

Bases théoriques pour l'étude de l'autorégulation enseignante par électroencéphalographie : vers de nouvelles recherches en neuroéducation

J.-S. DION

Doctorant en éducation, Université de Sherbrooke, 1310, chemin Capelton, Canton de Hatley (Québec), Canada, J0B2C0. Email jan-sebastien.dion@usherbrooke.ca

RÉSUMÉ : *Bases théoriques pour l'étude de l'autorégulation enseignante par électroencéphalographie : vers de nouvelles recherches en neuroéducation*

Les capacités d'autorégulation des enseignants sont essentielles à leur pratique et il importe de mieux connaître leurs déterminants. L'électroencéphalographie, en palliant des limites méthodologiques en sciences sociales, permet des avancées en ce sens. Cet article propose un éclairage théorique sur l'importance des capacités d'autorégulation des enseignants, sur le monitoring de soi et sur les composantes de potentiels évoqués témoignant de ces capacités cérébrales d'autorégulation. Des pistes de recherche potentielles sont proposées.

Mots clés : *Autorégulation – Enseignant – Électroencéphalographie – Neuroéducation.*

SUMMARY: *Theoretical bases to study self-regulation of learning by electroencephalography: towards new research in neuroeducation*

Self-regulation skills are essential to the practice of teaching, and research is still needed to know better their determinants. Electroencephalography, by overcoming methodological issues encountered in social sciences regarding this matter, can address this call for research. This article sheds a theoretical light on the importance of teacher self-regulation skills, on self-monitoring as an indicator of neural self-regulation, and on event-related potentials components necessary to the study of neural self-regulation. Potential research avenues are proposed.

Key words: *Self-regulation – Teacher – Electroencephalography – Neuroeducation.*

RESUMEN: *teóricas para el estudio de la autorregulación del educador mediante electroencefalografía: hacia nuevos estudios en neuroeducación*

Las capacidades de autorregulación de los educadores son esenciales para su trabajo, por lo que importante conocer sus factores determinantes. La electroencefalografía, paliando los límites metodológicos en ciencias sociales, permite obtener avances en este sentido. Este artículo ofrece un enfoque teórico sobre la importancia de las capacidades de autorregulación de los educadores, sobre la propia monitorización y sobre los componentes de los potenciales que atestiguan estas capacidades cerebrales de autorregulación. Se proponen posibles líneas de investigación.

Palabras clave: *Autorregulación – Educador – Electroencefalografía – Neuroeducación.*

INTRODUCTION

La profession enseignante, incarnée en ses multiples facettes, fait constamment appel aux capacités d'autorégulation des enseignants, que ce soit en ou hors classe. L'importance de ces capacités a bien été saisie et prise en compte par les diverses instances responsables des programmes de formation des maîtres (voir par exemple MEQ, 2001). Si l'autorégulation des apprentissages des élèves a été largement étudiée au cours des trente dernières années (Efklides, 2011, 2012), celle des enseignants n'a pas reçu la même attention de la part des chercheurs en sciences de l'éducation, et encore moins, voire aucunement, leurs capacités individuelles cérébrales d'autorégulation des apprentissages (et leurs déterminants).

Le monitoring de soi est un indice fondamental de l'autorégulation et son étude en temps réel (*online*) pourrait maintenant fournir des éléments clés aux sciences de l'éducation pour mieux comprendre ce phénomène et ses facteurs auprès des enseignants. Les méthodologies actuelles en sciences sociales n'offrent pas l'éclairage souhaité sur les mécanismes de monitoring de soi en temps réel, ce qui freine la recherche sur l'autorégulation des apprentissages en général (Azevedo, 2010).

L'électroencéphalographie, par la technique des potentiels évoqués, pourrait y remédier, mais il importe que les chercheurs en sciences de l'éducation se familiarisent avec ces méthodes et cadres théoriques issus des neurosciences cognitives. Un pont théorique est donc appelé à s'ériger pour réunir ces deux rives, ou domaines scientifiques, autour de la technique des potentiels évoqués et de ses composantes permettant l'étude du monitoring de soi auprès des enseignants, dans la perspective de favoriser le développement de leur expertise professionnelle. Mais encore faut-il qu'un langage et qu'une base de connaissances communs soient disponibles (Beauchamp & Beauchamp, 2012).

Pour établir ledit pont et initier les chercheurs en sciences de l'éducation à cette base de connaissances pouvant devenir commune pour l'étude de l'autorégulation enseignante, cet article a comme objectif de fournir un éclairage théorique faisant état 1) de l'importance des capacités d'autorégulation des enseignants ; 2) du monitoring de soi comme indice fondamental de l'autorégulation ; et 3) des principales composantes de potentiels évoqués permettant l'étude du monitoring de soi.

L'IMPORTANCE DES CAPACITÉS D'AUTORÉGULATION DES ENSEIGNANTS

La pratique enseignante s'apprend et se développe, entre autres façons, à force d'expériences : parfois par essais et erreurs (Berliner, 2004) ou encore par volition, c'est-à-dire en se fixant des buts de maîtrise ou d'apprentissage (Zusho & Edwards, 2011). Ces voies d'apprentissage impliquent une autorégulation continue de la part de l'enseignant (Butler, 2005).

L'enseignant est aussi appelé à s'autoréguler 1) pour s'insérer dans la profession (Kramarski & Michalsky, 2009), insertion pour laquelle Martineau et Presseau (2003) ont bien démontré et décrit les nombreux enjeux et difficultés liés, par exemple, à l'abandon de la profession ; 2) pour autoréguler les différents aspects de sa pratique (didactiques, relationnels, émotionnels, etc.) (Capa-Aydin, Sungur & Uzuntiryaki, 2009) ; 3) pour autoréguler ses propres apprentissages professionnels situés (Masciotra, 2010) ; 4) pour se développer professionnellement (Randi, 2004) ; et enfin, 5) pour devenir un modèle guidant ses étudiants dans l'autorégulation de leurs propres apprentissages (Kostons, van Gog & Paas, 2012).

