

---

# VOL. 6, NO. 1

## COMPREND UN CAHIER THÉMATIQUE

*Neurosciences cognitives et éducation à la petite enfance*

\*\*\*

## INCLUDES A SPECIAL COLLECTION

*Early Childhood Education and Cognitive Neuroscience*

**Pages 2-64 \* 4 Articles**

Guest Editors / Directrices invitées

**LORIE-MARLÈNE BRAULT FOISY**

Professeure / Professor  
Université du Québec à Montréal

**STÉPHANIE DUVAL**

Professeure / Professor  
Université Laval

**Also in this issue / Également dans ce numéro**

RECHERCHE EXPÉRIMENTALE

*Le neuromythe des « styles d'apprentissage » VAK (visuel, auditif, kinesthésique) : une tentative de démystification auprès d'apprentis enseignants franco-ontariens*

Luc Rousseau et Jeanne Brabant-Beaulieu

---

Issue DOI / DOI du numéro: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20200601>

Available online on June 6, 2020 / Disponible en ligne le 6 juin 2020

Neuroeducation, 6(1)

ISSN: 1929-1833

All rights reserved / Tous droits réservés

© 2020 - Association for Research in Neuroeducation / Association pour la recherche en neuroéducation

## INTRODUCTION

### **Neurosciences cognitives et éducation à la petite enfance**

Lorie-Marlène Brault Foisy<sup>1\*</sup> et Stéphanie Duval<sup>2</sup>

---

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

<sup>2</sup> Département d'études sur l'enseignement et l'apprentissage, Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Québec, Canada

\* Correspondance avec l'auteure : [brault-foisy.lorie-marlene@uqam.ca](mailto:brault-foisy.lorie-marlene@uqam.ca)

**Pour citer cet article** : Brault Foisy, L.-M. et Duval, S. (2020). Neurosciences cognitives et éducation à la petite enfance. Introduction. *Neuroéducation*, 6(1), 2-3.

DOI: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20200601.2>

La petite enfance (0-6 ans) constitue une période cruciale pour le développement de l'enfant durant laquelle les expériences qu'il vit peuvent avoir une influence considérable sur ses apprentissages ultérieurs (Duval et Bouchard, 2013; McCain, Mustard et McCuaig, 2011). Elle fait actuellement l'objet d'une préoccupation importante des instances gouvernementales de plusieurs pays à travers le monde qui souhaitent réfléchir aux manières de soutenir le mieux qui soit l'enfant, dès son entrée en contexte éducatif de la petite enfance (p. ex. services de garde éducatifs, maternelle 4 et/ou 5 ans). Sur le plan de la recherche, la période même de la petite enfance et l'éducation à la petite enfance font actuellement l'objet d'une grande attention de la part de chercheurs et chercheuses issus de différents domaines (p. ex. éducation, psychologie).

Dans les dernières années, plusieurs travaux (p. ex. Gazzaniga et Mangun, 2014; Kolb, Whishaw et Teskey, 2019) se sont notamment intéressés à la relation bidirectionnelle entre le cerveau et le développement et l'apprentissage du jeune enfant. En effet, en se penchant sur la façon dont les processus cérébraux sont impliqués dans le développement et l'apprentissage de l'enfant dès ses premières années de vie, certaines études contribuent à approfondir notre compréhension quant au fonctionnement et à la structure du cerveau durant la période de la petite enfance. D'autres études (p. ex. Choi et al., 2016; Goble, Sandilos et Pianta, 2019) s'intéressent plus spécifiquement aux effets des contextes éducatifs de la petite enfance, par exemple en termes de qualité des pratiques éducatives, sur le développement cognitif et cérébral de l'enfant. Une meilleure connaissance de ces effets peut ainsi contribuer aux réflexions pédagogiques propres au domaine de l'éducation à la petite enfance.

Pour ce cahier thématique, la revue *Neuroéducation* a invité chercheurs et chercheuses à présenter des résultats de recherche et des argumentaires théoriques ou méthodologiques basés directement ou indirectement sur le fonctionnement du cerveau et qui peuvent contribuer à une réflexion de recherche en éducation à la petite enfance. Ce cahier est composé de deux recherches expérimentales, d'un article à visée méthodologique et d'une revue de la littérature.

D'abord, l'article de Noémie Montminy-Sanschagrin, Stéphanie Duval et Caroline Bouchard rapporte les premiers résultats d'une étude visant à explorer « Le lien entre les habiletés d'autorégulation observées chez l'enfant âgé de 5 ans et la qualité des interactions en classe d'éducation préscolaire ». Cet article discute des relations significatives qui ont été observées entre certaines dimensions de la qualité des interactions et les processus d'autorégulation, et met de l'avant les implications de ces résultats tant pour le milieu de la pratique que pour celui de la recherche.

Puis, l'article méthodologique de Jérémie Blanchette Sarrasin, Lorie-Marlene Brault Foisy, Alexandra Auclair, Martin Riopel et Steve Masson intitulé « Guidelines for conducting a pre-post intervention study with preschool children using fMRI: The rationale behind the methodological choices of a research project on reading acquisition » discute des défis qui se posent lors de la conduite de projets de recherche en neuroimagerie auprès de jeunes enfants. Plus spécifiquement, il présente le

rationnel des choix méthodologiques d'une étude quasi-expérimentale ayant utilisé l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) auprès d'enfants d'âge préscolaire. Une discussion propose des lignes directrices permettant de faciliter la conduite de tels projets de recherche.

Ensuite, Isabelle Deshaies, Jean-Marie Miron, Colette Picard et Steve Masson présentent une recension des écrits intitulée « Mieux préparer les élèves du préscolaire à l'apprentissage de l'arithmétique : une recension des études proposant des programmes d'intervention s'appuyant sur les neurosciences ». L'une des principales conclusions de cette recension est qu'il existe peu de programmes d'intervention s'appuyant sur la recherche en neurosciences et qu'aucun ne cible spécifiquement le mécanisme cérébral du contrôle inhibiteur, qui est pourtant l'un des trois prérequis estimés essentiels à l'apprentissage de l'arithmétique à l'éducation préscolaire.

Finalement, Isabelle Deshaies, Jean-Marie Miron et Steve Masson rapportent les résultats d'un projet de recherche qu'ils ont mené afin de combler le vide identifié dans la recension des écrits : « Effet d'une intervention pédagogique visant l'apprentissage du contrôle inhibiteur sur le développement de prérequis liés à l'arithmétique chez les élèves du préscolaire âgés de 5 ans ». Cet article présente donc les principaux résultats d'une intervention visant spécifiquement le contrôle inhibiteur sur les habiletés numériques de 126 élèves du préscolaire et met de l'avant le rôle du contrôle inhibiteur dans l'apprentissage de l'arithmétique.

## Références

- Choi, J. Y., Castle, S., Williamson, A. C., Young, E., Worley, L., Long, M. et Horm, D. M. (2016). Teacher-child interactions and the development of executive function in preschool-age children attending head start. *Early Education and Development*, 27(6), 751-769. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1129864>
- Duval, S. et Bouchard, C. (2013). *Soutenir la préparation à l'école et à la vie des enfants issus de milieux défavorisés et des enfants en difficulté*. Québec, QC : Gouvernement du Québec.
- Gazzaniga, M. S. et Mangun, G. R. (dir.). (2014). *The cognitive neurosciences* (5<sup>e</sup> éd.). Boston, MA : MIT Press.
- Goble, P., Sandilos, L. E. et Pianta, R. C. (2019). Gains in teacher-child interaction quality and children's school readiness skills: Does it matter where teachers start? *Journal of School Psychology*, 73, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2019.03.006>
- Kolb, B., Whishaw, I. Q. et Teskey, G. C. (2019). *An introduction to brain and behavior* (6<sup>e</sup> éd.). New York, NY : Worth Publishers.
- McCain, M. N., Mustard, F. J. et McCuaig, K. (2011). *Early years study 3: Making decisions, taking action*. Toronto, ON : Margaret & Wallace McCain Family Foundation.

## INTRODUCTION

**Early childhood education and cognitive neuroscience**Lorie-Marlène Brault Foisy<sup>1\*</sup> & Stéphanie Duval<sup>2</sup><sup>1</sup> Département de didactique, Faculté des sciences de l'éducation, Université du Québec à Montréal, Canada<sup>2</sup> Département d'études sur l'enseignement et l'apprentissage, Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Québec, Canada\* Author email address: [brault-foisy.lorie-marlene@uqam.ca](mailto:brault-foisy.lorie-marlene@uqam.ca)**To cite this article:** Brault Foisy, L.-M., & Duval, S. (2020). Early childhood education and cognitive neuroscience. Introduction. *Neuroéducation*, 6(1), 4-5.**DOI:** <https://doi.org/10.24046/neuroed.20200601.4>

Early childhood (0-6 years) is a crucial period in a child's development during which his experiences can have a significant influence on subsequent learning (Duval & Bouchard, 2013; McCain, Mustard, & McCuaig, 2011). It is currently a major concern for government authorities in several countries around the world about how to best support children as they enter early childhood education (e.g., child care centers, 4- and/or 5-year-old kindergarten). In terms of research, early childhood and early childhood education receive considerable attention from researchers of different fields (e.g., education, psychology). In recent years, several studies have focused on the two-way relationship between the brain and early childhood development and learning.

In recent years, several studies (e.g., Gazzaniga, & Mangun, 2014; Kolb, Whishaw, & Teskey, 2019) have focused on the two-way relationship between the brain and early childhood development and learning. By examining how brain processes are involved in the early years development and learning for children, some studies contribute to deepen our current understanding of this developmental period, using a level of analysis specific to brain functioning and structure. Other studies (e.g., Choi *et al.*, 2016; Goble, Sandilos, & Pianta, 2019) focus more specifically on the effects of early childhood educational contexts, for example in terms of quality of educational practices, on children's cognitive and brain development. A better knowledge of these effects can thus contribute to pedagogical advancements in the field of early childhood education.

For this special issue, the *Neuroeducation* journal has invited researchers to present research results and theoretical or methodological arguments based directly or indirectly on brain functioning or structure in early childhood education. This issue is composed of two experimental studies, a methodological article, and a literature review.

First, the article by Noémie Montminy-Sanschagrin, Stéphanie Duval, and Caroline Bouchard reports the initial results of a study aimed at exploring "The link between self-regulation skills observed in 5-year-olds and the quality of interactions in preschool education classes" (free translation). This article discusses the significant relationships that were observed between certain dimensions of the quality of interactions and self-regulation processes and highlights the implications of these results for both the practice and research communities.

Then, the methodological article by Jérémie Blanchette Sarrasin, Lorie-Marlène Brault Foisy, Alexandra Auclair, Martin Riopel, and Steve Masson entitled "Guidelines for conducting a pre-post intervention study with preschool children using fMRI: The rationale behind the methodological choices of a research project on reading acquisition" discusses the challenges involved in conducting neuroimaging research projects with young children. More specifically, it presents the rationale behind the methodological choices of a quasi-experimental study using

functional magnetic resonance imaging (fMRI) with preschool children. A discussion proposes guidelines that may facilitate the conduct of such research projects.

Next, Isabelle Deshaies, Jean-Marie Miron, Colette Picard, and Steve Masson present a review of the literature entitled "Better preparing preschool students to learn arithmetic: A review of studies proposing intervention programs based on the neurosciences" (free translation). One of the main conclusions of this review is that there are few intervention programs based on neuroscience research, and none specifically targeting the brain mechanism of inhibitory control, which is one of the three prerequisites considered essential for learning arithmetic in preschool.

Finally, Isabelle Deshaies, Jean-Marie Miron, and Steve Masson report the results of a research project they conducted to fill the gap identified in the previous literature review in "Effect of a pedagogical intervention aimed at learning inhibitory control on the development of prerequisites related to arithmetic in 5-year-old preschool students" (free translation). This article presents the main results of an intervention specifically targeting inhibitory control on the numeracy skills of 126 preschool students and highlights the role of inhibitory control in arithmetic learning.

## References

- Choi, J. Y., Castle, S., Williamson, A. C., Young, E., Worley, L., Long, M., & Horm, D. M. (2016). Teacher-child interactions and the development of executive function in preschool-age children attending head start. *Early Education and Development*, 27(6), 751-769. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1129864>
- Duval, S., & Bouchard, C. (2013). *Soutenir la préparation à l'école et à la vie des enfants issus de milieux défavorisés et des enfants en difficulté*. Quebec, QC: The Government of Quebec.
- Gazzaniga, M. S., & Mangun, G. R. (Eds.). (2014). *The cognitive neurosciences* (5<sup>th</sup> ed.). Boston, MA : MIT Press.
- Goble, P., Sandilos, L. E., & Pianta, R. C. (2019). Gains in teacher-child interaction quality and children's school readiness skills: Does it matter where teachers start? *Journal of School Psychology*, 73, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2019.03.006>
- Kolb, B., Whishaw, I. Q., & Teskey, G. C. (2019). *An introduction to brain and behavior* (6<sup>th</sup> ed.). New York, NY: Worth Publishers.
- McCain, M. N., Mustard, F. J., & McCuaig, K. (2011). *Early years study 3: Making decisions, taking action*. Toronto, ON: Margaret & Wallace McCain Family Foundation.

## RECHERCHE EXPÉRIMENTALE

**Le lien entre les habiletés d'autorégulation observées chez l'enfant âgé de 5 ans et la qualité des interactions en classe d'éducation préscolaire**Noémie Montminy<sup>1\*</sup>, Stéphanie Duval<sup>1</sup> et Caroline Bouchard<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

Cette étude vise à examiner le caractère prédictif de la qualité des interactions en classe d'éducation préscolaire cinq ans sur le niveau d'habiletés d'autorégulation (AR) de l'enfant, telles qu'observées en contexte naturel. Pour ce faire, les habiletés d'AR de 32 enfants provenant de 9 classes ont été observées à l'aide de l'*Échelle d'observation de l'autorégulation en contexte de jeu symbolique* (Montminy et Duval, 2019). La qualité des interactions enseignante-enfants a, quant à elle, été mesurée à l'aide du *Classroom Assessment Scoring System* (CLASS; Pianta, La Paro et Hamre, 2008). Les résultats des régressions hiérarchiques révèlent des relations significatives entre les dimensions de la qualité des interactions en classe (p. ex. la sensibilité de l'enseignante) et les processus liés à l'AR (p. ex. l'autocontrôle). Deux constats principaux peuvent être dégagés de ces résultats. Premièrement, les interactions corégulatrices de l'enseignante doivent considérer le développement hiérarchique de l'AR de l'enfant, en modifiant ses stratégies d'étayage selon son niveau d'habiletés émotionnelles, comportementales et cognitives. Deuxièmement, trop de soutien aux habiletés liées à l'AR de l'enfant se rangerait davantage dans l'ordre de la régulation externe que dans la corégulation. Ces résultats sont discutés au regard de leur implication pour les recherches futures ainsi que pour la pratique.

