Dimension affective	Valence (reconnaissance faciale)	-2.07	7.62	0.27	0.79	-18.84	14.70
	Activation (activité électrodermale)	0.85	14.39	0.06	0.95	-30.83	32.52
Dimension cognitive	Engagement dans la tâche (EEG)	-5.99	18.50	0.32	0.75	-46.71	34.73
	Engagement dans la tâche - carré (EEG)	-44.84	19.60	2.29	0.04	-87.97	-1.70
	Charge cognitive (EEG)	-10.44	6.25	1.67	0.12	-24.19	3.31
	Charge cognitive - carré (EEG)	-10.87	4.36	2.49	0.03	-20.48	-1.27
	Charge cognitive (dilatation pupillaire)	16.94	7.68	2.21	0.05	0.04	33.84

N=132; F(9,11)=0.000; R²=0.35

Il est à noter qu'aucune mesure de la dimension affective de l'intérêt situationnel ne s'est avérée significative pour prédire le temps de résolution d'un niveau, et ce, tant pour la mesure de la valence émotionnelle par reconnaissance faciale des émotions ($t(131)=0.27$, $p=0.79$) que pour la mesure de l'activation par l'activité électrodermale ($t(131)=0.06$, $p=0.95$).

Finalement, le modèle complet s'est avéré un prédicteur significatif du temps de résolution d'un problème de *Mécanika*, expliquant 35 % de la variance du temps de résolution d'un niveau ($R^2=0.35$).

4. Discussion

La présente étude aborde l'intérêt situationnel dans le contexte d'un jeu vidéo éducatif, et plus précisément son impact sur la performance en jeu. Notre étude démontre qu'un modèle tenant compte des dimensions cognitive et affective de l'intérêt situationnel est un prédicteur significatif du temps de résolution d'un niveau de jeu. Ce résultat est un argument supplémentaire pour justifier la pertinence de cibler l'intérêt comme variable cruciale dans le domaine du jeu vidéo éducatif en science.

Le modèle complet, incluant les dimensions cognitive et affective, a été rapporté. Cependant, aucune des mesures de la dimension affective de l'intérêt situationnel n'a eu d'impact significatif sur la prédiction de la performance au jeu (H1), alors que toutes les mesures de la dimension cognitive se sont

avérées significatives (H2). Ce résultat pourrait s'avérer intéressant pour le domaine du design de jeu éducatif. En effet, dans les processus de création de jeux vidéo éducatifs, il pourrait être plus pertinent de miser sur des éléments de jeu favorisant l'engagement cognitif ou l'effort mental (p. ex. un puzzle) plutôt que sur des éléments visant à activer le joueur ou lui faire vivre une expérience agréable (p. ex. une histoire). Bien que des auteurs rapportent que l'âge n'influence pas les facteurs de motivation pour s'engager dans un jeu vidéo éducatif (Manero et al., 2017), il demeure néanmoins que cette dernière conclusion doit être considérée avec prudence. En effet, un échantillon situé dans l'âge cible de *Mécanika* (secondaire 5) pourrait apporter davantage de crédibilité aux résultats obtenus.

Il est à noter que les deux mesures de la dimension cognitive de l'intérêt situationnel (engagement dans la tâche par EEG et charge mentale par dilatation pupillaire) se sont avérées toutes deux significatives mais contradictoires. Nous attribuons ce manque d'accord entre ces indices au fait qu'une tâche effectuée devant un écran lumineux pourrait avoir un impact notable sur la dilatation pupillaire, la rendant moins fiable que l'EEG. Cette difficulté à mesurer la charge cognitive par la dilatation pupillaire dans une tâche à la luminosité variable est corroborée par plusieurs auteurs, qui affirment que les effets de luminosité d'une tâche éclipsent la lecture de charge mentale (Kramer, 1991; Marshall, 2002; Xu et al., 2011). À notre compréhension, cela justifie ainsi la plus grande crédibilité des mesures recueillies par EEG.