De nombreuses institutions provinciales, nationales et internationales encouragent le développement de ces capacités chez les enseignants (MEQ, 2001 ; CSE, 2004 ; National Council for the Accreditation of Teacher Education, 2002 ; National Research Council, 2005, 2008 ; OCDE, 2010), et des impacts positifs sur la pratique enseignante ont été observés lors du développement de celles-ci : l'amélioration du bien-être dans la profession (diminution du stress et résilience accrue) (Klusmann *et al.*, 2008) ; le développement de l'expertise professionnelle (Ericsson, 2009) ; le changement en profondeur des pratiques (Butler, 2005) ; et un sentiment d'auto-efficacité augmenté (Komarraju & Nadler, 2013).

Il existe plusieurs types de dispositifs visant le développement de l'autonomie et de l'autorégulation des futurs enseignants. En voici quelques exemples parmi une large gamme : la méthode des cas (Legendre, 1998) ; la rétroaction vidéo (Tochon, 1996) ; les situations de travail authentiques et la confrontation interactive (Chaubet, 2010) ; l'interaction en ligne (Collin, 2010) ; le partage de pratiques entre novices (Ria, 2010) ; les groupes d'analyse des pratiques et les interactions en dyades (L'Hostie, 2003) ; l'analyse clinique des activités (Roger, 2007) ; l'explicitation des pratiques en contexte de stage (Correa-Molina & Gervais, 2010) ; le portfolio électronique (Michaud, 2010). Malgré une abondance de recherches faites sur ces dispositifs réflexifs, peu de résultats consensuels existent pour confirmer leur efficacité (Bertone, Chaliès & Clot, 2009).

LE MONITORAGE DE SOI COMME INDICE FONDAMENTAL DE L'AUTORÉGULATION

L'autorégulation cognitive est constituée de deux composantes. La première est dite évaluative et consiste en un monitoring de l'action, de la pensée, de l'émotion, etc., et détermine le besoin de contrôle en fonction de la relation entre les résultats obtenus et les résultats attendus ; la seconde est dite exécutive, et consiste en l'action comportementale entreprise pour réguler la situation d'erreur détectée (van Veen & Carter, 2006). La capacité à mettre en œuvre cette composante évaluative consistant, d'une part à détecter les erreurs et, d'autre part à porter attention à celles-ci, appelée monitoring de soi, prédit la qualité de l'action régulatrice lors de tâches cognitives (Compton *et*

al., 2008 ; Shiels & Hawk Jr, 2010 ; van Noordt & Segalowitz, 2012).

Ce monitoring de soi initie l'autorégulation. Il correspond à une « *habileté cognitive de haut niveau servant à contrôler ses propres actions et subséquemment modifier ses éventuels comportements* » (McDermott, 2008, p. 5, traduction libre). Plus il est précis, plus il favorise la régulation de l'apprentissage en révélant d'un point de vue métacognitif la « distance » par rapport au but la plus exacte possible, et en indiquant où les énergies doivent être déployées pour atteindre le but le plus efficacement possible (Dunlosky & Rawson, 2012). Le monitoring de soi, en concordance avec les différents modèles théoriques guidant les recherches sur l'autorégulation cognitivo-comportementale, survient après la détermination du but et avant l'adaptation de l'action, ou de la pensée (Sitzmann & Ely, 2011).

Les recherches sur l'expertise professionnelle reconnaissent non seulement les capacités individuelles d'autorégulation comme un facteur différenciant les experts des non experts (Zimmerman, 2006), mais, encore plus précisément, présentent les capacités à *monitorer* une performance comme étant déterminantes dans l'efficacité de l'autorégulation et du développement de l'expertise professionnelle (Ericsson, 2009 ; Nandagopal & Ericsson, 2012).

Les recherches en sciences sociales ont évalué l'autorégulation par le biais d'approches et de mesures actuellement remises en doute, car jugées subjectives, imprécises (Winne & Jamieson-Noel, 2002) et décalées temporellement de l'acte d'autorégulation (Zimmerman, 2008). Elles sont soit qualitatives et auto-rapportées (p. ex. Endedijk *et al.*, 2012 ; Postholm, 2011), ne pouvant bien refléter l'autorégulation *pendant* l'action (Greene & Azevedo, 2010 ; Winne 2010), ou soit quantitatives par le biais d'échelles de mesure de l'autorégulation des apprentissages auto-rapportées (voir par exemple Brodeur *et al.*, 2006 ; Capa-Aydin, Sungur & Uzuntiryaki, 2009) que Winne et Perry (2000) et Greene et Azevedo (2010) ont défini comme des outils mesurant l'aptitude à s'autoréguler, à partir d'une appréciation, d'une impression ou d'un souvenir, mesures dépendant de la capacité limitée de se souvenir. Utiliser une mesure auto-rapportée revient à considérer implicitement l'autorégulation comme un processus statique pouvant être mesuré hors de son contexte réel, alors qu'il y a consensus autour du fait que l'individu s'autorégulant, dans une série d'événements, s'auto-observe et contrôle plusieurs aspects du processus *pendant* la tâche et entre les tâches (Schunk & Zimmerman, 2008 ; Winne & Hadwin, 2008). L'utilisation de l'imagerie cérébrale, comme l'électroencéphalographie, permettant de mesurer les capacités individuelles d'autorégulation *pendant* une tâche cognitive (en temps réel), pourrait s'avérer une voie de recherche prometteuse pour compléter et/ou confirmer les connaissances actuelles sur l'autorégulation enseignante, par le biais du monitoring de soi.