<sup>1</sup> Département d'études sur l'enseignement et l'apprentissage, Université Laval, Québec, QC, Canada\* Correspondance avec l'auteure : [noemie.montminy-sanschagrin.1@ulaval.ca](mailto:noemie.montminy-sanschagrin.1@ulaval.ca)

**Pour citer cet article :** Montminy, N., Duval, S. et Bouchard, C. (2020). Le lien entre les habiletés d'autorégulation observées chez l'enfant âgé de 5 ans et la qualité des interactions en classe d'éducation préscolaire. *Neuroéducation*, 6(1), 6-23.

DOI: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20200601.6>



## 1. Introduction

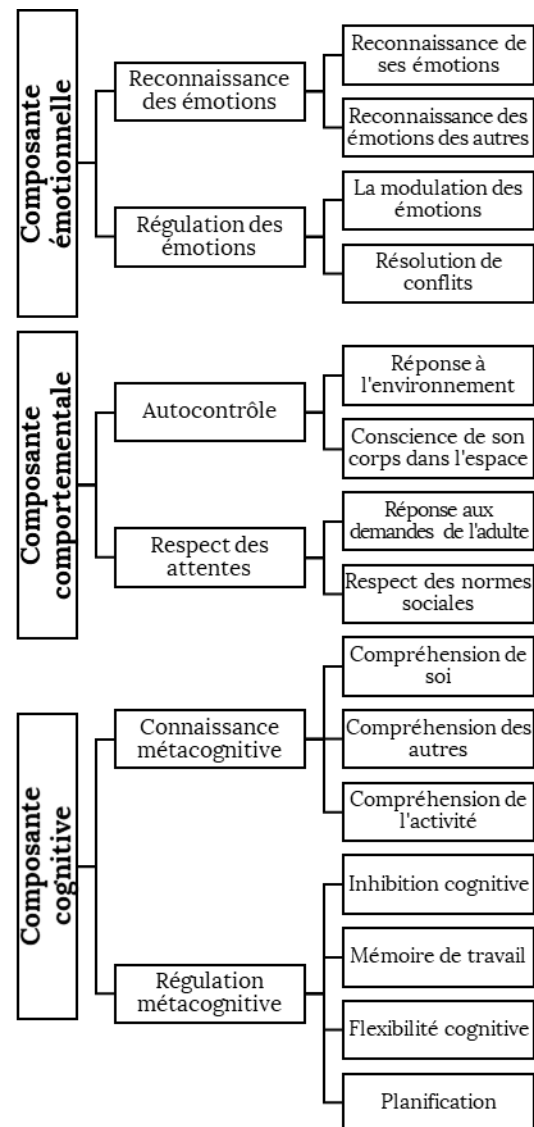
L'autorégulation (AR), ce processus cognitif qui permet à l'enfant de s'arrêter, de penser, puis d'agir, est étroitement liée au développement global du jeune enfant et, conséquemment, à sa réussite éducative présente et future (Blair et Dennis, 2010; Pascal, 2009). D'ailleurs, la période de quatre à six ans s'avèrerait propice pour le développement de l'AR chez l'enfant, puisque les régions corticales qui y sont associées sont hautement malléables (Whitebread et Basilio, 2012; Zelazo, 2013). Un large éventail d'études empiriques démontre que les habiletés autorégulatrices de l'enfant peuvent être soutenues par des interventions structurées et mises en place selon un protocole expérimental ciblant leurs habiletés émotionnelles (Greenberg, 2006), leur capacité d'autocontrôle (Piquero, Jennings et Farrington, 2010) et leurs fonctions exécutives (FE) (Diamond, 2012), tous des processus compris dans l'AR.

Or, une compréhension holistique de l'AR, voire des habiletés mises en place par l'enfant sur les plans émotionnel, comportemental et cognitif, semble à approfondir (Murray, Rosanbalm, Christopoulos et Hamoudi, 2015). En ce sens, les mesures actuellement utilisées pour examiner l'AR chez le jeune enfant comportent des limites, et ce, car : 1) la plupart des mesures traitent les divers processus liés à l'AR de façon séparée; et 2) la faible validité écologique des mesures liées à l'AR limite actuellement leur application au contexte éducatif tel celui de la classe (McClelland et Cameron, 2012; Rosanbalm et Murray, 2018b). Nieto et ses collaborateurs (2016) signalent d'ailleurs l'importance de miser sur des outils d'observation dans les recherches portant sur le développement de l'enfant (p. ex. l'AR) pour détecter la réelle présence de relations entre les facteurs d'influences et les habiletés perçues en situation naturelle.

### 1.1 L'autorégulation

L'AR fait référence à la capacité de l'enfant à contrôler ses émotions, ses comportements et ses pensées par la mise en place de stratégies autodéterminées (Nigg, 2017). Cela signifie qu'il est en mesure de déployer des habiletés régulatrices (p. ex. contrôle de ses pensées et de ses actions) de manière autonome, motivée (c.-à-d. intrinsèquement et non en fonction d'une récompense ou d'une conséquence) et intentionnelle, soit sans avoir besoin d'aide externe et sans se conformer (McClelland et al., 2017). À ce jour, plus de 447 définitions différentes de l'AR regroupées en 6 familles conceptuelles distinctes ont été recensées (Burman, Green et Shanker, 2015). De ces conceptualisations, plusieurs théoriciens partagent une vision holistique de l'AR voulant que les habiletés émotionnelles, comportementales et cognitives soient indissociables et s'influencent (p. ex. Calkins et Williford, 2009; Murray, Rosanbalm, Christopoulos

et Hamoudi, 2015; Nigg, 2017). Cette étude repose donc principalement sur la conceptualisation proposée par Murray et ses collaborateurs (2015). Pour ces derniers, trois composantes indissociables forment l'AR<sup>1</sup>, qui elles, réfèrent à des processus et des habiletés observables (voir figure 1) : 1) la composante émotionnelle; 2) la composante comportementale; et 3) la composante cognitive.



**Figure 1.** Composantes, processus et habiletés observables tirées de l'Échelle d'observation de l'autorégulation en contexte de jeu symbolique (Montminy et Duval, 2019).

<sup>1</sup> Par souci de concision, le terme autorégulation réfère ipso facto dans cet article aux trois composantes lui étant reliées : 1) émotionnelle, 2) comportementale, et 3) cognitive). Ces trois composantes forment un tout, une partie intégrante et indissociable de l'AR (Murray et al., 2015).

Lorsqu'il sera question d'une composante particulière, cette dernière sera explicitement nommée. Pour de plus amples informations sur ce choix théorique, voir le chapitre 2 de Montminy (2020).

D'abord, la composante émotionnelle renvoie aux processus permettant de moduler l'éveil émotionnel (traduction libre de *emotional arousal*) de l'enfant (tant du point de vue physiologique que psychologique), en premier lieu par la connaissance des émotions, puis par la régulation des émotions (Calkins et Williford, 2009). La seconde composante, l'AR comportementale, peut être définie comme la capacité de l'enfant à moduler ses comportements (*Ibid.*) de manière à répondre aux attentes contextuelles, telles que les règles de vie de la classe, les demandes d'un pair et celles de l'enseignante<sup>2</sup> (McClelland et Tominey, 2015; Montminy et Duval, 2019).

Finalement, la composante cognitive réfère à l'utilisation délibérée par l'enfant de processus cognitifs complexes (p. ex. métacognition, FE) lui permettant de déployer des stratégies de haut niveau de régulation émotionnelle, comportementale et cognitive, vers l'atteinte d'un but (Schraw, Crippen et Hartley, 2006; Whitebread *et al.*, 2009). Pour arriver à ce contrôle cognitif, deux principaux processus doivent être intégrés : 1) la connaissance métacognitive (métacognition) et 2) la régulation métacognitive (les FE - inhibition, mémoire de travail, flexibilité mentale et planification) (Roebbers, 2017; Whitebread *et al.*, 2009; Zimmerman, 1986). Dans cet ordre d'idées, Blair et Ursache (2011) soulignent que les FE, agissant comme contrôle cognitif chez l'enfant, sont essentielles au déploiement des habiletés liées à l'AR dans sa forme la plus complexe (c.-à-d. l'AR autonome et motivée).

Selon Calkins et Williford (2009), le développement des composantes et des habiletés liées à l'AR serait hiérarchique et conditionnel au développement de chacune. En ce sens, vers l'âge de deux ans, les habiletés liées à la composante émotionnelle serviraient de socle au développement de la composante comportementale qui commencerait à émerger vers l'âge de trois ans, puis à celles de la composante cognitive qui apparaîtraient plutôt entre quatre et six ans (Calkins et Williford, 2009; Nigg, 2017).

Les habiletés liées à l'AR, ainsi que la motivation à se réguler de façon autonome, se développent au sein d'un continuum allant de la régulation externe à l'AR grâce aux interactions mises en place par les adultes qui entourent l'enfant (Bernier, Carlson et Whipple, 2010). Ainsi, bien que l'AR soit un processus internalisé propre à l'enfant, son développement, quant à lui, doit être considéré tel un processus partagé entre ce dernier et l'adulte (Kopp, 1982).

### 1.2 Le rôle de l'adulte dans le développement de l'autorégulation

Les interactions entre l'adulte et l'enfant contribuent au développement de processus cognitifs complexes chez ce dernier (Vygotsky et Rieber, 1997), car elles le soutiennent dans l'acquisition d'habiletés lui permettant de moduler ses émotions, comportements et pensées, et ce, avant qu'il n'acquière l'AR (Bernier *et al.*, 2010; Kopp, 1982). Au tout début

de ce processus développemental (voir figure 2) menant vers l'AR, l'enfant a besoin de sources externes de régulation (p. ex. les demandes de l'adulte, les règles de vie, les normes liées à l'environnement social; Kopp, 1982).

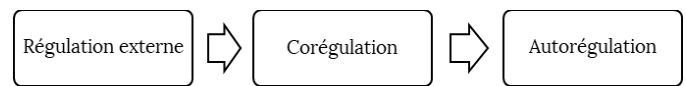


Figure 2. Processus partagé du développement de l'autorégulation.

Afin d'atteindre l'AR, la corégulation, un processus interactionnel régulateur au sein duquel l'adulte use d'interventions chaleureuses et sensibles auprès de l'enfant, utilise des stratégies positives de gestion des comportements et crée un climat propice au déploiement de l'AR, est alors essentielle (Rosanbalm et Murray, 2018a). Selon la perspective historico-culturelle (Vygotski, 1997), le soutien de l'adulte doit tenir compte de la zone de proche développement de l'enfant (ZPD; Bodrova et Leong, 2007), qui peut être définie comme « [...] la distance entre le niveau de développement réel déterminé par la résolution indépendante de problèmes et le niveau de développement potentiel déterminé par la résolution de problèmes guidés par l'adulte ou en collaboration avec des pairs plus compétents » (p. 86). En ce sens, l'enfant acquiert des habiletés liées à l'AR lorsque les interventions de l'adulte tiennent compte de cette ZPD, c'est-à-dire du niveau développemental qui lui est propre.

Les habiletés liées à l'AR seraient d'abord influencées par les facteurs biologiques tels que le sexe et l'âge (Murray *et al.*, 2015). À titre d'exemple, les garçons démontreraient un plus faible niveau d'AR que les filles, et ce, aux trois composantes (Matthews, Marulis et Williford, 2014; Montroy, 2014). D'un autre côté, des études ont montré que les facteurs environnementaux, notamment ceux liés à la famille, seraient tout aussi déterminants dans le développement de celles-ci (McClelland et Tominey, 2015; Murray *et al.*, 2015). D'ailleurs, Rhoades, Greenberg, Lanza et Blair (2011) ont démontré que les enfants provenant de familles à risque<sup>3</sup> étaient significativement associés à de plus faibles habiletés liées à la composante cognitive de l'AR, et ce, au-delà de la différence liée à l'âge.

Pour Murray et ses collaborateurs (2015), la corégulation en tant que processus d'interactions régulatrices adaptées au niveau de l'enfant doit être de qualité. En effet, seules des interactions de qualité permettraient de créer un environnement sécurisant où l'enfant a l'opportunité de mettre en pratique ses habiletés d'AR (Downer, Sabol et Hamre, 2010). D'ailleurs, des chercheurs ayant étudié la qualité des pratiques parentales (p. ex. être sensible aux besoins de l'enfant, soutenir son sentiment d'autonomie et de responsabilité) montrent que la qualité des interactions parent-enfant serait liée au déploiement des habiletés d'AR

<sup>2</sup> L'usage au féminin a été privilégié, dans cet article, en référence à la forte représentativité féminine au sein de cette profession.

<sup>3</sup> La présente étude considère les familles à risque (versus les familles à faible risque; Cadima *et al.*, 2016) telles des familles ayant de plus faibles ressources familiales (p. ex. faible niveau d'éducation du parent, faible revenu).



chez l'enfant âgé de deux à six ans (p. ex. Bernier et al., 2010; Downer et al., 2010; Caiozzo, Yule et Grych, 2018). Dans le même ordre d'idées, Bernier et al. (2010) ont démontré que le soutien à l'autonomie fourni par un parent s'avérait le prédicteur le plus robuste des habiletés de l'enfant liées à la composante cognitive de l'AR (ici les FE), et ce, indépendamment de son âge, de ses habiletés cognitives générales (p. ex. QI) et du niveau d'éducation de sa mère.

Alors que des relations entre différentes composantes de l'AR (p. ex. cognitive, les FE) et la qualité des interactions parent-enfant semblent établies, des chercheurs se questionnent à savoir si la qualité des interactions enseignante-enfants pourrait également exercer une influence sur l'AR de l'enfant (Slot, Mulder et Leseman, 2015). D'autant plus qu'entre quatre et six ans, l'enfant est amené à fréquenter un contexte éducatif (p. ex. maternelle cinq ans) qui l'amène à mettre en place un lot d'habiletés liées à l'AR par la nature du milieu (p. ex. règles de vie, routines, etc.) (McClelland et Tominey, 2015). Considérant alors que les habiletés d'AR sont en plein développement à l'âge préscolaire, et reconnaissant l'importance de la corégulation dans le processus d'internalisation des habiletés autorégulées, il semble essentiel d'examiner les relations entre l'AR de l'enfant et la qualité des interactions en classe (Broekhuizen, Slot, van Aken et Dubas, 2017; Kopp, 1982).

### 1.3 La qualité des interactions en classe et l'autorégulation de l'enfant

La qualité des interactions en classe réfère à la chaleur et à la sensibilité de l'enseignante à l'égard des enfants, à sa capacité à organiser un environnement physique et social répondant à leurs besoins selon leur niveau de développement, ainsi qu'à sa manière de soutenir leurs apprentissages (Duval, 2015; Pianta, La Paro et Hamre, 2008).

Un cadre théorique sur la qualité des interactions en classe, élaboré sur la base de plusieurs recherches développementales (p. ex. Bronfenbrenner et Morris, 1998), a permis la création d'un outil d'observation de la qualité des interactions en classe : *Le Classroom Assessment Scoring System [CLASS]* (Pianta et al., 2008). Depuis sa création, le CLASS a été largement utilisé aux États-Unis (p. ex. Hamre, Hatfield, Pianta et Jamil, 2014; Pianta et al., 2008), de même qu'à travers le monde (p. ex. Hu, Fan, Gu et Yang, 2016; Lerkkanen et al., 2012; Bouchard et al. 2017). D'ailleurs, une méta-analyse de Sabol, Hong, Pianta et Burchinal (2013) démontre que la qualité des interactions en classe, telle que mesurée par le CLASS, s'avère un prédicteur des apprentissages et du développement de l'enfant d'âge préscolaire, voire de sa réussite éducative.