Bien que cette étude ait ciblé la performance dans un niveau de jeu vidéo éducatif comme variable centrale, il aurait été souhaitable de lier l'intérêt situationnel directement à l'apprentissage, qui est la finalité ultime des jeux vidéo éducatifs. En effet, la performance ne représente pas en soi l'apprentissage. Pour pouvoir cibler l'apprentissage plutôt que la performance avec un devis similaire, il serait pertinent de sélectionner des niveaux faisant référence à des concepts différents. L'apprentissage pour chacun des niveaux pourrait alors être mesuré par pré et posttest, et lié aux composantes affective et cognitive de l'intérêt situationnel.

Finalement, un des grands avantages de l'utilisation de mesures physiologiques est leur excellente résolution temporelle. Bien que nous ayons uniquement considéré la moyenne des différentes mesures lors d'un niveau de jeu, *Mécanika* contient de nombreux éléments-clés (tutoriels, aide en jeu, résolution de problèmes, renforcements positifs, etc.) présentés à divers moments, dépendamment des actions des joueurs. Les mesures physiologiques de l'intérêt permettraient de cibler ces éléments-clés pour lesquels il importe de favoriser l'intérêt situationnel. Ces connaissances pourraient indiquer aux développeurs de jeux vidéo éducatifs les principaux éléments qui intéressent les joueurs sur les plans affectif et cognitif et les effets de ceux-ci sur la performance au jeu. Au niveau de la salle de classe, la présence de ces éléments-clés pourrait fournir aux enseignants un outil supplémentaire pour leur sélection de jeux vidéo éducatifs à intégrer dans leur milieu d'enseignement.

Références

- Adam, J. J., Bovend'Eerd, T. J., Smulders, F. T. et Van Gerven, P. W. (2014). Strategic flexibility in response preparation: Effects of cue validity on reaction time and pupil dilation. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(2), 166-177. <https://doi.org/10.1037/e636952013-294>
- Barmby, P., Kind, P. M. et Jones, K. (2008). Examining changing attitudes in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 30(8), 1075-1093. <https://doi.org/10.1080/09500690701344966>
- Boucher-Genesse, F. (2011). *Étude de différentes utilisations d'un jeu vidéo éducatif conçu spécifiquement pour intervenir sur certaines conceptions en physique mécanique : Mécanika*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, Canada. Repéré à <http://www.archipel.uqam.ca/5833/>
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity*. New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0>
- Boyle, E. A., Hainey, T., Connolly, T. M., Gray, G., Earp, J., Ott, M., ... et Pereira, J. (2016). An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games. *Computers & Education*, 94, 178-192. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.003>
- Calvo-Ferrer, J. R. (2017). Educational games as stand-alone learning tools and their motivational effect on L2 vocabulary acquisition and perceived learning gains. *British Journal of Educational Technology*, 48(2), 264-278. <https://doi.org/10.1111/bjet.12387>
- Chang, M., Evans, M. A., Kim, S., Norton, A. et Samur, Y. (2015). Differential effects of learning games on mathematics proficiency. *Educational Media International*, 52(1), 47-57. <https://doi.org/10.1080/09523987.2015.1005427>
- Charland, P., Léger, P.-M., Sénécal, S., Courtemanche, F., Mercier, J., Skelling, Y. et Labonté-Lemoyne, E. (2015). Assessing the multiple dimensions of engagement to characterize learning: A neurophysiological perspective. *Journal of Visualized Experiments*, (101). <https://doi.org/10.3791/52627>
- Clariana, R. B. (1993). A review of multiple-try feedback in traditional and computer-based instruction. *Journal of Computer-Based Instruction*, 20(3), 67-74.
- Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E. et Killingsworth, S. S. (2015). Digital games, design, and learning: A systematic review and meta-analysis. *Review of Educational Research*, 86(1), 79-122. <https://doi.org/10.3102/0034654315582065>
- Djaouti, D., Alvarez, J., Jessel, J. P. et Rampnoux, O. (2011). Origins of serious games. Dans M. Ma, A. Oikonomou et L. Jain (dir.), *Serious games and edutainment applications* (p. 25-43). Londres: Springer-Verlag London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2161-9_3
- Goldberg, J. H. (2014). Measuring software screen complexity: Relating eye tracking, emotional valence, and subjective ratings. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30(7), 518-532. <https://doi.org/10.1080/10447318.2014.906156>
- Hasni, A. et Potvin, P. (2015). Student's interest in science and technology and its relationships with teaching methods, family context and self-efficacy. *International Journal of Environmental and Science Education*, 10(3), 337-366. <https://doi.org/10.12973/ijese.2015.249a>
- Hidi, S. et Harackiewicz, J. (2000). Motivating the academically unmotivated: A critical issue for the 21st century. *Review of Educational Research*, 70(2), 151-179. <https://doi.org/10.2307/1170660>
- Hidi, S. et Renninger, A. K. (2006). The Four-Phase Model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127. https://doi.org/10.1207/s15326985Sep4102_4