LES PRINCIPALES COMPOSANTES DE POTENTIELS ÉVOQUÉS PERMETTANT L'ÉTUDE DU MONITORAGE DE SOI

En contexte de conflit cognitif, l'activation combinée du cortex cingulaire antérieur (CCA) et du cortex préfrontal médial (CPFM), entre autres, est associée à des processus de monitoring de soi comme la détection de l'erreur, la remédiation à l'erreur, la résolution de conflits stimulus-réponse, l'inhibition et l'évaluation des rétroactions (Holroyd & Yeung, 2012) regroupés sous le terme-parapluie de l'attention exécutive (Berger, 2011).

En outre, de plus en plus de recherches tendent à confirmer que l'activation du CCA et du CPFM, pendant le monitoring de soi, en plus d'être influencée par le contexte de la tâche, varie en fonction des différences individuelles au plan de la personnalité et des interactions entre la personnalité et le contexte de la tâche (voir par exemple Amodio *et al.*, 2008 ; Santesso *et al.*, 2012). Aussi, il a été démontré qu'un état affectif négatif comme l'anxiété ou la dépression diminuait de façon significative la capacité de ces régions cérébrales à exercer un contrôle exécutif optimal, via la détection de l'erreur et l'attention portée aux erreurs (voir par exemple Aarts, 2012 ; Visu-Petra, Miclea & Visu-Petra, 2012).

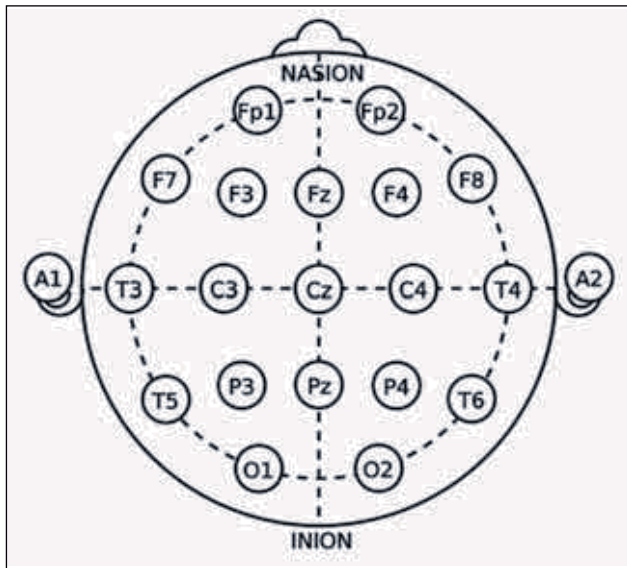
Le CPFM et le CCA, lors de leur activation, génèrent plusieurs composantes de potentiels évoqués (*event-related potential components*) associés au monitoring de soi et à l'autorégulation (van Noordt & Segalowitz, 2012). Mesurés au moyen d'électroencéphalogrammes, les potentiels évoqués lors de tâches neuropsychologiques standardisées permettent d'observer en temps réel trois corrélats psychophysologiques de la détection d'erreur essentiels au monitoring de soi et à l'autorégulation : la négativité liée à l'erreur (*error-related negativity* ; ERN), la positivité liée à l'erreur (*error-related positivity* ; Pe), et la négativité liée à la rétroaction (*feedback-related negativity* ; FRN).

La négativité liée à l'erreur (ERN)

Les études neuroscientifiques portant sur le monitoring de soi ont abordé principalement la négativité liée à l'erreur (ERN) (Riesel *et al.*, 2013). L'ERN est une composante des potentiels évoqués, dont la différence de potentiel est négative, observée entre environ 50 et 100 millisecondes (ms) suite à une erreur (réponse incorrecte) (Gehring *et al.*, 2012). Cette composante serait corrélée positivement à l'importance de l'erreur, soit la distance entre le résultat attendu et celui obtenu (Arbel & Donchin, 2009 ; Hajcak *et al.*, 2005). Elle serait le plus souvent observée à son maximum à la position d'électrode FCz (voir par exemple Gentsch, Ullsperger & Ullsperger, 2009 ; Luu *et al.*, 2003), soit à mi-chemin entre les positions Cz et Fz (*figure 1*).

La région cérébrale générant l'ERN serait le CCA, situé dans le CPFM, siège de l'attention et du contrôle exécutif (Ridderinkhof *et al.*, 2004). Le CCA est impliqué dans de multiples processus liés aux deux pôles de l'autorégulation : le monitoring de soi et le contrôle de l'action,

Figure 1. Système international 10-20 de positionnement des électrodes (AES, 1994)¹.



incluant la sélection de la réponse, l'évaluation et le monitoring du conflit cognitif, et la détection de l'erreur (Hoffmann & Falkenstein, 2012).

Une théorie veut que, a priori, l'ERN soit élicitée par des projections (voire des non projections) de dopamine par la voie mésencéphalique, tel que démontré par le modèle d'apprentissage par renforcement de Holroyd et Coles (2002), d'inspiration behavioriste. Ces auteurs stipulent que la dopamine cesserait d'être projetée vers le CCA lorsqu'un *feedback* ou un événement négatif viendrait nuire à l'atteinte d'un but, ce qui a comme effet de le désinhiber (l'activer) et de générer une ERN. L'activation du CCA se veut le signal d'alarme servant à initier une action de remédiation qui permettrait de corriger la situation (s'auto-réguler). Cela mènerait, toujours selon Holroyd et Coles (2002), à un type d'apprentissage autorégulé renforcé par la « douleur » (ou l'inconfort) causée par le manque temporaire de dopamine. Selon eux, ce pourrait être une façon d'expliquer la corrélation entre l'ERN et l'apprentissage, d'un point de vue « biologico-behavioriste », à partir de nos propres erreurs (*ibid.* ; Frank, Woroch & Curran, 2005).