Selon sa forme théorique initiale, le CLASS est composé de dix dimensions regroupées en trois domaines : le soutien émotionnel, l'organisation de la classe et le soutien à l'apprentissage (Pianta et al., 2008). Or, des chercheurs (p. ex. Gest et al., 2014) estiment qu'en conservant la forme théorique initiale du CLASS pour mener des analyses statistiques, l'établissement de relations entre la qualité des

interactions observées et des habiletés précises liées au développement de l'enfant est difficilement réalisable (p. ex. l'AR), en raison de la présence de multicollinéarité entre les dimensions qui le constituent (Williford et al., 2017). Pour y pallier, certains chercheurs proposent d'utiliser le modèle bifactoriel de la qualité des interactions (p. ex. Hamre et al., 2014). Plus précisément, cette stratégie analytique a d'abord été suggérée par Hamre et al. (2014), puis a été reprise par d'autres chercheurs (p. ex. Williford et al., 2017). Ce modèle distribue les dix dimensions du CLASS en deux domaines : 1) la gestion positive et les routines de classe, 2) la facilitation cognitive, pour ainsi pallier le problème de multicollinéarité évoqué et favoriser la saturation des composantes (*Ibid.*).

D'ailleurs, le lien entre les habiletés d'AR et la qualité des interactions en classe reste difficile à établir (Broekhuizen et al., 2017). À titre d'exemples, certaines études n'indiquent aucun lien entre certaines composantes de l'AR mesurées en laboratoire et la qualité des interactions enseignante-enfants (p. ex. Slot et al., 2015), tandis que d'autres indiquent des relations avec une taille d'effet variant de faible à modérée entre ces variables (Leyva et al., 2015; Williford, Whittaker, Vitiello et Downer, 2013). D'autres travaux vont même jusqu'à identifier des associations négatives entre certains processus liés à l'AR mesurées par des tâches (p. ex. FE) et la qualité des interactions observées en classe (Bihler et al., 2018; Duval, 2015; Hamre et al., 2014).

Considérant le problème de multicollinéarité du CLASS et la nécessité d'éclaircir le lien entre l'AR et la qualité des interactions en classe (Broekhuizen et al., 2017) les analyses de la présente étude seront réalisées selon un modèle bifactoriel. Qui plus est, bien que certaines études aient mesuré le lien entre certains processus isolés de l'AR (souvent en référant à une seule composante), mesurés par des tâches standardisées et la qualité des interactions en classe (p. ex. Broekhuizen et al., 2017), aucune n'a considéré, du moins à notre connaissance, le lien entre la qualité des interactions en classe et l'AR dans son entier (émotionnelle, comportementale et cognitive), voire selon la conceptualisation holistique de l'AR proposée par Murray et al. (2015). Obtenir des informations plus précises sur les habiletés d'AR déployées par l'enfant en contexte de classe et la qualité des interactions enseignante-enfants en classe permettrait, entre autres choses, d'éclaircir les implications pratiques.

Or, à ce jour, il n'existe pas, du moins, à notre connaissance, d'outils d'observation des habiletés liés à l'AR (émotionnelle, comportementale et cognitive) en contexte naturel de classe. En ce sens, Murray, Rosanbalm et Christopoulos (2016) affirment que la façon de mesurer l'AR est la principale cause des difficultés d'application de la recherche à la pratique. Pourtant, plusieurs études (p. ex. Otsuka et Jay, 2017; Slot, Mulder, Verhagen et Leseman, 2017) démontrent qu'il est possible d'obtenir des données pertinentes et valides pour recueillir des informations riches sur des aspects fondamentaux du développement de l'enfant par l'observation dans des contextes naturels (p. ex. le jeu).

Devant ces besoins de connaissances sur le rôle de l'adulte en contexte éducatif dans le soutien de l'AR, cette étude vise à répondre à trois objectifs spécifiques. Premièrement, il s'agit de mesurer le niveau d'habiletés d'AR observées<sup>4</sup> (émotionnelle, comportementale et cognitive) chez l'enfant à l'éducation préscolaire cinq ans. Pour ce faire, une mesure a été créée. Deuxièmement, il est question d'évaluer le niveau de qualité des interactions en classe. Troisièmement, cette étude vise à examiner le caractère prédictif de la qualité des interactions à l'éducation préscolaire cinq ans sur le niveau d'habiletés d'AR observées chez l'enfant.

## 2. Méthode

### 2.1 Participants

Les données de la présente étude s'insèrent dans le cadre d'un projet plus vaste se déroulant sur trois ans, subventionné par le FRQ-SC et le MÉES (Bouchard et al., 2016-2020<sup>5</sup>). Les enseignantes ( $n = 17$ ) ont été recrutées par la conseillère pédagogique d'une commission scolaire à l'hiver 2016. Au total, au temps 2 de ce projet (automne 2017), 11 enseignants (10 femmes et 1 homme) provenant d'écoles situées au Québec (Canada) se sont portés volontaires pour participer. Comme l'outil mesurant l'AR nécessitait des captations vidéo, seules les classes où les vidéos de qualité suffisante en son et en images ont été conservées dans l'échantillon. Pour cette raison, mais aussi considérant l'attrition de l'échantillon (p. ex. congés de maternité) d'une année à l'autre du projet, les données de cet article proviennent de 9 classes de la région de Québec.

L'échantillon est composé de 32 enfants (21 filles, 11 garçons) âgés en moyenne de 5,3 ans (ÉT = 3,5 mois), qui proviennent de neuf classes d'éducation préscolaire (moyenne de 15,28 enfants/classe) de la région de Québec. La majorité des parents répondants est la mère ( $n = 86\%$ ), dont l'âge moyen est de 32,56 ans (ÉT = 11,65). Alors que 35,5 % des parents détiennent un diplôme d'études collégiales ou un diplôme professionnel, 29 % possèdent un diplôme universitaire de 1<sup>er</sup> cycle et 25,8 % ont un diplôme universitaire de 2<sup>e</sup> cycle. La majorité des parents répondants travaille à temps plein ( $n = 80,6\%$ ) et est mariée ou possède un conjoint ou une conjointe de fait ( $n = 74,6\%$ ). La moitié des familles a un revenu familial brut de plus de 100 000 \$ (CAD) par année, et seuls 6,9 % des familles vivent avec moins de 30 000 \$.

Parallèlement, neuf enseignants (8 femmes, 1 homme) ont participé à cette étude, lesquels ont en moyenne 6,4 années d'expérience en enseignement à l'éducation préscolaire (ÉT = 4,09 ans). En ce qui concerne leur formation, 66,6 % d'entre eux détiennent un diplôme de 1<sup>er</sup> cycle universitaire

(baccalauréat en éducation préscolaire et enseignement primaire), alors que 33,3 % ont un diplôme de 2<sup>e</sup> cycle.

### 2.2 Outils

#### 2.2.1 Habiletés liées à l'autorégulation

L'instrument *Échelle d'observation de l'autorégulation en contexte de jeu symbolique* (Montminy, 2020; Montminy et Duval, 2019) a permis d'observer le niveau d'AR des enfants participants, en fonction des habiletés observables (p. ex. dans son jeu symbolique, l'enfant effectue une série d'actions orientées vers un but) associées au processus (p. ex. régulation métacognitive), puis aux composantes (p. ex. composante cognitive) (voir figure 1). Au terme de l'observation des 20 minutes moyennes des séquences vidéo captées dans les classes, chaque habileté se voit attribuer un score allant de 1 à 7 en référence au processus partagé de l'AR: 1 à 2 pour la catégorie faible (nécessitant une régulation externe), 3 à 5 pour la catégorie moyenne (nécessitant la corégulation) et 6 à 7 pour la catégorie élevée (AR autonome et motivée).

Afin de valider les construits théoriques qui sous-tendent l'outil, des analyses psychométriques préliminaires ont été menées. Plus précisément, suite à la cotation des observations, un accord interjuge a été réalisé sur l'échantillon, atteignant un accord substantiel de 0,76 (Altman, 1991). Ce résultat indique le degré d'accord interjuge entre deux observateurs par rapport au hasard, lequel confirme la possibilité de l'application du schéma de code mutuellement exclusif et exhaustif (Bakeman et Quera, 2012). Des analyses de cohérence interne ont révélé un alpha de Cronbach au-delà du seuil minimal accepté ( $\alpha = 0,76$ ; Nunnally, 1978).

Finalement, des analyses factorielles confirmatoires avec rotation oblique (*direct oblimin*) ont été menées dans le but d'établir si le modèle théorique de l'AR s'applique aux données. Tous les indicateurs de factorabilité (p. ex. KMO [= 0,72] et Bartlett [ $p < ,001$ ]) se sont avérés bons (Brace, Kemp et Snelgar, 2012). L'analyse des résidus a également montré que la solution donnée s'avère bonne. En ce sens, l'analyse a révélé que deux composantes (voir tableau 4) avaient une valeur propre supérieure à 1,0. Le tracé est également venu confirmer ces deux composantes (*Ibid.*). Ces analyses confirment les propositions théoriques (p. ex. Blair, 2002) et neurologiques (p. ex. Davis, Bruce et Gunnar, 2002) dégagées dans différents travaux voulant que l'émotion et la cognition proposent les comportements (Murray et al., 2015), en plus d'être cohérentes avec les modèles statistiques obtenus suite à des tests menés en laboratoire (p. ex. Smith-

<sup>4</sup> À ce jour, il n'existe pas, du moins, à notre connaissance, d'outils d'observation des habiletés liés à l'AR (émotionnelle, comportementale et cognitive) en contexte naturel de classe. Dans le cadre d'un mémoire de maîtrise (Montminy, 2020), un outil ayant une vision holistique de l'AR et une considération pour la validité écologique fut créé. Les données de cet article sont donc issues des observations menées à l'aide de l'*Échelle*

*d'observation de l'autorégulation en contexte de jeu symbolique* (Montminy et Duval, 2019) qui sera présenté dans la section outils de ce même article. Pour plus de détails concernant la conception et la validation de cet outil, voir le chapitre 3 de Montminy (2020).

<sup>5</sup> [Cliquer ici pour les détails de cette recherche.](#)

Donald, Raver, Hayes et Richardson, 2007). La saturation de chacune des composantes est présentée dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Composantes issues de l'analyse factorielle ainsi que les variables qui saturent sur chacune d'elles

	Composante 1 La cognition		Composante 2 L'émotion
Régulation métacognitive (FE)	0,896	Reconnaissance des émotions	0,898
Autocontrôle	0,881	Régulation des émotions	0,852
Connaissance métacognitive (métacognition)	0,681	Autocontrôle	0,577

Note. Seul le respect des attentes s'est avéré ne pas saturer sur aucune des composantes.

Ces analyses psychométriques préliminaires sont prometteuses vis-à-vis de la pertinence de l'outil d'observation comme outil fidèle et valide pour obtenir des données sur le développement de l'enfant en contexte éducatif, voire ses habiletés émotionnelles et cognitives telles que manifestées naturellement en contexte d'éducation préscolaire. De plus amples analyses, notamment sur un plus grand échantillon, sont maintenant nécessaires afin de valider l'outil.

### 2.2.2 La qualité des interactions en classe

La qualité des interactions en classe a été observée à l'aide du CLASS (Pianta *et al.*, 2008), selon dix dimensions. Pour ce faire, un observateur dûment certifié<sup>6</sup> a effectué 4 cycles d'observation, suivis de 10 minutes de cotation afin d'attribuer une cote de qualité (échelle sur 7 points) aux dimensions. Plus précisément, les scores 1 et 2 représentent un faible niveau de qualité, les scores 3 à 5 un score moyen et les scores 6 et 7 montrent un niveau élevé de qualité. Pour chacune des dimensions, l'observateur attribue une cote aux différents indicateurs (marqueurs comportementaux) décrits dans chacune des catégories (faible, moyen et élevé) dans le manuel de l'observateur.

Il est à noter qu'une faible taille d'échantillon (moins de 30 participants) tend à rendre l'alpha trop instable pour réellement prédire la fidélité d'un outil (Yurdugül, 2008). Puisque la présente étude n'a observé que neuf classes, les indices de cohérence interne de la présente étude ne sont pas considérés pour argumenter de la fidélité réelle de l'outil<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Afin d'obtenir une certification CLASS, une formation de deux jours est suivie par l'observateur, et l'accréditation est décernée par la compagnie qui en est tributaire (Teachstone) suite à l'atteinte d'un accord interjuge de 0,80.

<sup>7</sup> Par exemple, Pianta *et al.* (2008) rapportent des indices de cohérence interne de  $\alpha = 0,94$  pour le soutien émotionnel, de  $\alpha = 0,79$  pour l'organisation de la classe et de  $\alpha = 0,79$  pour le soutien à l'apprentissage. Ces données proviennent de l'étude Multi-State Kindergarten (NCEDL; Winton et Bussye, 2005) effectuée dans 730 classes de maternelle cinq ans.

### 2.2.3 Procédure

Cette recherche a été approuvée par le comité d'éthique à la recherche de l'Université Laval. Les données ont été recueillies à l'automne 2017. Une fois que le formulaire de consentement présentant les objectifs de l'étude et le questionnaire sociodémographique ont été remplis et récupérés, des visites de deux heures ont été effectuées en matinée pour mesurer la qualité des interactions (CLASS), et ce, dans chacune des classes participantes. Toutes les observations ont été réalisées par la même auxiliaire de recherche.

De façon simultanée, une seconde auxiliaire s'occupait de la captation vidéo du coin de jeu symbolique afin de pouvoir faire la cotation de l'AR *a posteriori*. Comme les processus qui découlent de l'AR peuvent s'avérer complexes à repérer en contexte naturel, la vidéo fut privilégiée puisqu'elle s'avère un facteur pouvant augmenter la fidélité intrajuge (Bakeman et Quera, 2012). Qui plus est, seules les 20 minutes moyennes de la vidéo ont été conservées pour la cotation de l'AR afin de s'assurer que les enfants aient une période d'acclimatation à la caméra.

### 2.2.4 Plan d'analyses

Pour répondre aux deux premiers objectifs de cette étude et brosser un portrait général des résultats liés aux variables à l'étude (c.-à-d. liées à l'AR et à la qualité des interactions), des analyses descriptives ont été menées (moyenne, écart-type, minimum et étendue). Par la suite, des analyses de variances de type ANCOVA (âge en covariable), avec correction de Bonferroni, ont été réalisées afin de tester l'effet de variables indépendantes catégorielles sur les variables dépendantes liées à l'AR<sup>8</sup>. L'âge représente une covariable dans cette étude, puisqu'en bas âge, une différence de quelques mois seulement peut induire des différences notables dans les scores obtenus (AR) (Bukatko et Daehler, 2012). À ce titre, la variable indépendante catégorielle Sexe<sup>9</sup> a été testée. Rappelons que cette variable a été choisie sur la base d'études ayant montré la nécessité de la prendre en compte comme facteurs d'influence de l'AR (p. ex. Cadima *et al.*, 2016).