- Jensen, O. et Tesche, C. D. (2002). Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal of Neuroscience*, 15(8), 1395-1399. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2002.01975.x>
- Kramer, A. F. (1991). Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress. Dans D. L. Damos (dir.), *Multiple-task performance* (p. 279-328). Londres, Royaume-Uni / Washington, DC : Taylor & Francis.
- Li, M. C. et Tsai, C. C. (2013). Game-based learning in science education: A review of relevant research. *Journal of Science Education and Technology*, 22(6), 877-898. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9436-x>
- Lorenzo, M., Crouch, C. H. et Mazur, E. (2006). Reducing the gender gap in the physics classroom. *American Journal of Physics*, 74(2), 118-122. <https://doi.org/10.1119/1.2162549>
- Manero, B., Torrente, J., Fernandez-Vara, C. et Fernandez-Manjon, B. (2017). Investigating the impact of gaming habits, gender, and age on the effectiveness of an educational video game: An exploratory study. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(2), 236-246. <https://doi.org/10.1109/tlt.2016.2572702>
- Marshall, S. P. (2002). The index of cognitive activity: Measuring cognitive workload. Dans *Proceedings of the IEEE 7th Conference on Human Factors and Power Plants* (p. 7.5-7.9). <https://doi.org/10.1109/hfpp.2002.1042860>
- National Science Foundation. (2004). *Science and Engineering Indicators 2004* (Vol. 1). Arlington, VA: National Science Foundation. <https://www.nsf.gov/statistics/archive-goodbye.cfm?p=www.nsf.gov/statistics/seind04>
- OCDE. (2014). *Regards sur l'éducation 2014 : Les indicateurs de l'OCDE*. Paris : Éditions OCDE. <https://www.oecd.org/edu/Regards-sur-l'education-2014.pdf>
- Osborne, J., Simon, S. et Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>
- Pope, A. T., Bogart, E. H. et Bartolome, D. S. (1995). Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task. *Biological Psychology*, 40(1-2), 187-195. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(95\)05116-3](https://doi.org/10.1016/0301-0511(95)05116-3)
- Potvin, P. et Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: A systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science Education*, 50(1), 85-129. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626>
- Singh, K., Granville, M. et Dika, S. (2002). Mathematics and science achievement: Effects of motivation, interest, and academic engagement. *The Journal of Educational Research*, 95(6), 323-332. <https://doi.org/10.1080/00220670209596607>
- Sitzmann, T. (2011). A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. *Personnel Psychology*, 64(2), 489-528. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2011.01190.x>
- Theng, Y. L., Lee, J. W., Patinadan, P. V. et Foo, S. S. (2015). The use of videogames, gamification, and virtual environments in the self-management of diabetes: A systematic review of evidence. *Games for Health Journal*, 4(5), 352-361. <https://doi.org/10.1089/g4h.2014.0114>
- Tsai, Y. M., Kunter, M., Lüdtke, O., Trautwein, U. et Ryan, R. M. (2008). What makes lessons interesting? The role of situational and individual factors in three school subjects. *Journal of Educational Psychology*, 100(2), 460-472. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.100.2.460>
- Vogel, J. J., Vogel, D. S., Cannon-Bowers, J., Bowers, C. A., Muse, K. et Wright, M. (2006). Computer gaming and interactive simulations for learning: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 34(3), 229-243. <https://doi.org/10.2190/flhv-k4wa-wpvq-h0ym>
- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H. et van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249-265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>
- Xu, J., Wang, Y., Chen, F. et Choi, E. (2011). Pupillary response based cognitive workload measurement under luminance changes. Dans P. Campos, N. Graham, J. Jorge, N. Nunes, P. Palanque et M. Winckler (dir.), *Human-Computer Interaction - INTERACT 2011. Lecture Notes in Computer Science* (p. 178-185, Vol. 6947). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23771-3_14