Pour l'étude des capacités cérébrales d'autorégulation des enseignants, il faut savoir qu'il existe une relation entre le vieillissement (qui diminue l'expression de la dopamine) et la diminution de l'ERN (Hoffmann & Falkenstein, 2011). Plus spécifiquement, le vieillissement a été lié à un plus grand nombre d'erreurs et à un moins grand nombre d'ajustements post-erreurs comparativement à des sujets plus jeunes (Mathalon, Whitfield & Ford, 2003), et les effets de l'âge sur l'ERN pourraient être modulés par des apprentissages (Eppinger *et al.*, 2008 ; Pietschmann *et al.*, 2008).

¹ Image appartenant au domaine public tirée de : http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3A21_electrodes_of_International_10-20_system_for_EEG.svg

Au plan comportemental, il a été démontré que l'ERN est corrélée positivement aux ajustements post-erreurs (*post-error slowing* ; *PES*) observés lors de tâches où le temps de réaction est mesuré (*reaction/response time* ; *RT*) (Holroyd *et al.*, 2005 ; Maier, Yeung & Steinhauser, 2011). En effet, plus l'amplitude de l'ERN est grande suite à une erreur, plus les sujets ralentissent avant de répondre au prochain stimulus (Dutilh *et al.*, 2012).

Il existe un relatif consensus autour du fait que l'ERN serait influencée par des variables motivationnelles et des différences individuelles, et serait un marqueur de traits reflétant la valeur accordée à l'erreur en fonction du contexte, de la personnalité et de l'historique d'apprentissage (Hajcak, 2012 ; Weinberg, Riesel & Hajcak, 2012).

La positivité liée à l'erreur (Pe)

La positivité liée à l'erreur (*error positivity* ; *Pe*) est une composante de potentiels évoqués, de voltage positif, qui suit immédiatement l'ERN dans le temps et atteint son sommet aux sites d'électrodes centro-pariétaux environ 200 à 400 ms après la commission d'une erreur (Riesel *et al.*, 2013). Elle représente la conscience d'avoir commis une erreur et l'attention consciente qui y est attribuée, voire son importance (Hughes & Yeung, 2011 ; Murphy *et al.*, 2012). Ainsi, comme l'ERN, la Pe joue un rôle dans le monitoring en temps réel de l'erreur, mais est en plus corrélée positivement avec une adaptation du comportement suite à l'erreur, devenant un indice cérébral prédictif de l'autorégulation (Compton *et al.*, 2008 ; Moser *et al.*, 2011).

La source cérébrale de la Pe est encore incertaine, mais des recherches suggèrent l'implication du cortex pariétal (Falkenstein *et al.*, 2000 ; Soltani & Knight, 2000) et des parties caudale et rostrale du CCA (Herrmann *et al.*, 2004 ; Van Veen & Carter, 2002). La Pe aurait deux manifestations et il est possible que ces deux sous-composantes soient liées à deux régions distinctes du CCA, la première à sa partie caudale et la deuxième, plus tardive, à sa partie rostrale (McDermott, 2008 ; Van Veen & Carter, 2002). La première sous-composante de la Pe se manifesterait environ 180 ms après la réponse du sujet et serait maximale au site d'électrode Cz, alors que la deuxième sous-composante serait observable 300 ms après la réponse du sujet et serait maximale au site Pz (Arbel & Donchin, 2009 ; Gehring *et al.*, 2012 ; Van Veen & Carter, 2002). Seule la partie rostrale du CCA est active lors de réponses incorrectes, rendant cette deuxième sous-composante de la Pe (*late Pe*) spécifique aux erreurs (Kiehl *et al.*, 2000 ; Menon *et al.*, 2001). L'amplitude de cette deuxième sous-composante de la Pe est plus grande lorsque le sujet rapporte l'erreur détectée, comparativement à lorsqu'il ne la rapporte pas (Endrass, Reuter & Kathmann, 2007).

La négativité liée à la rétroaction (FRN)

Le monitoring de soi peut aussi être étudié au moyen d'une autre composante, la négativité liée à la rétroaction (FRN) (McDermott, 2008). Cette composante, similaire en ampli-

tude à l'ERN, mais associée temporellement (*time-locked*) à une rétroaction externe sur la performance (l'ERN est mesurée sans rétroaction externe), est conçue comme une partie d'un réseau cérébral de détection de l'erreur plus large (Arbel, Goforth & Donchin, 2013). Comme l'ERN, sa source (de voltage négatif) fronto-centrale émanerait aussi principalement du CCA ou du CCA dorsal (Potts *et al.*, 2011 ; Vlaming *et al.*, 2008). Le sommet de son amplitude est cependant observé à environ 250-300 ms après la présentation d'un stimulus correspondant à une rétroaction positive ou négative, donc relativement plus tard que l'ERN. Son amplitude a aussi été corrélée à l'importance (*discrepancy*) de l'erreur dans le cas d'une rétroaction négative (Arbel & Donchin, 2009 ; Hajcak *et al.*, 2005). Holroyd et Coles (2002) ont d'ailleurs inclus la FRN dans leur modèle d'apprentissage par renforcement, au même titre que l'ERN.