En cohérence avec le troisième objectif de cette étude, des analyses de régression hiérarchique ont été réalisées. Tout comme dans d'autres études (p. ex. Gest *et al.*, 2014), un problème important de multicollinéarité avec la structure théorique initiale du CLASS a également été observé dans cette étude. Ce problème tend à réduire ou à rendre absent (non significatif) les possibles relations entre les habiletés de

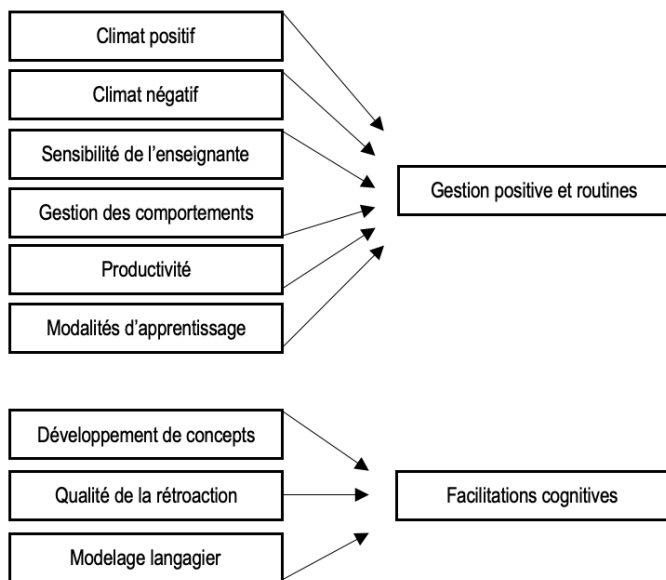
<sup>8</sup> Les variables dépendantes à l'étude réfèrent au processus et aux composantes de l'AR (p. ex. les processus d'autocontrôle et de respect des attentes, la composante comportementale; voir Figure 1). L'ensemble des processus et des composantes de l'outil Échelle d'observation de l'autorégulation en contexte de jeu symbolique (Montminy et Duval, 2019) ont été testés.

<sup>9</sup> Les variables à l'étude ont été mises en italique pour plus de clarté.

l'enfant et la qualité des interactions en classe (Gest et al., 2014; Williford et al., 2017).

Pour y pallier, les analyses ont été lancées selon un modèle bifactoriel<sup>10</sup> de la qualité des interactions (voir figure 3; Hamre et al., 2014). Tel qu'indiqué plus tôt, cette stratégie analytique permet de répartir différemment les dimensions du CLASS (en comparaison avec le modèle théorique), sans pour autant en mettre de côté. La structure à deux domaines permet ainsi d'éviter la problématique de multicollinéarité (Hamre et al., 2014). Dans le cadre de ce projet, cette stratégie d'analyse permet de réaliser les analyses de régression à partir des dimensions du CLASS, tout en rendant plus probable la détection d'un lien entre les habiletés d'AR et la qualité des interactions.

Deux analyses de régression hiérarchique ont été réalisées dans le cadre de ce projet, et ce, pour chacune des variables relatives à l'AR, où deux blocs composent les analyses de régression : 1) les variables *Sexe* et *Âge* ont été entrées dans le premier bloc pour contrôler les effets relevés dans la présente étude et 2) celles liées aux domaines de la qualité des interactions selon le modèle bifactoriel (la gestion positive et les routines ainsi que les facilitations cognitives) ont été insérées dans un deuxième bloc, à tour de rôle.



**Figure 3.** Modèle bifactoriel utilisé pour les analyses de régression hiérarchique (Hamre et al., 2014).

<sup>10</sup> Pour de plus amples informations concernant la stratégie analytique utilisée pour les régressions hiérarchiques et le modèle bifactoriel (Hamre et al., 2014), voir le chapitre 3 de Montminy (2020).

### 3. Résultats

#### 3.1 Le niveau d'autorégulation chez l'enfant (objectif 1)

Les résultats des analyses descriptives pour chacune des variables liées à l'AR sont présentés dans le tableau 2. Un score moyen de 4,54 sur 7 (ÉT = 0,96) à la variable globale de l'*Autorégulation* est observé pour l'ensemble de l'échantillon. Pour la *Composante émotionnelle*, le score moyen est de 4,46 sur 7 (ÉT = 1,50). La *Composante comportementale* montre, quant à elle, un score moyen de 5,31 sur 7 (ÉT = 0,95), tandis que la *Composante cognitive* dévoile un score moyen de 3,84 sur 7 (ÉT = 1,30), toujours pour l'ensemble des enfants.

Pour vérifier l'effet des variables catégorielles (p. ex. *Sexe*) sur les variables dépendantes (c.-à-d. les habiletés liées aux trois composantes de l'AR), des ANCOVA (âge en covariance) avec correction de Bonferroni ont été réalisées. Une fois l'âge contrôlé, ces analyses ont montré un effet significatif du *Sexe* sur quatre variables relatives à l'AR, avec chaque fois un effet de grande taille (Cohen, 1988) (voir tableau 2).

Premièrement, une différence statistiquement significative selon le sexe ressort à la variable *Autorégulation* ( $F[1,14] = 8,64, p < 0,01, \eta^2 = 0,38$ ), avec une moyenne de 4,88 (ÉT = 0,85) chez les filles et de 3,87 (ÉT = 0,82) chez les garçons.

Deuxièmement, le lien entre le sexe et les habiletés d'AR s'est avéré statistiquement significatif à la variable *Reconnaissance des émotions* ( $F[1,14] = 4,72, p < 0,05, \eta^2 = 0,25$ ), où les filles présentent un score moyen de 4,42 (ÉT = 1,69) comparativement à 2,81 (ÉT = 1,78) chez les garçons.

Troisièmement, il existe une différence statistiquement significative selon le sexe à la *Composante comportementale* ( $F[1,14] = 13,50, p < 0,01, \eta^2 = 0,49$ ); le score moyen est de 5,66 (ÉT = 0,71) chez les filles et de 4,63 (ÉT = 1,00) chez les garçons.

Enfin, l'effet du sexe s'est avéré statistiquement significatif pour la variable *Autocontrôle* ( $F[1,14] = 24,64, p < 0,01, \eta^2 = 0,64$ ), où les scores moyens sont de 5,57 (ÉT = 0,87) pour les filles et 4,18 (ÉT = 1,16) pour les garçons (voir tableau 2).

#### 3.2 Le niveau de qualité des interactions en classe (objectif 2)

Puisque cette étude a utilisé un modèle bifactoriel de la qualité des interactions, les résultats liés à cette variable sont présentés pour chacune des dimensions, et non en fonction des trois domaines théoriques du CLASS. Les résultats des dix dimensions du CLASS, qui seront ensuite regroupées en deux domaines pour la réalisation des analyses de régression, sont présentés dans le tableau 3.



**Tableau 2.** Niveau d'habiletés d'autorégulation des enfants

Variables*	Total		Filles		Garçons		ANCOVA	
	M	ÉT	M	ÉT	M	ÉT	F	Sig.
Autorégulation (score total)	4,54	0,96	4,88	0,85	3,87	0,82	8,64	0,010
Composante émotionnelle	4,46	1,50	4,80	1,57	3,81	1,16	2,48	0,137
Reconnaissance des émotions	3,88	1,86	4,42	1,69	2,81	1,78	4,72	0,047
Régulation émotionnelle	5,06	1,50	5,19	1,72	4,81	0,98	0,42	0,527
Composante comportementale	5,31	0,95	5,66	0,71	4,63	1,00	1,50	0,002
Autocontrôle	5,09	1,17	5,57	0,87	4,18	1,16	2,64	0,000
Respect des attentes	5,53	1,04	5,76	1,00	5,09	1,17	3,12	0,099
Composante cognitive	3,84	1,30	4,19	1,10	3,18	1,43	3,39	0,087
Connaissance métacognitive	4,06	1,64	4,42	1,36	3,36	1,96	2,84	0,114
Régulation métacognitive	3,62	1,18	3,95	1,16	3,00	1,00	2,81	0,116

\*Tirées de l'outil *Échelle d'observation de l'autorégulation en contexte de jeu symbolique* (Montminy et Duval, 2019).

**Tableau 3.** Niveau de qualité des interactions en classe d'éducation préscolaire cinq ans

Dimensions*	M	ÉT	Étendue
Climat positif	5,79	0,35	5,50-6,50
Climat négatif	1,35	0,34	1,00-1,75
Sensibilité de l'enseignante	5,95	0,43	5,00-6,75
Considération pour le point de vue de l'enfant	5,09	0,92	3,75-6,25
Gestion des comportements	6,10	0,47	5,25-6,75
Productivité	6,47	0,36	6,00-7,00
Modalités d'apprentissage	5,44	0,61	4,00-6,00
Développement de concepts	2,10	0,53	1,25-2,75
Qualité de la rétroaction	3,44	0,52	2,75-4,50
Modelage langagier	3,21	0,56	2,50-4,00

\*Tirées du CLASS (Pianta et al., 2008).

D'abord, les données montrent des scores de niveau moyen pour les dimensions *Climat positif*, *Climat négatif* (score inversé), *Sensibilité de l'enseignante* et *Considération pour le point de vue de l'enfant* (M = 5,09-5,95, ÉT = 0,34-0,92). De plus, les résultats indiquent que la *Gestion des comportements*, la *Productivité* et les *Modalités d'apprentissage* (M = 5,44-6,47, ÉT = 0,36-0,61) présentent un niveau moyen-élevé de qualité. Enfin, les scores moyens liés au *Développement de concepts*, à la *Qualité de la rétroaction* et au *Modelage langagier* (M = 2,10-3,44, ÉT = 0,52-0,56) se situent quant à eux à un niveau faible-moyen.

### 3.2 Le caractère prédictif de la qualité des interactions en classe d'éducation préscolaire cinq ans sur le niveau d'AR de l'enfant (objectif 3)

La qualité des interactions en classe s'est avérée prédictrice de trois variables reliées à l'AR de l'enfant, dont aucune liée à la *Composante émotionnelle*. Plus précisément, des dimensions du domaine gestion positive et routines prédisent: 1) l'*Autocontrôle* (processus de la *Composante comportementale*), 2) la *Connaissance métacognitive* (processus de la *Composante cognitive*) et 3) la *Régulation métacognitive* (processus de la *Composante cognitive*).



Les sections suivantes présentent les résultats en fonction de ces trois variables reliées à l'AR qui sont prédites par la qualité des interactions. Aucun lien statistiquement significatif entre les dimensions *Développement de concept*, *Qualité de la rétroaction* et *Modelage langagier* et l'AR n'est ressorti (domaine des facilitations cognitives selon le modèle bifactoriel). Conséquemment, les tableaux du domaine des facilitations cognitives ne sont pas présentés.

Le tableau 4 illustre les résultats de l'analyse de régression hiérarchique réalisée entre le domaine gestion positive et des routines et le niveau d'Autocontrôle de l'enfant. La partie supérieure du tableau 4 affiche les résultats pour le premier bloc de variables, indiquant que l'interaction entre Sexe et Âge contribue de façon significative à l'explication de l'Autocontrôle de l'enfant ( $F[2,29]$ , 10,76,  $p = 0,000$ ). De manière plus précise, les coefficients  $\beta$  suggèrent qu'être une fille est associé à un meilleur niveau d'Autocontrôle ( $\beta = -,58$ ,  $p < 0,05$ ), tout comme le fait d'être plus âgé ( $\beta = 0,31$ ,  $p < 0,05$ ).

De plus, les données dévoilent qu'au-delà des facteurs liés à l'enfant, la qualité des interactions en classe (bloc 2) apporte une contribution significative au niveau d'Autocontrôle observé chez l'enfant ( $F[6,23]$ , 3,56,  $p = 0,016$ ), en expliquant 26 % de la variance associée à ce score. Plus spécifiquement, les coefficients  $\beta$  du deuxième bloc suggèrent qu'un plus faible score de qualité aux dimensions *Climat positif* ( $\beta = -0,46$ ,  $p < 0,05$ ), *Climat négatif* ( $\beta = -0,62$ ,  $p < 0,05$ ) et *Gestion des comportements* ( $\beta = -0,57$ ,  $p < 0,05$ ) est associé à de meilleures habiletés d'Autocontrôle chez l'enfant, tandis qu'un niveau de *Productivité* plus élevé ( $\beta = 0,49$ ,  $p < 0,05$ ) serait lié à un meilleur score d'Autocontrôle chez ce dernier.

Le tableau 5 présente pour sa part les résultats de l'analyse de régression hiérarchique réalisée entre le domaine de la gestion positive et des routines et la *Connaissance métacognitive* de l'enfant. Les données du bloc 1 indiquent que le niveau de *Connaissance métacognitive* de l'enfant n'est pas influencé par ses caractéristiques individuelles (Sexe et Âge;  $F[2,29]$ , 2,512,  $p = 0,140$ ). Cependant, le bloc 2 démontre que la qualité des interactions contribue à elle seule à la variation des scores associés à la *Connaissance métacognitive* ( $F[6,23]$ , 2,86,  $p = 0,031$ ). Plus précisément, les coefficients  $\beta$  suggèrent qu'un plus faible niveau de *Climat négatif* ( $\beta = -0,74$ ,  $p < 0,05$ ) ainsi qu'une plus faible *Sensibilité de l'enseignante* ( $\beta = -0,81$ ,  $p < 0,05$ ) seraient associés à un score plus grand de *Connaissance métacognitive*.

Le tableau 6 présente les résultats de l'analyse de régression hiérarchique réalisée entre le domaine de la gestion positive et des routines et la *Régulation métacognitive* de l'enfant. Les résultats indiquent que le bloc 1 ne contribue pas de façon significative au modèle ( $F[2,29]$ , 3,093,  $p = 0,061$ ). Toutefois, le second bloc contribue, quant à lui, à la variation des scores liés à la *Régulation métacognitive* ( $F[6,23]$ , 2,503,  $p = 0,050$ ). Les coefficients  $\beta$  montrent en effet qu'un plus faible niveau de *Climat négatif* ( $\beta = -0,99$ ,  $p < 0,05$ ), ainsi qu'une plus faible *Sensibilité de l'enseignante* ( $\beta = -0,64$ ,  $p < 0,05$ ), seraient associés à un score plus grand de *Régulation métacognitive*. Les données montrent également qu'un plus haut score lié à la *Productivité* serait associé à un plus haut score de *Régulation métacognitive* ( $\beta = 0,69$ ,  $p < 0,05$ ).

**Tableau 4.** Régression hiérarchique entre la qualité des interactions (gestion positive et routines) et l'Autocontrôle

	B	SE b	$\beta$	p
Bloc 1				
Sexe	-1,410	0,343	-0,58	0,000
Âge	0,930	0,042	0,31	0,035
Bloc 2				
Climat positif	-1,520	0,604	-0,46	0,019
Climat négatif	-2,186	0,841	-0,62	0,016
Sensibilité de l'enseignante	-0,609	0,536	-0,22	0,268
Gestion de comportements	-1,430	0,661	-0,57	0,041
Productivité	1,590	0,759	0,49	0,047
Modalités d'apprentissage	-0,078	0,498	-0,04	0,877

**Tableau 5.** Régression hiérarchique entre la qualité des interactions (gestion positive et routines) et la *Connaissance métacognitive*

	B	SE b	$\beta$	p
Bloc 1				
Sexe	-1,081	0,592	-0,32	0,078
Âge	-0,071	0,072	-0,17	0,332
Bloc 2				
Climat positif	-1,520	0,604	-0,46	0,019
Climat négatif	-2,186	0,841	-0,62	0,016
Sensibilité de l'enseignante	-0,609	0,536	-0,22	0,268
Gestion de comportements	-1,430	0,661	-0,57	0,041
Productivité	1,590	0,759	0,49	0,047
Modalités d'apprentissage	-0,078	0,498	-0,04	0,877

**Tableau 6.** Régression hiérarchique entre la qualité des interactions (gestion positive et routines) et la *Régulation métacognitive*

	B	SE b	$\beta$	p
Bloc 1				
Sexe	-0,963	0,414	-0,39	0,027
Âge	-0,048	0,051	-0,16	0,353
Bloc 2				
Climat positif	-1,471	0,777	-0,44	0,071
Climat négatif	-3,522	1,081	-0,99	0,003
Sensibilité de l'enseignante	-1,743	0,689	-0,64	0,019
Gestion de comportements	-1,383	0,850	-0,55	0,117
Productivité	2,249	0,976	0,69	0,031
Modalités d'apprentissage	0,786	0,640	0,41	0,232

## 4. Discussion

### 4.1 Le niveau d'autorégulation chez l'enfant de cinq ans

Conformément au premier objectif de cette étude, les données font ressortir un niveau moyen d'habiletés pour les trois composantes d'AR chez les enfants. Plus précisément, les niveaux des habiletés rattachées à la *Composante émotionnelle* et à la *Composante comportementale* sont plus élevés que ceux reliés à la *Composante cognitive*. Ces résultats s'inscrivent en concordance avec des écrits (p. ex. Calkins et Williford, 2009) qui suggèrent un développement hiérarchique des composantes de l'AR. Puisque la *Composante cognitive* est celle qui se développe en dernier et, reconnaissant l'importance du contrôle cognitif dans l'AR, ces résultats confirment l'importance de soutenir les habiletés y

étant associées (p. ex. la métacognition et les FE) à l'éducation préscolaire. Rappelons que la métacognition et les FE sont des éléments cruciaux du contrôle cognitif, voire des habiletés de *Régulation métacognitive* manifestées par l'enfant (Blair et Ursache, 2011), d'où l'importance de poursuivre les recherches à ce sujet, de manière à mieux comprendre comment elles se manifestent chez l'enfant, de manière à mieux les soutenir en contexte de classe.

Les données de cette étude montrent également que le Sexe est lié aux habiletés d'AR de l'enfant. Plus précisément, cet effet s'est avéré significatif pour l'*Autorégulation*, la *Composante émotionnelle* et la *Composante comportementale* de l'AR. Ces résultats, obtenus par observation, vont dans le même sens que plusieurs écrits démontrant qu'entre deux et six ans, les filles auraient de meilleures habiletés liées à l'AR

que les garçons, telles que mesurées par des tâches en laboratoire (Matthews et al., 2014; McClelland et al., 2007; Montroy et al., 2016; Sala, Pons et Molina, 2014).

Pour la *Composante comportementale*, les analyses de régression linéaire confirment l'apport prédictif de l'interaction entre le *Sexe* et l'*Âge* sur l'*Autocontrôle*. Tout comme d'autres études l'ont relevé, les garçons présentent, au début de l'année scolaire, des habiletés comportementales significativement plus faibles que celles des filles (Gunzenhauser et von Suchodoletz, 2015; Matthews, Ponitz et Morrison, 2009). Cette différence est d'autant plus importante lorsque le garçon est plus jeune. Ces résultats mènent à reconsidérer les attentes comportementales envers les garçons à l'éducation préscolaire cinq ans, en montrant la nécessité de mettre en place des interventions adaptées aux caractéristiques de chacun (McClelland et Tominey, 2015; Raver et al., 2011).

#### 4.2 Le niveau de qualité des interactions en classe

En cohérence avec le deuxième objectif de cette recherche, des analyses statistiques descriptives ont dévoilé des niveaux de qualité modérée pour le *Climat positif*, le *Climat négatif* (score inversé), la *Sensibilité de l'enseignante* et la *Considération du point de vue de l'enfant*. Le niveau de qualité s'est toutefois avéré moyen-élevé pour la *Gestion des comportements*, la *Productivité* et les *Modalités d'apprentissage*. Enfin, les niveaux de qualité se sont montrés moyens-faibles pour le *Développement de concepts*, la *Qualité de la rétroaction* et le *Modelage langagier*. Mis à part la *Gestion des comportements*, la *Productivité* et les *Modalités d'apprentissage*, qui présentent des scores plus élevés, ces résultats sont conformes avec d'autres études menées au Québec (Bouchard et al., 2017; Duval, 2015) et à l'international (Hu et al., 2016; Leyva et al., 2015; Pianta et al., 2008; Pakarinen et al., 2010).

#### 4.3 Le caractère prédictif de la qualité des interactions en classe d'éducation préscolaire cinq ans sur le niveau d'habiletés d'autorégulation de l'enfant

##### 4.3.1 Le climat positif

Les résultats démontrent une relation prédictive négative et fortement significative entre le *Climat positif* de la classe et l'*Autocontrôle* de l'enfant. Ainsi, plus le climat de la classe est positif, moins l'enfant déploie ses habiletés d'*Autocontrôle*. Ce résultat s'avère ainsi en contradiction avec ceux relevés dans d'autres travaux (Broekhuizen et al., 2017; Cassidy, 1994; Pearson, 2013), ayant obtenu une relation positive entre le *Climat positif* et des habiletés de l'AR. À première vue, ce résultat peut paraître étonnant, car les assises théoriques du CLASS soutiennent qu'un niveau élevé de *Climat positif* permet à l'adulte de mettre en place un climat de sécurité dans le contexte éducatif, ce qui permettrait à l'enfant d'être engagé et autonome et favoriserait ses habiletés autorégulatrices (Downer et al., 2010).

D'un autre côté, Weiland et ses collègues (2013) avancent l'hypothèse que les relations entre la qualité des interactions et le développement de l'enfant (p. ex. l'AR) ne seraient pas linéaires, mais bien curvilinéaires. Ainsi, si des études soutiennent que la qualité des interactions n'aurait pas d'effet sur l'enfant tant qu'un certain niveau de qualité n'est pas atteint (p. ex. Burchinal, Vandergrift, Pianta et Mashburn, 2010), l'inverse serait tout aussi vrai (c.-à-d. aller d'une courbe positive plus plate à une courbe négative; Weiland, Ulvestad, Sachs et Yoshikawa, 2013). En d'autres termes, il est possible que les résultats de cette étude reflètent la tendance relevée dans d'autres études (p. ex. Choi et al., 2016; Silkenbeumer, Schiller et Kärtner, 2018) à savoir que le niveau de qualité des interactions présente des effets différents selon le niveau développemental (ici le niveau des habiletés d'AR) propre à chaque enfant. Rappelons que le niveau développemental des habiletés liées à l'AR peut être influencé par le *Sexe* et l'*Âge* de l'enfant, tel que le démontre la présente étude.

D'ailleurs, Cadima et al. (2016) ont démontré que le niveau de ressources familiales pouvait modérer cette relation entre l'AR et la qualité des interactions. En effet, cette relation était fortement positive chez les enfants provenant de familles à risque, mais négative chez les enfants provenant de familles à faible risque. Les enfants de la présente étude peuvent d'ailleurs être qualifiés comme provenant de famille à faible risque.

Des études ont également montré que le niveau d'habiletés liées à l'AR pourrait être influencé par les caractéristiques familiales de l'enfant (p. ex. Duval, 2015). Les résultats d'une étude longitudinale menée auprès de 1386 enfants ont d'ailleurs démontré que ceux provenant d'un milieu sociodémographique à faible risque (à l'image des enfants de la présente étude) débutent leur courbe développementale d'habiletés liées à l'AR de deux à trois ans plus tôt que les enfants provenant d'une famille à risque (Montroy et al., 2016).

En somme, pour soutenir les habiletés d'AR chez l'enfant, il semble essentiel de miser sur un processus interactionnel de qualité, en prenant en considération le niveau d'habiletés de l'enfant (sa ZPD); sans considérer tous ces aspects (p. ex. caractéristiques propres à l'enfant et à sa famille), la qualité de l'interaction avec l'adulte n'aurait que peu ou pas d'effet, voire même des effets négatifs (Weiland et al., 2013).

##### 4.3.2 Le climat négatif

Les données montrent que la propension de l'enseignante à démontrer des affects négatifs, à user de contrôle punitif, de sarcasme ou encore de négativité sévère, indicateurs de la dimension du *Climat négatif* du CLASS, prédit négativement les habiletés de l'enfant liées à l'AR, notamment celles reliées à l'*Autocontrôle*, à la *Connaissance métacognitive* et à la *Régulation métacognitive*. Ces résultats vont dans le même sens que ceux d'autres études ayant montré qu'un climat hostile était lié à de plus faibles habiletés d'AR chez l'enfant (p. ex. Eisenberg, Spinrad et Eggum, 2010;

Gärtner et al., 2018; Piotrowski, Lapiere et Linebarger, 2013). Les pratiques de contrôle punitif auraient pour effet de miner l'autonomie de l'enfant, en plus de réduire sa motivation à déployer ses habiletés d'AR. Elles amèneraient ainsi une diminution des opportunités de s'engager dans des situations nécessitant des habiletés liées à l'AR de la part de l'enfant (Gärtner et al., 2018).

#### 4.3.3 La sensibilité de l'enseignante

Des relations significatives et négatives entre la *Sensibilité de l'enseignante* et les deux sous-dimensions de la *Composante cognitive* de l'AR ressortent (la *Connaissance métacognitive* et la *Régulation métacognitive*). Ce résultat signifie que plus le niveau de sensibilité de l'enseignante est élevé, moins les habiletés de l'enfant liées à la *Composante cognitive* le sont. Ces résultats pourraient être expliqués par le développement hiérarchique des composantes liées à l'AR. En effet, les enfants à l'étude ont démontré moins d'habiletés liées à la *Composante cognitive*.

De manière à soutenir l'AR cognitive chez l'enfant, Silkenbeumer et al. (2018) soutiennent l'importance de privilégier des interventions de corégulation adaptées à leur niveau de développement, en considérant le développement hiérarchique des composantes. Précisément, plus l'enfant développe ses habiletés d'AR, plus les stratégies dont il bénéficie pour bonifier ses habiletés émotionnelles seraient d'ordre métacognitive et cognitive (p. ex. soutenir l'enfant en lien avec ses stratégies de résolution de conflit, l'amener à réfléchir à des alternatives, le questionner, etc.) plutôt qu'émotionnelles (p. ex. nommer ses émotions, réconforter, etc.) et comportementales (p. ex. mettre en place un système d'émulation, etc.).

Ces stratégies métacognitives et cognitives utilisées par l'adulte pourraient davantage se rapporter au *Développement de concepts*, à la *Qualité de la rétroaction* et au *Modelage langagier* (Hu et al., 2020). Or, les données de la présente étude indiquent qu'il s'agit des dimensions où de plus faibles scores de qualité ont été observés. En ce sens, Goble, Sandilos et Pianta (2019) soutiennent qu'une augmentation de la qualité des dimensions du *Soutien à l'apprentissage*, ne serait-ce que d'un point, pourrait avoir un effet positif et significatif sur l'inhibition (processus de la *Composante cognitive*) de l'enfant d'âge préscolaire.

#### 4.3.4 La gestion des comportements

Les données montrent que la dimension *Gestion des comportements* prédit négativement l'*Autocontrôle* des enfants participant à cette étude. Dans notre échantillon, le haut niveau de qualité relié à la *Gestion de comportements* mène à penser que la qualité des interactions, en lien avec l'AR, se situe dans la régulation externe plutôt que dans la corégulation, d'où la relation négative avec l'*Autocontrôle*. Le fait d'user de stratégies de corégulation, en s'adaptant à la ZPD de l'enfant, signifie plutôt de lui fournir juste assez d'aide pour que ce dernier puisse utiliser ses propres habiletés liées à l'*Autocontrôle*. Selon Whipple, Bernier et Mageau (2011), la

régulation externe surviendrait lorsque l'adulte apporte *trop* d'aide à l'enfant en prenant des décisions et en effectuant des actions qu'il pourrait faire, ou encore en précipitant la réflexion de l'enfant. Ainsi, cette aide superflue pourrait réduire sa motivation intrinsèque et lui donnerait peu d'occasions de réguler ses propres comportements (Whipple et al., 2011).

#### 4.3.5 La productivité

Les résultats montrent un lien positif et significatif entre la *Productivité* et la *Régulation métacognitive*. Rappelons que la dimension *Productivité* de la qualité des interactions fait référence au temps d'apprentissage, aux routines, aux transitions efficaces ainsi qu'à la préparation de l'enseignante (p. ex. matériel, connaissance de l'activité, etc.). Ce résultat est cohérent avec d'autres recherches qui ont montré qu'une classe structurée et prévisible fournirait un cadre et des balises claires permettant à l'enfant d'internaliser les stratégies cognitives (p. ex. la planification) pour déployer ses habiletés autorégulées (Cadima et al., 2016; McClelland et Tominey, 2015; Rimm-Kaufman et al., 2009; Vandenbroucke et al., 2018).

### 5. Limites

Deux limites sont à considérer plus particulièrement dans le cadre de cette étude. Premièrement, les enfants proviennent d'un échantillon homogène et favorisé, ce qui rend les résultats peu généralisables à d'autres populations. Deuxièmement, en ce qui concerne l'outil CLASS, cette étude, tout comme d'autres études ayant utilisé l'outil (p. ex. Hamre et al., 2014; Pakarinen et al., 2010; Stuck, Kammermeyer et Roux, 2016; von Suchodoletz, Fäsche, Gunzenhauser et Hamre, 2014), a rapporté de très fortes corrélations entre le *Soutien émotionnel* et l'*Organisation de la classe*. Ces très fortes corrélations mènent à penser que ces deux domaines (et leurs dimensions) mesurent des construits fortement interreliés. Étant donné ces fortes corrélations entre les domaines, les résultats obtenus quant aux habiletés liées à l'AR ne doivent pas être interprétés comme des associations spécifiques à un seul domaine (et ses dimensions), mais bien à l'ensemble du CLASS.

### 6. Conclusion et implications

La présente étude a permis d'explorer, de manière novatrice, le lien entre l'AR chez l'enfant de cinq ans, telle qu'observée en contexte naturel, et la qualité des interactions en classe. Les habiletés d'AR sont primordiales au développement d'habiletés socioémotionnelles, comportementales et cognitives qui serviront à l'enfant toute sa vie, d'où l'importance d'approfondir les connaissances sur le sujet (Widiastuti, 2016).