Arbel *et al.* (2013) sont arrivés à la conclusion que la FRN générée par des rétroactions positives serait liée à l'apprentissage à long terme (chez des adultes âgés entre 18 et 30 ans), tout en confirmant le rôle de l'ERN, de la Pe et de la FRN dans l'apprentissage. Leurs résultats corroborent ceux de Tricomi et Fiez (2012) et ceux de bien d'autres (voir par exemple Baker & Holroyd, 2011 ; Foti *et al.*, 2011 ; Kreussel *et al.*, 2012) en associant la génération de la FRN à l'utilité perçue de la rétroaction positive, pour l'apprentissage, et à la difficulté élevée de la tâche, dans une tâche où la rétroaction positive est nécessaire (ou plus importante) pour apprendre. En effet, plus la tâche était difficile, plus le participant s'attendait à faire des erreurs et plus l'amplitude de sa FRN augmentait lorsqu'il recevait une rétroaction positive (grande erreur de prédiction). Il faut noter que l'amplitude d'une FRN suite à une rétroaction positive inattendue est généralement un peu moins grande que l'amplitude d'une FRN suite à une rétroaction négative inattendue (Arbel *et al.*, 2013 ; Luft *et al.*, 2013). La combinaison de l'importance de l'erreur de prédiction et de la valeur perçue de la rétroaction expliquerait, selon Arbel *et al.* (2013), la génération et l'amplitude de la FRN.

CONCLUSION

Cet article avait pour objectif de faire état des bases théoriques pouvant guider de futures études en neuroéducation sur les capacités cérébrales d'autorégulation au moyen de potentiels évoqués. Sans être exhaustives, elles pourraient fournir un langage commun entre chercheurs en neurosciences cognitives et chercheurs en éducation. Plus précisément, l'appropriation de ces bases par les chercheurs en éducation permettrait une validation scientifique interdisciplinaire et stimulerait de nouveaux travaux utiles aux deux champs. Par exemple, des études effectuées auprès de jeunes adultes convergent vers l'attribution d'un impact négatif des théories de l'intelligence dites fixes (voir Dweck, 2006) sur les capacités d'autorégulation cérébrales décrites ci-dessus (Mangels *et al.*, 2006 ; Moser *et al.*, 2011 ; Schroder *et al.*, 2014). Ces résultats ont encore à être confirmés, et d'autant plus auprès d'enseignants. Aussi, de nouvelles recherches basées sur les capacités cérébrales

d'autorégulation pourraient être menées pour vérifier l'efficacité de dispositifs de formation visant à développer les compétences d'autorégulation des enseignants.

Finalement, si l'utilisation de l'électroencéphalographie dans l'étude de l'autorégulation des apprentissages des enseignants (et des étudiants) ouvre de nouvelles avenues de recherche, elle permettrait également de valider les connaissances actuelles sur l'autorégulation en contextes éducatifs et, on le souhaite, d'améliorer continuellement la qualité de l'enseignement pour offrir à tous les apprenants l'accès à la meilleure éducation possible.

RÉFÉRENCES

- AARTS, K. (2012). *Negative affect-related related changes of action monitoring brain processes: An experimental analysis*. Thèse de doctorat inédite. Université de Gand, Belgique.
- American Electroencephalographic Society (AES) (1994). Guideline thirteen: Guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 11 (1), 111-113.
- AMODIO, D. M., MASTER, S. L., YEE, C. M. & TAYLOR, S. E. (2008). Neurocognitive components of the behavioral inhibition and activation systems: Implications for theories of self-regulation. *Psychophysiology*, 45 (1), 11-19.
- ARBEL, Y. & DONCHIN, E. (2009). Parsing the componential structure of post-error ERPs: A principal component analysis of ERPs following errors. *Psychophysiology*, 46 (6), 1179-1189.
- ARBEL, Y. & DONCHIN, E. (2011). How large the sin? A study of the event related potentials elicited by errors of varying magnitude. *Psychophysiology*, 48 (12), 1611-1620.
- ARBEL, Y., GOFORTH, K. & DONCHIN, E. (2013). The good, the bad, or the useful? The examination of the relationship between the feedback-related negativity (FRN) and long-term learning outcomes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25 (8), 1249-1260.
- BAKER, T. E. & HOLROYD, C. B. (2011). Dissociated roles of the anterior cingulate cortex in reward and conflict processing as revealed by the feedback error-related negativity and N200. *Biological Psychology*, 87 (1), 25-34.
- BEAUCHAMP, M. & BEAUCHAMP, C. (2012). Understanding the neuroscience and education connection: themes emerging from a review of the literature. Dans S. Della Sala et M. Anderson (dir.), *Neuroscience in education: The good, the bad and the ugly* (p. 13-30). New York, NY: Oxford University Press.
- BERGER, A. (2011). *Self-Regulation. Brain, Cognition, and Development*. Washington, DC: American Psychological Association.
- BERLINER, D. (2004). Describing the behavior and documenting the accomplishments of expert teachers. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 24 (3), 200-212.
- BERTONE, S., CHALIÈS, S. & CLOT, Y. (2009). Contribution d'une théorie de l'action à la conceptualisation et à l'évaluation des pratiques réflexives dans les dispositifs de formation initiale des enseignants. *Le Travail humain*, 72 (2), 104-125.
- BRODEUR, M., MERCIER, J., DUSSAULT, M., DEAUDELIN, C. & RICHER, J. (2006). Élaboration et validation d'une échelle d'autorégulation de l'apprentissage relative à l'intégration pédagogique des TIC. *Canadian Journal of Behavioral Science*, 38 (3), 238-249.
- BUTLER, D. L. (2005). L'autorégulation de l'apprentissage et la collaboration dans le développement professionnel des enseignants. *Revue des sciences de l'éducation*, 31 (1), 55-78.

- CAPA-AYDIN, Y., SUNGUR, S. & UZUNTIRYAKI, E. (2009). Teacher self-regulation: examining a multidimensional construct. *Educational Psychology*, 29 (3), 345-356.
- CHAUBET, P. (2010). *La Réflexion, processus déclenché et constructeur : cas d'enseignants de FLS en formation ou en exercice et d'aspirants coopérants internationaux*. Thèse de doctorat inédite. Université de Montréal, Canada.
- COLLIN, S. (2010). *L'Interaction en ligne comme soutien à la pratique réflexive des enseignants-stagiaires*. Thèse de doctorat inédite. Université de Montréal, Canada.
- COMPTON, R. J., ROBINSON, M. D., ODE, S., QUANDT, L. C., FINE-MAN, S. L. & CARP, J. (2008). Error-monitoring ability predicts daily stress regulation. *Psychological Science*, 19 (7), 702-708.
- Conseil supérieur de l'éducation (CSE), (2004). *Un nouveau souffle pour la profession enseignante : avis au ministère de l'Éducation*. Québec, Canada : Gouvernement du Québec.
- CORREA-MOLINA, E. & GERVAIS, C. (2010). Une adaptation de l'approche de Fenstermacher pour explorer la communication du savoir d'expérience. Dans F. Yvon et F. Saussez (dir.), *Analyser l'activité enseignante. Des outils méthodologiques et théoriques pour l'intervention et la formation* (p. 229-251). Québec, Canada : Presses de l'Université de Laval.
- DUNLOSKEY, J. & RAWSON, K. (2012). Overconfidence produces underachievement: Inaccurate self-evaluations undermine students' learning and retention. *Learning and Instruction*, 22 (4), 271-280.
- DUTILH, G., VANDEKERCKHOVE, J., FORSTMANN, B. U., KEULEERS, E., BRYSBART, M. & WAGENMAKERS, E.-J. (2012). Testing theories of post-error slowing. *Attention, Perception and Psychophysics*, 74 (2), 454-465.
- DWECK, C. S. (2006). *Mindset. The New Psychology of Success*. New York, NY: Random House.
- EFKLIDES, A. (2011). Interactions of metacognition with motivation and affect in self-regulated learning: The MASRL model. *Educational Psychologist*, 46 (1), 6-25.
- EFKLIDES, A. (2012). Commentary: How readily can findings from basic cognitive psychology research be applied in the classroom? *Learning and Instruction*, 22 (4), 290-295.
- ENDEDIJK, M. D., VERMUNT, J. D., VERLOOP, N. & BREKELMANS, M. (2012). The nature of student teachers' regulation of learning in teacher education. *British Journal of Educational Psychology*, 82 (3), 469-491.
- ENDRASS, T., REUTER, B. & KATHMANN, N. (2007). ERP correlates of conscious error recognition: aware and unaware errors in an antisaccade task. *The European Journal of Neuroscience*, 26 (6), 1714-1720.
- EPPINGER, B., KRAY, J., MOCK, B. & MECKLINGER, A. (2008). Better or worse than expected? Aging, learning, and the ERN. *Neuropsychologia*, 46 (2), 521-539.
- ERICSSON, K. A. (2009). Enhancing the development of professional performance: Implications from the study of deliberate practice. Dans K. A. Ericsson (dir.), *Development of professional expertise. Toward measurement of expert performance and design of optimal learning environments* (p. 405-431). New York, NY: Cambridge University Press.
- FALKENSTEIN, M., HOORMANN, J., CHRIST, S. & HOHNSBEIN, J. (2000). ERP components on reaction errors and their functional significance: A tutorial. *Biological Psychology*, 51 (2-3), 87-107.
- FOTI, D., WEINBERG, A., DIEN, J. & HAJCAK, G. (2011). Event-related potential activity in the basal ganglia differentiates rewards from nonrewards: temporospatial principal components analysis and source localization of the feedback negativity. *Human Brain Mapping*, 32 (12), 2207-16.
- FRANK, M. J., WOROCH, B. S. & CURRAN, T. (2005). Error-related negativity predicts reinforcement learning and conflict biases. *Neuron*, 47 (4), 495-501.
- GEHRING, W. J., LIU, Y., ORR, J. M. & CARP, J. (2012). The error-related negativity (ERN/Ne). Dans S. J. Luck et E. S. Kappenman (dir.), *The Oxford handbook of event-related potential components* (p. 231-291). New York, NY: Oxford University Press.
- GREENE, J. A. & AZEVEDO, R. (2010). The measurement of learners' self-regulated cognitive and metacognitive processes while using computer-based learning environments. *Educational Psychologist*, 45 (4), 203-209.
- HAJCAK, G. (2012). What we've learned from mistakes: Insights from error-related brain activity. *Current Directions in Psychological Science*, 21 (2), 101-106.
- HAJCAK, G., MOSER, J. S., YEUNG, N. & SIMONS, R. F. (2005). On the ERN and the significance of errors. *Psychophysiology*, 42 (2), 151-160.
- HERRMANN, M. J., RÖMMLER, J., EHLIS, A.-C., HEIDRICH, A. & FALLGATTER, A. J. (2004). Source localization (LORETA) of the error-related-negativity (ERN/Ne) and positivity (Pe). *Cognitive Brain Research*, 20 (2), 294-299.
- HOFFMANN, S. & FALKENSTEIN, M. (2011). Aging and error processing: Age related increase in the variability of the error-negativity is not accompanied by increase in response variability. *PLoS ONE*, 6 (2), e17482.
- HOFFMANN, S. & FALKENSTEIN, M. (2012). Predictive information processing in the brain: Errors and response monitoring. *International Journal of Psychophysiology*, 83 (2), 208-12.
- HOLROYD, C. B. & COLES, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109 (4), 679-709.
- HOLROYD, C. B. & YEUNG, N. (2012). Motivation of extended behaviors by anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 16 (2), 122-128.
- HOLROYD, C. B., YEUNG, N., COLES, M. G. H. & COHEN, J. D. (2005). A mechanism for error detection in speeded response time tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134 (2), 163-191.
- HUGHES, G. & YEUNG, N. (2011). Dissociable correlates of response conflict and error awareness in error-related brain activity. *Neuropsychologia*, 49 (3), 405-415.
- KIEHL, K. A., LIDDLE, P. F. & HOPFINGER, J. B. (2000). Error processing and the rostral anterior cingulate: An event-related fMRI study. *Psychophysiology*, 37 (2), 216-223.
- KLUSMANN, U., KUNTER, M., TRAUTWEIN, U., LÜDTKE, O. & BAUMERT, J. (2008). Teachers' occupational well-being and quality of instruction: The important role of self-regulatory patterns. *Journal of Educational Psychology*, 100 (3), 702-715.
- KOMARRAJU, M. & NADLER, D. (2013). Self-efficacy and academic achievement: Why do implicit beliefs, goals, and effort regulation matter? *Learning and Individual Differences*, 25, 67-72.
- KOSTONS, D., VAN GOG, T. & PAAS, F. (2012). Training self-assessment and task-selection skills: A cognitive approach to improving self-regulated learning. *Learning and Instruction*, 22 (2), 121-132.
- KRAMARSKI, B. & MICHALSKY, T. (2009). Investigating preservice teachers' professional growth in self-regulated learning environments. *Journal of Educational Psychology*, 101(1), 161-175.
- KREUSSEL, L., HEWIG, J., KRETSCHMER, N., HECHT, H., COLES, M. G. & MILTNER, W. H. (2012). The influence of the magnitude, probability, and valence of potential wins and losses on the amplitude of the feedback negativity. *Psychophysiology*, 49 (2), 207-219.
- L'HOSTIE, M. (2003). *Construire des savoirs et des compétences pour l'enseignement à travers l'interaction professionnelle*. Communication présentée au Colloque AFIRSE-UNESCO 2003. Atelier : Les composantes majeures de la formation des enseignants. Paris, France.
- LEGENDRE, M.-F. (1998). Pratique réflexive et études de cas : quelques enjeux à l'utilisation de la méthode des cas en formation des maîtres. *Revue des sciences de l'éducation*, 24 (2), 379-406.
- LUFT, C. D. B., NOLTE, G., BHATTACHARYA, J. & DI BERNARDI