Par l'observation en contexte naturel de classe (c.-à-d. pendant le jeu symbolique), la présente étude a démontré que le niveau d'habiletés reliées à l'AR manifesté chez les enfants pouvait varier de modéré à modéré-faible, notamment dans le cas de la *Composante cognitive*. Rappelons que cette composante permet à l'enfant d'atteindre un contrôle



cognitif nécessaire pour qu'il puisse s'autoréguler de manière autonome et motivée, d'où l'importance de l'examiner. Ces résultats soulignent, d'une part, la pertinence de poursuivre les recherches sur la métacognition et les FE pour favoriser l'AR de l'enfant (Berger, 2011; Diamond, 2013), et ce, toujours à l'aide d'un outil d'observation en contexte naturel. En ce sens, l'observation valide et fidèle en contexte naturel permettrait d'augmenter la probabilité de trouver des relations significatives entre les habiletés de l'enfant réellement déployées en classe et des facteurs d'influence rattachés au milieu (p. ex. la qualité des interactions en classe; Raver et al., 2012).

D'autre part, ces résultats mènent à se questionner sur la qualité des pratiques enseignantes qui favorisent l'AR. Plus précisément, les données de cette étude ont montré que le Sexe et l'Âge semblent constituer des facteurs d'influence faisant varier les habiletés d'AR de l'enfant.

En somme, les résultats de cette étude réitèrent l'importance d'implanter des pratiques enseignantes de qualité (p. ex. liées aux domaines de la qualité des interactions) adaptées au niveau d'AR de l'enfant (Choi et al., 2016; Silkenbeumer et al., 2018). Qui plus est, alors que des recherches (p. ex. Sabol et al., 2013) s'entendent sur l'effet que des interactions enseignante-enfants de qualité peuvent avoir sur le développement de l'enfant (p. ex. les habiletés liées à l'AR), peu d'entre elles se sont spécifiquement attardées aux enfants provenant de milieux à faible risque (Perlman et al., 2016). Ainsi, des études futures devraient considérer un échantillon avec de telles caractéristiques afin de mettre en lumière la façon dont la qualité des interactions en classe pourrait avoir un effet sur le développement des enfants (p. ex. l'AR), au-delà des facteurs liés à la famille.

Plus encore, les résultats de la présente étude font ressortir deux niveaux importants à considérer pour favoriser l'AR : 1) le niveau du développement hiérarchique et 2) le niveau du processus partagé. Premièrement, les interactions corégulatrices de l'enseignante gagneraient à se faire en considérant le développement hiérarchique de l'AR, soit en modifiant ses stratégies d'étayage pour soutenir la composante émotionnelle, comportementale et cognitive de l'AR, tout en considérant l'importance de soutenir la composante cognitive chez les enfants de cet âge en contexte naturel (p. ex. le jeu initié par l'enfant). Deuxièmement, trop de soutien aux habiletés liées à l'AR de l'enfant se rangerait davantage dans l'ordre de la régulation externe que dans la corégulation, ce qui pourrait alors restreindre le déploiement des habiletés de l'enfant.

Vu l'importance de l'AR dans la réussite éducative de l'enfant (Diamond, 2013), des recherches futures sur un plus grand nombre d'enfants pourraient être menées afin de préciser les facteurs liés à l'enfant (p. ex. le sexe) et à la famille (p. ex. niveau de scolarité du parent, statut socioéconomique) pouvant avoir une incidence sur les habiletés observables d'AR de l'enfant à l'éducation préscolaire cinq ans. Mieux connaître les facteurs ayant une influence sur l'AR, mais aussi leur caractère modérateur de la relation entre la qualité des interactions en classe et l'AR pourrait mieux orienter les

pratiques enseignantes, notamment en lien avec la mise en place de pratiques corégulatrices de qualité se situant dans la ZPD de chacun des enfants (Størksen, Ellingsen, Wanless et McClelland, 2015).

## Références

- Altman, D. G. (1991). Sample size. Dans D. G. Altman (dir.), *Practical statistics for medical research* (p. 455-460). Londres, Royaume-Uni : Chapman & Hall.
- Bakeman, R. et Quera, V. (2012). Behavioral observation. Dans H. Cooper, P. M. Camic, D. L. Long, A. T. Panter, D. Rindskopf et K. J. Sher (dir.), *APA handbook of research methods in psychology, Vol. 1. Foundations, planning, measures, and psychometrics* (p. 207-225). Washington, DC : American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/13619-013>
- Berger, A. (2011). *Self-Regulation: Brain, cognition, and development*. New York, NY: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12327-000>
- Bernier, A., Carlson, S. M. et Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation : Early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child Development*, 81(1), 326-339. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01397.x>
- Bihler, L. M., Agache, A., Kohl, K., Willard, J. A. et Leyendecker, B. (2018). Factor analysis of the Classroom Assessment Scoring System replicates the three domain structure and reveals no support for the bifactor model in German preschools. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01232>
- Blair, C. (2002). School readiness: Integrating cognition and emotion in a neurobiological conceptualization of children's functioning at school entry. *American Psychologist*, 57(2), 111-127. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.57.2.111>
- Blair, C. et Dennis, T. (2010). An optimal balance: The integration of emotion and cognition in context. Dans S. D. Calkins et M. A. Bell (dir.), *Human brain development. Child development at the intersection of emotion and cognition*. (p. 17-35). Washington, DC : American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12059-002>
- Blair, C. et Ursache, A. (2011). A bidirectional model of executive functions and self-regulation. Dans K. D. Vohs et R. F. Baumeister (dir.), *Handbook of self-regulation* (2<sup>e</sup> éd., p. 300-321). New-York, NY : Guilford Press.
- Bodrova, E. et Leong, D. J. (dir.). (2007). *Tools of the mind: The Vygotskian approach to early childhood education* (2<sup>e</sup> éd.). Upper Saddle River, NJ : Pearson Prentice Hall.



- Brace, N., Kemp, R. et Snelgar, R. (2012). *SPSS for Psychologists*. Basingstoke, Royaume-Uni : Palgrave Macmillan.
- Broekhuizen, M. L., Slot, P. L., van Aken, M. A. G. et Dubas, J. S. (2017). Teachers' emotional and behavioral support and preschoolers' self-regulation: Relations with social and emotional skills during play. *Early Education and Development*, 28(2), 135-153. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1206458>
- Bronfenbrenner, U. et Morris, P. A. (1998). The ecology of developmental processes. Dans W. Damon et R. M. Lerner (dir.), *Handbook of child psychology: Vol. 1. Theoretical models of human development* (5<sup>th</sup> ed., p. 993-1029). New York, NY : Wiley.
- Bouchard, C., Cantin, G., Charron, A., Crépeau, H. et Lemire, J. (2017). La qualité des interactions en classe de maternelle 4 ans à mi-temps au Québec. *Canadian Journal of Education*, 40(3), 272-301.
- Bukatko, D. et Daehler, M. (2012). *Child development: A thematic approach* (6<sup>th</sup> ed.). Belmont, CA: Wadsworth.
- Burchinal, M., Vandergrift, N., Pianta, R. et Mashburn, A. (2010). Threshold analysis of association between child care quality and child outcomes for low-income children in pre-kindergarten programs. *Early Childhood Research Quarterly*, 25(2), 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2009.10.004>
- Burman, J. T., Green, C. D. et Shanker, S. (2015). On the meanings of self-regulation: Digital humanities in service of conceptual clarity. *Child Development*, 86(5), 1507-1521. <https://doi.org/10.1111/cdev.12395>
- Cadima, J., Enrico, M., Ferreira, T., Verschuere, K., Leal, T. et Matos, P. M. (2016). Self-regulation in early childhood: The interplay between family risk, temperament and teacher-child interactions. *European Journal of Developmental Psychology*, 13(3), 341-360. <https://doi.org/10.1080/17405629.2016.1161506>
- Caiozzo, C. N., Yule, K. et Grych, J. (2018). Preschoolers caregiver behaviors associated with emotion regulation in high-risk preschoolers. *Journal of Family Psychology*, 32(5), 565-574. <https://doi.org/10.1037/fam0000425>
- Calkins, S. D. et Williford, A. P. (2009). Taming the Terrible Twos: Self-Regulation and School Readiness. Dans O. A. Barbarin et B. H. Wasik (dir.), *Handbook of child development and early education: Research to Practice* (p. 172-198). New York, NY: Guilford Publications.
- Cassidy, J. (1994). Emotion regulation: Influences of attachment relationships. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 59(2-3), 228-249. <https://doi.org/10.2307/1166148>
- Choi, J. Y., Castle, S., Williamson, A. C., Young, E., Worley, L., Long, M. et Horm, D. M. (2016). Teacher-child interactions and the development of executive function in preschool-age children attending Head Start. *Early Education and Development*, 27(6), 751-769. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1129864>
- Cohen, J. (dir.). (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, NY: Routledge Academic.
- Davis, E. P., Bruce, J. et Gunnar, M. R. (2002). The anterior attention network: Associations with temperament and neuroendocrine activity in 6-year-old children. *Developmental Psychobiology*, 40(1), 43-56. <https://doi.org/10.1002/dev.10012>
- Diamond, A. (2012). Activities and programs that improve children's executive functions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(5), 335-341. <https://doi.org/10.1177/0963721412453722>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Downer, J., Sabol, T. J. et Hamre, B. (2010). Teacher-child interactions in the classroom: Toward a theory of within- and cross-domain links to children's developmental outcomes. *Early Education and Development*, 21(5), 699-723. <https://doi.org/10.1080/10409289.2010.497453>
- Duval, S. (2015). *La qualité des interactions en classe de maternelle et les fonctions exécutives des enfants âgés de cinq ans*. Thèse de doctorat inédite, Université Laval, Québec, QC.
- Eisenberg, N., Spinrad, T. L. et Eggum, N. D. (2010). Emotion-related self-regulation and its relation to children's maladjustment. *Annual Review of Clinical Psychology*, 6(1), 495-525. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.121208.131208>
- Gärtner, K. A., Vetter, V. C., Schäferling, M., Reuner, G. et Hertel, S. (2018). Inhibitory control in toddlerhood - the role of parental co-regulation and self-efficacy beliefs. *Metacognition and Learning*, 13(3), 241-264. <https://doi.org/10.1007/s11409-018-9184-7>
- Gest, S. D., Madill, R. A., Zadzora, K. M., Miller, A. M. et Rodkin, P. C. (2014). Teacher management of elementary classroom social dynamics. *Journal of Emotional and Behavioral Disorders*, 22(2), 107-118. <https://doi.org/10.1177/1063426613512677>
- Goble, P., Sandilos, L. E. et Pianta, R. C. (2019). Gains in teacher-child interaction quality and children's school readiness skills: Does it matter where teachers start? *Journal of School Psychology*, 73, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2019.03.006>

- Greenberg, M. T. (2006). Promoting resilience in children and youth: Preventive interventions and their interface with neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1094(1), 139-150. <https://doi.org/10.1196/annals.1376.013>
- Gunzenhauser, C. et von Suchodoletz, A. (2015). Boys might catch up, family influences continue: Influences on behavioral self-regulation in children from an affluent region in Germany before school entry. *Early Education and Development*, 26(5-6), 645-662. <https://doi.org/10.1080/10409289.2015.1012188>
- Hamre, B., Hatfield, B., Pianta, R. et Jamil, F. (2014). Evidence for general and domain-specific elements of teacher-child interactions: Associations with preschool children's development. *Child Development*, 85(3), 1257-1274. <https://doi.org/10.1111/cdev.12184>
- Hu, B. Y., Fan, X., Gu, C. et Yang, N. (2016). Applicability of the Classroom Assessment Scoring System in Chinese preschools based on psychometric evidence. *Early Education and Development*, 27(5), 714-734. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1113069>
- Hu, B. Y., Fan, X., Wu, Y., LoCasale-Crouch, J. et Song, Z. (2020). Teacher-child interaction quality and Chinese children's academic and cognitive development: New perspectives from piecewise growth modeling. *Early Childhood Research Quarterly*, 51, 242-255. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2019.10.003>
- Kopp, C. B. (1982). Antecedents of self-regulation: A developmental perspective. *Developmental Psychology*, 18(2), 199-214. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.18.2.199>
- Lerkkanen, M.-K., Kikas, E., Pakarinen, E., Trossmann, K., Poikkeus, A.-M., Rasku-Puttonen, H., ... et Nurmi, J.-E. (2012). A validation of the early childhood classroom observation measure in Finnish and Estonian kindergartens. *Early Education and Development*, 23(3), 323-350. <https://doi.org/10.1080/10409289.2010.527222>
- Leyva, D., Weiland, C., Barata, M., Yoshikawa, H., Snow, C., Treviño, E. et Rolla, A. (2015). Teacher-child interactions in Chile and their associations with prekindergarten outcomes. *Child Development*, 86(3), 781-799. <https://doi.org/10.1111/cdev.12342>
- Matthews, J. S., Marulis, L. M. et Williford, A. P. (2014). Gender processes in school functioning and the mediating role of cognitive self-regulation. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 35(3), 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2014.02.003>
- Matthews, J. S., Ponitz, C. C. et Morrison, F. J. (2009). Early gender differences in self-regulation and academic achievement. *Journal of Educational Psychology*, 101(3), 689-704. <https://doi.org/10.1037/a0014240>
- McClelland, M. M. et Cameron, C. E. (2012). Self-regulation early childhood: Improving conceptual clarity and developing ecologically valid measures. *Child Development Perspectives*, 6(2), 136-142. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00191.x>
- McClelland, M. M., Cameron, C. E., Connor, C. M., Farris, C. L., Jewkes, A. M. et Morrison, F. J. (2007). Links between behavioral regulation and preschoolers' literacy, vocabulary, and math skills. *Developmental Psychology*, 43(4), 947-959. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.4.947>
- McClelland, M. M., Geldhof, J., Morrison, F., Gestsdóttir, S., Cameron, C., Bowers, E., ... et Grammer, J. (2017). Self-regulation. Dans N. Halfon, C. B. Forrest, R. M. Lerner et E. M. Faustman (dir.), *Handbook of life course health development* (p. 275-298). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47143-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47143-3_12)
- McClelland, M. M. et Tominey, S. L. (dir.). (2015). *Stop, think, act. Integrating self-regulation in the early childhood classroom*. New York, NY : Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315798059>
- Montminy, N. (2020). *L'autorégulation de l'enfant et la qualité des interactions enseignante-enfants en classe d'éducation préscolaire 5 ans*. Mémoire de maîtrise inédit, Université Laval, Québec, Qc.
- Montminy, N. et Duval, S. (2019). *Échelle d'observation de l'autorégulation en contexte de jeu symbolique*. Document inédit de recherche. Université Laval, Québec, Qc.
- Montroy, J. J. (2014). *The development of behavioral self-regulation across preschool and its association with academic achievement*. Thèse de doctorat inédite, Michigan State University, East Lansing, MI.
- Montroy, J. J., Bowles, R. P., Skibbe, L. E., McClelland, M. M. et Morrison, F. J. (2016). The development of self-regulation across early childhood. *Developmental Psychology*, 52(11), 1744-1762. <https://doi.org/10.1037/dev0000159>
- Murray, D. W., Rosanbalm, K. et Christopoulos, C. (2016). *Self-regulation and toxic stress report 3: A comprehensive review of self-regulation interventions from birth through young adulthood*. (Rapport #2016-34). Washington, DC : Office of Planning, Research and Evaluation, Administration of Children and Families, U.S. Department of Health and Human Services.
- Murray, D. W., Rosanbalm, K., Christopoulos, C. et Hamoudi, A. (2015). *Self-regulation and toxic stress: Foundations for understanding self-regulation from an applied developmental perspective* (Rapport #2015-21). Washington, DC : Office of Planning, Research and Evaluation, Administration of Children and Families, US Department of Health and Human Services.