- LUFT, C. (2013). High-learners present larger mid-frontal theta power and connectivity in response to incorrect performance feedback. *Journal of Neuroscience*, 33 (5), 2029-2038.
- LUU, P., TUCKER, D. M., DERRYBERRY, D. & REED, M., POULSEN, C. (2003). Electrophysiological responses to errors and feedback in the process of action regulation. *Psychological Science*, 14 (1), 47-53.
- MAIER, M. E., YEUNG, N. & STEINHAUSER, M. (2011). Error-related brain activity and adjustments of selective attention following errors. *NeuroImage*, 56 (4), 2339-2347.
- MANGELS, J. A., BUTTERFIELD, B., LAMB, J., GOOD, C. & DWECK, C. S. (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model. *Social cognitive and affective neuroscience*, 1 (2), 75-86.
- MARTINEAU, S. & PRESSEAU, A. (2003). Le Sentiment d'incompétence pédagogique des enseignants débutants et le soutien à l'insertion professionnelle : phénomènes de système et logiques d'acteurs. Dans N. Delobbe, G. Karnas et C. Vandenberghe (dir.), *Développement des compétences, investissement professionnel et bien-être des personnes*. Tome 1 (p. 359-368). Louvain-la-Neuve, Belgique : Presses Universitaires de Louvain.
- MASCIOTRA, D. (2010). L'expérience en action : la clé d'une approche dite située. Dans D. Masciotra, F. Medzo et P. Jonnaert (dir.), *Vers une approche située en éducation. Réflexions, pratiques recherches et standards*. Cahiers scientifiques de l'ACFAS, 111 (p. 13-29). Montréal, Canada : ACFAS.
- MATHALON, D. H., WHITFIELD, S. L. & FORD, J. M. (2003). Anatomy of an error: ERP and fMRI. *Biological Psychology*, 64 (1-2), 119-141.
- MCDERMOTT, J. M. (2008). *The response-monitoring mechanism: Influence of feedback and temperament*. Thèse de doctorat inédite. University of Maryland, College Park, MD.
- MENON, V., ADLEMAN, N. E., WHITE, C. D., GLOVER, G. H. & REISS, A. L. (2001). Error-related brain activation during a Go/NoGo response inhibition task. *Human Brain Mapping*, 12 (3), 131-143.
- MICHAUD, C. (2010). *Le Portfolio : un en-(je)u de formation et de développement professionnel*. Thèse de doctorat inédite. Université de Lyon, France.
- Ministère de l'Éducation du Québec (MEQ) (2001). *La Formation à l'enseignement. Les orientations. Les compétences professionnelles*. Québec, Canada : Gouvernement du Québec.
- MOSER, J. S., SCHRODER, H. S., HEETER, C., MORAN, T. P. & LEE, Y.-H. (2011). Mind your errors: Evidence for a neural mechanism linking growth mind-set to adaptive posterror adjustments. *Psychological Science*, 22 (12), 1484-1489.
- MURPHY, P. R., ROBERTSON, I. H., ALLEN, D., HESTER, R. & O'CONNELL, R. G. (2012). An electrophysiological signal that precisely tracks the emergence of error awareness. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6 (65), 1-16.
- NANDAGOPAL, K. & ERICSSON, K. A. (2012). An expert performance approach to the study of individual differences in self-regulated learning activities in upper-level college students. *Learning and Individual Differences*, 22 (5), 597-609.
- National Council for the Accreditation of Teacher Education (2002). *Professional standards for the accreditation of schools, colleges, and departments of education*. Washington, DC: NCATE.
- National Research Council (2005). *How students learn: History, mathematics, and science in the classroom*. Committee on how people learn: a targeted report for teachers. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2008). *Assessing accomplished teaching: Advanced level certification programs*. Washington, DC: National Academics Press.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2010). *Comment apprend-on ? : la recherche au service de la pratique*. Paris, France : OCDE.
- PIETSCHMANN, M., SIMON, K., ENDRASS, T. & KATHMANN, N. (2008). Changes of performance monitoring with learning in older and younger adults. *Psychophysiology*, 45 (4), 559-568.
- POSTHOLM, M. B. (2011). Self-regulated learning in teaching: students' experiences. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 17 (3), 365-382.
- POTTS, G.F., MARTIN, L. E., KAMP, S. M. & DONCHIN, E. (2011). Neural response to action and reward prediction errors: Comparing the error-related negativity to behavioral errors and the feedback-related negativity to reward prediction violations. *Psychophysiology*, 48 (2), 218-228.
- RANDI, J. (2004). Teachers as self-regulated learners. *Teachers College Record*, 106 (9), 1825-1853.
- RIA, L. (2010). *L'Accompagnement des enseignants débutants : un dispositif expérimental de formation « au fil de l'eau »*. Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation. Université de Genève, Suisse.
- RIDDERINKHOF, K. R., ULLSPERGER, M., CRONE, E. A. & NIEUWENHUIS, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306 (5695), 443-447.
- RIESEL, A., WEINBERG, A., ENDRASS, T., MEYER, A. & HAJCAK, G. (2013). The ERN is the ERN is the ERN? Convergent validity of error-related brain activity across different tasks. *Biological Psychology*, 93 (3), 377-385.
- ROGER, J.-L. (2007). *Refaire son métier. Essais de clinique de l'activité*. Toulouse, France: Érès.
- SANTESSO, D. L., BOGDAN, R., BIRK, J. L., GOETZ, E. L., HOLMES, A. J. & PIZZAGALLI, D. A. (2012). Neural responses to negative feedback are related to negative emotionality in healthy adults. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7 (7), 794-803.
- SCHRODER, H. S., MORAN, T. P., DONNELLAN, M. B. & MOSER, J. S. (2014). Mindset induction effects on cognitive control: A neurobehavioral investigation. *Biological Psychology*, 103, 27-37.
- SCHUNK, D. & ZIMMERMAN, B. (2008). *Motivation and self-regulated learning: Theory, research, and applications*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- SHIELS, K. K. & HAWK Jr., L. W. (2010). Self-regulation in ADHD: The role of error processing. *Clinical Psychology Review*, 30 (8), 951-961.
- SITZMANN, T. & ELY, K. (2011). A meta-analysis of self-regulated learning in work-related training and educational attainment: What we know and where we need to go. *Psychological Bulletin*, 137 (3), 421-442.
- SOLTANI, M. & KNIGHT, R. T. (2000) Neural origins of the P300. *Critical Reviews in Neurobiology*, 14 (3-4), 199-224.
- TOCHON, F. V. (1996). Rappel stimulé, objectivation clinique, réflexion partagée. Fondements méthodologiques et applications pratiques de la rétroaction vidéo en recherche et en formation. *Revue des sciences de l'éducation*, 22 (3), 467-502.
- TRICOMI, E. & FIEZ, J. A. (2012). Information content and reward processing in the human striatum during performance of a declarative memory task. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 12 (2), 361-372.
- VAN NOORDT, S. J. R. & SEGALOWITZ, S. J. (2012). Performance monitoring and the medial prefrontal cortex: A review of individual differences and context effects as a window on self-regulation. *Frontiers in human neuroscience*, 6 (197), 1-16.
- VAN VEEN, V. & CARTER, C. S. (2006). Conflict and cognitive control in the brain. *Current Directions in Psychological Science*, 15, 237-240.
- VAN VEEN, V. & CARTER, C. S. (2002). The timing of action-monitoring processes in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14 (4), 593-602.
- VISU-PETRA, L., MICLEA, M. & VISU-PETRA, G. (2012). Individual differences in anxiety and executive functioning: A multi-dimensional view. *International Journal of Psychology*, 1-11. doi: 10.1080/00207594.2012.656132
- VLAMINGS, P. H., JONKMAN, L. M., HOEKSMAN, M. R., VAN

- ENGELAND, H. & KEMNER, C. (2008). Reduced error monitoring in children with autism spectrum disorder: An ERP study. *European Journal of Neuroscience*, 28 (2), 399-406.
- WEINBERG, A., RIESEL, A. & HAJCAK, G. (2012). Integrating multiple perspectives on error-related brain activity: The ERN as a neurobehavioral trait. *Motivation and Emotion*, 36 (1), 84-100.
- WINNE, P. & HADWIN, A. (2008). The weave of motivation and self-regulated learning. Dans D. Schunk et B. Zimmerman (dir.), *Motivation and self-regulated learning: Theory, research, and applications* (p. 297-314). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- WINNE, P. H. (2010). Improving measurements of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 45 (4), 267-276.
- WINNE, P. H. & JAMIESON-NOEL, D. (2002). Exploring students' calibration of self reports and study tactics and achievement. *Contemporary Educational Psychology*, 27 (4), 551-572.
- WINNE, P. H. & PERRY, N. E. (2000). Measuring self-regulated learning. Dans M. Boekaerts, P. R. Pintrich et M. E. Zeidner (dir.), *Handbook of self-regulation* (p. 531-566). San Diego, CA: Academic Press.
- ZIMMERMAN, B. J. (2006). Development and adaptation of expertise: The role of self-regulatory processes and beliefs. Dans K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich et R. R. Hoffman (dir.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (p. 705-722). New York, NY: Cambridge University Press.
- ZIMMERMAN, B. J. (2008). Investigating self-regulation and motivation: Historical background, methodological developments, and future prospects. *American Educational Research Journal*, 45 (1), 166-183.
- ZUSHO, A. & EDWARDS, K. (2011). Self-regulation and achievement goals in the college classroom. *New Directions for Teaching and Learning*, 126, 21-31.