- Nieto, M., Ros, L., Medina, G., Ricarte, J. J. et Latorre, J. M. (2016). Assessing executive functions in preschoolers using shape school task. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01489>
- Nigg, J. T. (2017). Annual Research Review: On the relations among self-regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(4), 361–383. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12675>
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2e éd.). New York, NY : McGraw-Hill.
- Otsuka, K. et Jay, T. (2017). Understanding and supporting block play: Video observation research on preschoolers' block play to identify features associated with the development of abstract thinking. *Early Child Development and Care*, 187(5–6), 990–1003. <https://doi.org/10.1080/03004430.2016.1234466>
- Pakarinen, E., Lerkkanen, M.-K., Poikkeus, A. M., Kiuru, N., Siekkinen, M., Rasku-Puttonen, H. et Nurmi, J.-E. (2010). A validation of the Classroom Assessment Scoring System in Finnish kindergartens. *Early Education and Development*, 21(1), 95–124. <https://doi.org/10.1080/10409280902858764>
- Pascal, C. E. (2009). *Pour chaque enfant, toutes les chances. Curriculum et pédagogie du Programme d'apprentissage des jeunes enfants.* Toronto, ON : Auteur.
- Pearson, K. M. (2013). Attachment and self regulation in preschool age children. *Open Access Master's Theses. Mémoire 71.* <https://digitalcommons.uri.edu/theses/71>.
- Perlman, M., Falenchuk, O., Fletcher, B., McMullen, E., Beyene, J. et Shah, P. S. (2016). A systematic review and meta-analysis of a measure of staff/child interaction quality (the Classroom Assessment Scoring System) in early childhood education and care settings and child outcomes. *PLoS ONE*, 11(12), e0167660. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167660>
- Pianta, R. C., La Paro, K. M. et Hamre, B. K. (2008). *The Classroom Assessment Scoring System Pre-k*. Baltimore, MA : Teachstone.
- Piotrowski, J. T., Lapiere, M. A. et Linebarger, D. L. (2013). Investigating correlates of self-regulation in early childhood with a representative sample of English-speaking American families. *Journal of Child and Family Studies*, 22(3), 423–436. <https://doi.org/10.1007/s10826-012-9595-z>
- Piquero, A. R., Jennings, W. G. et Farrington, D. P. (2010). On the malleability of self-control: Theoretical and policy implications regarding a general theory of crime. *Justice Quarterly*, 27(6), 803–834. <https://doi.org/10.1080/07418820903379628>
- Raver, C. C., Carter, J. S., McCoy, D. C., Roy, A., Ursache, A. et Friedman, A. (2012). Testing models of children's self-regulation within educational contexts: Implications for measurement. Dans J. B. Benson (dir.), *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 42, p. 245–270). Oxford, Royaume-Uni : Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394388-0.00007-1>
- Raver, C. C., Jones, S. M., Li-Grining, C., Zhai, F., Bub, K. et Pressler, E. (2011). CSRPs impact on low-income preschoolers' preacademic skills: Self-regulation as a mediating mechanism. *Child Development*, 82(1), 362–378. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01561.x>
- Rhoades, B. L., Greenberg, M. T., Lanza, S. T. et Blair, C. (2011). Demographic and familial predictors of early executive function development: Contribution of a person-centered perspective. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 638–662. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.08.004>
- Rimm-Kaufman, S. E., Curby, T. W., Grimm, K. J., Nathanson, L. et Brock, L. L. (2009). The contribution of children's self-regulation and classroom quality to children's adaptive behaviors in the kindergarten classroom. *Developmental Psychology*, 45(4), 958–972. <https://doi.org/10.1037/a0015861>
- Roebers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation. *Developmental Review*, 45, 31–51. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2017.04.001>
- Rosanbalm, K. D. et Murray, D. W. (2018a). *Co-regulation from birth through young adulthood: A practice brief*. Washington, DC : Office of Planning, Research and Evaluation, Administration for Children and Families, U.S. Department of Health and Human Services.
- Rosanbalm, K. D. et Murray, D. W. (2018b). *Current gaps and future directions for self-regulation intervention research: A research brief*. (Rapport #2017-93). Washington, DC : Office of Planning, Research and Evaluation, Administration for Children and Families, U.S. Department of Health and Human Services.
- Sabol, T. J., Hong, S. L. S., Pianta, R. C. et Burchinal, M. R. (2013). Can rating pre-k programs predict children's learning? *Science*, 341(6148), 845–846. <https://doi.org/10.1126/science.1233517>



- Sala, M. N., Pons, F. et Molina, P. (2014). Emotion regulation strategies in preschool children. *British Journal of Developmental Psychology*, 32(4), 440–453. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12055>
- Schraw, G., Crippen, K. J. et Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36(1–2), 111–139. <https://doi.org/10.1007/s11165-005-3917-8>
- Silkenbeumer, J. R., Schiller, E. M. et Kärtner, J. (2018). Co- and self-regulation of emotions in the preschool setting. *Early Childhood Research Quarterly*, 44, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.02.014>
- Slot, P. L., Mulder, H. et Leseman, P. (2015). *Self-regulation in the pre-school classroom: The role of classroom quality and play*. Document inédit, Université d'Utrecht, Utrecht, Pays-Bas.
- Slot, P. L., Mulder, H., Verhagen, J. et Leseman, P. P. M. (2017). Preschoolers' cognitive and emotional self-regulation in pretend play: Relations with executive functions and quality of play. *Infant and Child Development*, 26(6), e2038. <https://doi.org/10.1002/icd.2038>
- Smith-Donald, R., Raver, C. C., Hayes, T. et Richardson, B. (2007). Preliminary construct and concurrent validity of the Preschool Self-Regulation Assessment (PSRA) for field-based research. *Early Childhood Research Quarterly*, 22(2), 173–187. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2007.01.002>
- Størksen, I., Ellingsen, I. T., Wanless, S. B. et McClelland, M. M. (2015). The influence of parental socioeconomic background and gender on self-regulation among 5-year-old children in Norway. *Early Education and Development*, 26(5–6), 663–684. <https://doi.org/10.1080/10409289.2014.932238>
- Stuck, A., Kammermeyer, G. et Roux, S. (2016). The reliability and structure of the Classroom Assessment Scoring System in German pre-schools. *European Early Childhood Education Research Journal*, 24(6), 873–894. <https://doi.org/10.1080/1350293x.2016.1239324>
- Vandenbroucke, L., Spilt, J., Verschueren, K., Piccinin, C. et Baeyens, D. (2018). The classroom as a developmental context for cognitive development: A meta-analysis on the importance of teacher–student interactions for children's executive functions. *Review of Educational Research*, 88(1), 125–164. <https://doi.org/10.3102/0034654317743200>
- von Suchodoletz, A., Fäsche, A., Gunzenhauser, C. et Hamre, B. K. (2014). A typical morning in preschool: Observations of teacher–child interactions in German preschools. *Early Childhood Research Quarterly*, 29(4), 509–519. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2014.05.010>
- Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage* (3<sup>e</sup> éd.). Paris, France : La Dispute.
- Vygotsky, L. S. et Rieber, R. W. (dir.). (1997). *Cognition and language. The collected works of L. S. Vygotsky* (Vol. 4). *The history of the development of higher mental functions* (M. J. Hall, trad.). New York : Plenum Press.
- Weiland, C., Ulvestad, K., Sachs, J. et Yoshikawa, H. (2013). Associations between classroom quality and children's vocabulary and executive function skills in an urban public prekindergarten program. *Early Childhood Research Quarterly*, 28(2), 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2012.12.002>
- Whipple, N., Bernier, A. et Mageau, G. A. (2011). A dimensional approach to maternal attachment state of mind: Relations to maternal sensitivity and maternal autonomy support. *Developmental Psychology*, 47(2), 396–403. <https://doi.org/10.1037/a0021310>
- Whitebread, D. et Basilio, M. (2012). The emergence and early development of self-regulation in young children. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 16(1), 15–33.
- Whitebread, D., Coltman, P., Pasternak, D. P., Sangster, C., Grau, V., Bingham, S., ... et Demetriou, D. (2009). The development of two observational tools for assessing metacognition and self-regulated learning in young children. *Metacognition and Learning*, 4(1), 63–85. <https://doi.org/10.1007/s11409-008-9033-1>
- Widiastuti, A. A. (2016). Preschoolers self-regulation and their early school success. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Early Childhood Education (ICECE 2016)*, 58(August), 39–43. <https://doi.org/10.2991/icece-16.2017.7>
- Williford, A. P., LoCasale-Crouch, J., Whittaker, J. V., DeCoster, J., Hartz, K. A., Carter, L. M., ... et Hatfield, B. E. (2017). Changing teacher–child dyadic interactions to improve preschool children's externalizing behaviors. *Child Development*, 88(5), 1544–1553. <https://doi.org/10.1111/cdev.12703>
- Williford, A. P., Whittaker, J. E. V., Vitiello, V. E. et Downer, J. T. (2013). Children's engagement within the preschool classroom and their development of self-regulation. *Early Education and Development*, 24(2), 162–187. <https://doi.org/10.1080/10409289.2011.628270>
- Winton, P. et Bussye, V. (dir.). (2005). NCELD pre-kindergarten study. *Early Developments*, 9(1), 1–31.
- Yurdugül, H. (2008). Minimum sample size for Cronbach's coefficient alpha: A Monte-Carlo study. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 35(35), 1–9.

Zelazo, P. D. (dir.). (2013). *The Oxford handbook of developmental psychology* (Vol. 1). New York, NY : Oxford University Press.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199958450.001.0001>

Zimmerman, B. J. (1986). Becoming a self-regulated learner: Which are the key subprocesses? *Contemporary Educational Psychology*, 11(4), 307–313.  
[https://doi.org/10.1016/0361-476x\(86\)90027-5](https://doi.org/10.1016/0361-476x(86)90027-5)



## THEORETICAL ARTICLE

**Guidelines for conducting a pre-post intervention study with preschool children using fMRI: The rationale behind the methodological choices of a research project on reading acquisition**Jérémy Blanchette Sarrasin<sup>1,2\*</sup>, Lorie-Marlène Brault Foisy<sup>1,2</sup>, Alexandra Auclair<sup>1,2</sup>,  
Martin Riopel<sup>1</sup>, & Steve Masson<sup>1,2</sup>

## ABSTRACT

In an effort to build bridges between the fields of neuroscience and education, several research projects using neuroimaging focus on the early childhood period. This period of life is indeed crucial for child development, as early educational experiences can have a significant influence on subsequent learning. However, conducting neuroimaging projects with young children presents several challenges, both for participants and researchers. For instance, fMRI technology requires that participants move as little as possible during data acquisition, which can be a real challenge for a young child. Building on previous papers that make recommendations to facilitate the conduct of fMRI research involving young children, the present article proposes to discuss the rationale behind the methodological choices of a particular case: the case of an fMRI intervention study conducted with preschool children. An fMRI intervention study with young children is indeed particularly challenging, especially when it includes two fMRI sessions, pre- and post-intervention. Since no previous articles have focused on the specific challenges encountered in this specific type of study, this article aims to discuss the main questions that may arise regarding different key moments of this type of research project: recruitment of participants, preparation for fMRI sessions, fMRI data acquisition and data analysis.

<sup>1</sup>Département de didactique, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, Canada<sup>2</sup>Laboratory for Research in Neuroeducation, Département de didactique, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, Canada\* Author email address: [blanchette\\_sarrasin.jeremie@uqam.ca](mailto:blanchette_sarrasin.jeremie@uqam.ca)

**To cite this article:** Blanchette Sarrasin, J., Brault Foisy, L.-M., Auclair, A., Riopel, M., & Masson, S. (2020). Guidelines for conducting a pre-post intervention study with preschool children using fMRI: The rationale behind the methodological choices of a research project on reading acquisition. *Neuroeducation*, 6(1), 24-36.

DOI: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20200601.24>

Received on Feb. 22, 2019. Received in revised form on Aug. 22, 2019.

Accepted on Aug. 26, 2019. Available online on June 6, 2020.

*Neuroeducation*, 6(1), 24-36

ISSN: 1929-1833

All rights reserved © 2020 - Association for Research in Neuroeducation

## 1. Introduction

In the last fifteen years or so, many researchers have focused on the relevance, for the field of education, of a better understanding of brain functioning (Ansari & Coch, 2006; Goswami, 2006; Sigman, Peña, Goldin, & Ribeiro, 2014). This has given rise to an emerging research field often referred to as neuroeducation (Ansari, De Smedt, & Grabner, 2012; Masson, 2012; The Royal Society, 2011). By studying learners' brain activity, neuroeducation can bring an additional level of analysis to some educational issues (Masson & Borst, 2017). Indeed, neuroimaging data is distinct and complementary to behavioral data such as performance, reaction time or verbal responses, which are most commonly used in education research (Vogel, Matejko, & Ansari, 2016). The behavioral outcomes of students at a task are most often used as clues for researchers and educators when evaluating the impact of an intervention. However, among other things, brain data could allow to observe effects that are not always detectable through behavioral data alone (Ansari *et al.*, 2012). For instance, two interventions may lead to a similar improvement in participants' performance but show fundamental differences in brain activity (Morgan-Short, Steinhauer, Sanz, & Ullman, 2012). These differences in neural outcomes provide more information about the nature of the learning taking place. Examining the brain activity is therefore another way to understand how educational settings, such as the type of intervention used, impact learning. Neuroeducation studies can provide a complementary understanding of certain educational phenomena in a more fundamental way (Ansari *et al.*, 2012).

Furthermore, as some specificities of the developing brain can only be observed in children, some neuroeducation researches focus precisely on the study of children's brain activity and structure (Wilke, Holland, Myseros, & Schmithorst, 2003). There is still much to discover on the development and maturation of functional brain systems (Ansari *et al.*, 2012). However, it is well known that some regions of the brain develop over time, such as those related to executive functions (Supekar & Menon, 2012). It thus appears necessary to conduct studies with participants of different age groups, including young children (Wilke *et al.*, 2003). Investigating the early childhood period is also essential in order to develop a better understanding of the neural origin of some learning disabilities (Bookheimer, 2000). For instance, differences in brain activity between dyslexic children of different ages have been observed (Shaywitz *et al.*, 2002), which highlights the presence of a developmental component in such disabilities. Moreover, investigating the early childhood period can allow to better understand the neural correlates of early learning, such as reading and numeracy (Brault Foisy, Riopel, & Mevel, 2017). For example, in order to understand the brain mechanisms at play when learning to read, it appears necessary to study child participants who have not yet learned to read, or who are at the very beginning of this learning process. It also seems important to study the effects of different educational interventions or experiences on brain functioning at this age.

This seems even more important considering that many studies have shown that early educational experiences can have a strong impact on brain development, as well as on later learning, behavior, and health (Shonkoff & Levitt, 2010; Wade, Fox, Zeanah, & Nelson, 2019). In this sense, it has been demonstrated that significant adversity experienced during early childhood can lead to long-term negative consequences on such aspects (Shonkoff & Levitt, 2010). Early educational interventions can partially offset the effects of poverty and inadequate learning environments on child development and achievement, as producing meaningful and lasting effects on cognitive, social and academic outcomes (Barnett, 2011). Studying the effects of different early educational interventions is hence not only scientifically relevant, but also socially relevant since interventions that effectively support brain development could act as a protective factor for underprivileged children and promote equal opportunities for all children. For example, studies have shown that educational interventions using guided play could help promote the development of spatial language (Ferrara *et al.*, 2011) and executive functions (Diamond & Lee, 2011) in early childhood. Neuroeducation studies focusing on this period of life can therefore help answer some specific questions and provide access to information that would not otherwise be available.

Among all the tools for measuring brain activity, functional magnetic resonance imaging (fMRI) is one of the most commonly used techniques (Larose, Pineau, & Poirel, 2017). fMRI allows, in a non-invasive and painless way, to measure the brain activity of participants while they perform a cognitive task. The main advantage of this technique is its high spatial resolution, which means that it allows to accurately measure where the activity occurs, even if it is in a region that is located in a deep layer of the brain (Gosseries *et al.*, 2008). Over the years, a significant number of studies using fMRI have been conducted with child participants. Some studies have, for example, investigated the brain regions involved in the development of early mathematics skills (Houdé *et al.*, 2011; Rosenberg-Lee, Barth, & Menon, 2011) or those involved in emotional self-regulation (Lévesque *et al.*, 2004). Some researchers have also pointed out advantages for children participating in fMRI data collection, such as the opportunity to learn how their brain works and to develop a better understanding of the relationship between the mind and the brain (Rossi *et al.*, 2015).

The use of fMRI is however associated with several constraints, which are mainly related to the specific environment of the fMRI, which is considerably different from a natural classroom context (Masson & Borst, 2017). Collecting fMRI data with children therefore poses particular challenges for both the child and the researcher (Vogel *et al.*, 2016). For instance, due to the effect of movement on the quality of the images collected, limiting movement as much as possible is one of the main challenges associated with fMRI data collection with young participants (Thomas &

Casey, 2000). There are also other challenges related to the steps before and after fMRI data collection, namely the need to establish a strong collaboration with parents, the selection and preparation of the children (e.g., regarding the fear and stress generated by the scan), and the pre-processing of data prior to statistical analysis. These challenges raise a number of questions for the researchers planning the project: How is it possible to limit the movement of children inside the scan? Is there a way to prepare them or to contextualize the scanning session in order to reduce the stress they might feel? What should be the total duration of the scan? Etc. Of course, researchers might intuitively think of ideas or answers to these questions. However, given the necessity of conducting studies with young children using fMRI, these specific challenges and the importance of the children's wellbeing during the whole process, it appears essential to more systematically identify and discuss strategies to facilitate the conduct of this type of data collection.

The present article proposes to present the rationale behind the methodological choices of an fMRI intervention study conducted with preschool children, in order to discuss the main questions that may arise during this type of project. This specific case is particularly interesting as it includes an educational intervention, aiming at teaching reading, and two fMRI data acquisitions, pre- and post-intervention. Although some articles already provide recommendations and guidelines regarding fMRI projects with young children, none specifically focused on the challenges encountered in one that includes an educational pre-post intervention. However, the implementation of an intervention between two neuroimaging data collection times can pose additional challenges, as the child's experience during the first scan has a decisive influence on the rest of the project. Previous articles also mainly focused on challenges related to the moment of data acquisition (e.g., limiting movement) but less on others. The aim of this paper is thus twofold: (1) discuss some recommendations made in previous papers that address the conduct of fMRI studies involving children, and (2) discuss the choices that were made during this project, along with their justifications, regarding aspects beyond data acquisition (e.g., recruitment) and the challenges related to the intervention and pre- and post- fMRI sessions. This paper therefore provides guidelines in order to facilitate the thought process of researchers who would like to conduct a similar research project. Naturally, a complete procedure that can be systematically applied to any research project does not exist, as the choices are necessarily closely linked to the specificities of each research project, such as the age of the children taking part in the project, the available funds, the location and specific procedure of the center where the data collection takes place, the research questions, etc.

This article is divided according to four key moments of the project to which great attention should be paid by the researcher: (1) recruitment of participants, (2) preparation for fMRI sessions, (3) fMRI data acquisition, and (4) data analysis. In the light of both the recommendations provided in previous articles and the experience of this project, Table 1

aims to summarize transferable points to consider during each of these key moments. The next section presents the central objective of the pre-post intervention study discussed in this paper. A discussion of the four key moments follows.

## 2. Central objective of the pre-post intervention study

The central objective of the study discussed in this paper was to verify whether two distinct educational interventions to teaching reading would be associated with different patterns of brain activity in children that didn't know yet how to read (preschoolers, mean age: 5.9 years old). Participants were randomly assigned to two groups, each taking part in a different reading intervention. Each intervention directed the participant's attention to a different level of analysis of the word (grapheme-phoneme level vs. whole-word level). We chose to carry out the interventions individually rather than in groups through a one-to-one teaching relationship in order to ensure that participants were fully focused and active during these sessions. Neuroimaging data was collected before and after the intervention (pretest and posttest) for each of the two groups of participants. As previously mentioned, this study thus presented a double challenge as it simultaneously involved a pre-post intervention study, for which the loss of participants is often greater (Campbell & Stanley, 1963), and an fMRI study, which poses a number of specific challenges, particularly with young children. It was therefore crucial to ensure that the fMRI session was experienced positively by the participants in order to keep them involved in the process for the subsequent reading interventions and the second fMRI session at the very end of the project. Figure 1 presents the project's sequence of steps. Each of the steps are explained in detail in the next sections.

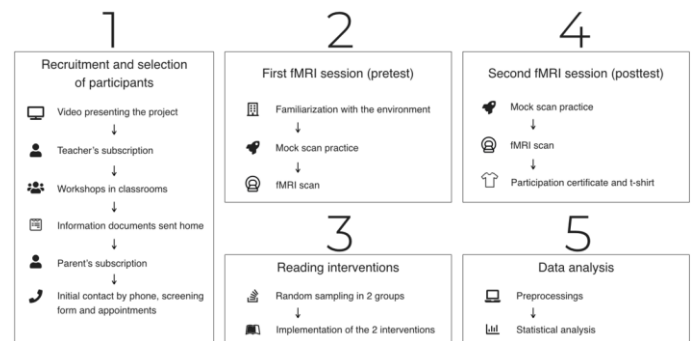


Figure 1. Project's sequence of steps. Components of each of the five main steps of the project are identified.

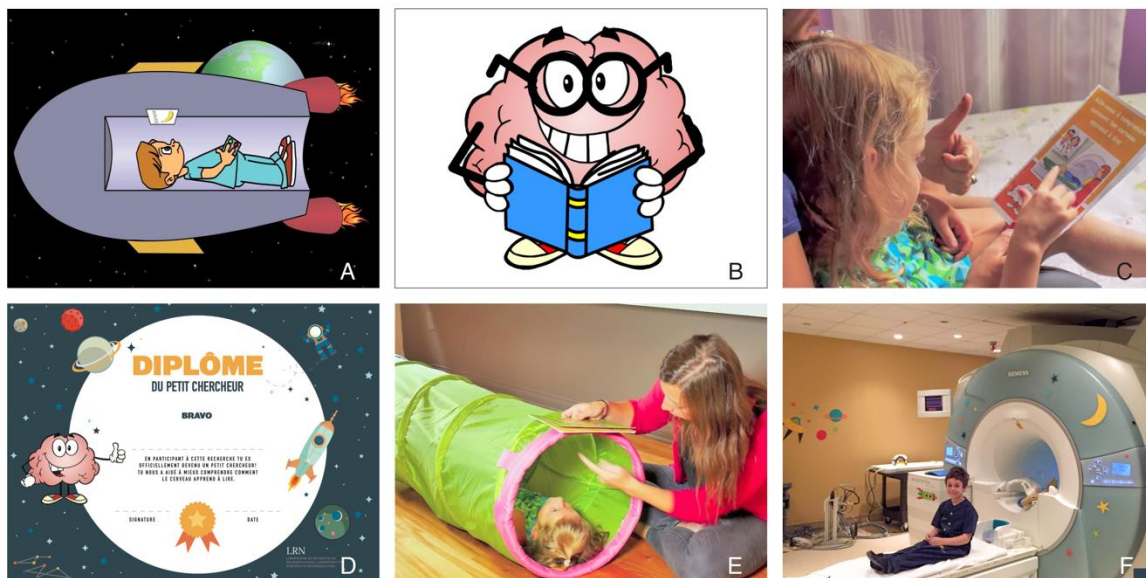
## 3. Participant recruitment and selection

The first key moment of concern when conducting an intervention fMRI study with young children is the recruitment and selection of participants. The recruitment and selection of children for fMRI sessions can represent a

considerable challenge, especially when the children are young, as is the case in the study discussed here. Parents and children may indeed initially feel anxious or afraid of the idea of participating in an fMRI session. In fact, researchers agree that one of the main obstacles in developmental neuroimaging is the child's anxiety level (Bookheimer, 2000; Davidson, Thomas, & Casey, 2003; Kotsoni, Byrd, & Casey, 2006; Poldrack, Paré-Blagoev, & Grant, 2002; Raschle et al., 2009). Another challenge in the recruitment phase is that the younger the participants are, the shorter the time of brain image acquisition should be. However, the shorter the time spent to collect the brain data, the larger the number of participants required to ensure the statistical significance of the data collected (Mumford & Nichols, 2008). More participants are thus needed in this type of study, which highlights the importance of an effective recruitment process. In addition, as with all neuroimaging studies, the researcher must ensure to minimize neural variability between participants. For example, according to some studies (Mazoyer et al., 2014; Narr et al., 2007; Pujol, Deus, Losilla, & Capdevila, 1999), manual preference can be associated with differences in the functional localization of certain cognitive abilities, such as language. Significant differences in brain structure may also exist between individuals of different ages, especially during early childhood (Durstun et al., 2001). Depending on the research questions, these constraints can call for stringent selection criteria and can complicate the recruitment of young participants. Byars et al. (2002) even suggest that, when participants are young children, twice the number of participants needed should be recruited to compensate not only for the exclusion of some participants due to particularities mentioned above, but also for the possible loss of participants throughout the project.

The large number of participants to be recruited is therefore an important challenge.

Although previous articles highlight the importance of recruiting a large number of participants, few discuss how to facilitate the process. This section thus provides indications by presenting how the recruitment of children was conducted in this study. To increase the odds of success, recruitment was first done via preschool teachers. In order to reach a large number of preschool teachers, a diffusion phase was implemented. A video (see Figure 2A) explaining the project's objectives and what students' participation concretely involved was broadcast through official academic channels such as school boards as well as social media (with the approval of the ethical committee), in order to reach as many teachers as possible and to offer the possibility to many preschoolers to take part in the study (the complete video is available in French at [https://youtu.be/RSgslAO\\_dt8](https://youtu.be/RSgslAO_dt8)). The teachers interested in the project were invited to complete a short registration form and were subsequently contacted to validate their interest. Over 60 preschool teachers registered on the list. A one-hour workshop was then offered to them in their class. The aim of this workshop was to discuss in a playful way with preschoolers about the brain and its functioning using a brain mascot (see Figure 2B). A total of 44 workshops were given, allowing to reach around 800 preschool children. This phase of recruitment shows how teachers can be stakeholders in the conduct of a research project, which is particularly interesting in the case of an educational intervention study including two fMRI sessions. The implementation of an intervention indeed presupposes that the study takes place over a longer period of time and it thus appears helpful to involve the school in the process.



**Figure 2.** Various images of the project. **A.** An image captured from the project presentation video that represents the analogy of space travel. **B.** The brain mascot that served as the main visual referent throughout the project. **C.** A young girl reading the booklet intended for the children with a parent. **D.** The participation certificate that was given to each child at the end of the project. **E.** The same young girl practicing staying still in a tissue tunnel with the help of a researcher. **F.** A young boy who is about to take part in the fMRI scan.



The second phase of recruitment consisted in sending home information documents about the project for all children that took part in the workshop. The documents consisted in 1- a booklet intended for the child (see Figure 2C), 2- a leaflet for the parents, and 3- a reply form, all displaying the brain mascot as a familiar visual reference for the child when consulting them at home. Parents and children interested in participating in the project returned the reply form to the child's teacher, who compiled the information in a secure online form. In total, 116 parents showed interest in having their child participate. Based on the availability of the MRI machine, four cohorts of preschoolers were created, spaced at one-week intervals. Initial contact was then made with parents by phone to explain how the project would proceed and to answer any questions they may have. A screening form was also completed with them by phone to ensure that their child did not have a medical restriction to participate in a neuroimaging session. If the child had no restrictions and met the selection criteria (in this case, being a right-handed preschool student, not being able to read, and not having been diagnosed with a disability or disorder), both appointments (pre and post) for the imaging sessions were scheduled during that phone conversation. Of the 116 parents initially interested in their child's participation, 48 children were selected to participate in the project. Several children could not be selected for different reasons: left-handedness, disability or disorder (dyspraxia, ADHD, intellectual disability, etc.), medical condition preventing participation in an fMRI session, too much fear for the child to participate, academic delay (e.g., the child entered school 1 or 2 years late), etc. Some of the parents also decided that they no longer wanted their child to participate in the project. The main reason given was the lack of time to accompany their child during the neuroimaging sessions (even though some time slots were available during the evening). In many cases, it was also not possible to reach the parents by phone. The first box in Figure 1 presents a summary of the steps associated with the recruitment and selection of participants. For each scan session, a monetary compensation of \$20 was offered for participation in the project, as well as a sum of \$20 to offset the costs associated with travel to the neuroimaging center. At the very end of the project, each child also received an image of their brain as thanks for their involvement, as well as a participation certificate (see Figure 2D) and a t-shirt bearing the image of the brain mascot.

In sum, the recruitment phase appears particularly important in the context of a project involving an educational intervention, and even more so when it also includes a pre-post fMRI data collection. The multiplicity of steps over time is indeed likely to lead to a greater loss of participants. Establishing a strong collaboration with parents and teachers from the start, as it was done in this project, seems to be an effective and meaningful approach. It also seems important to share the main results obtained with the schools, parents and children, for example through information sessions or conferences, in order to inform them, value their participation and perpetuate collaborative work. Table 1 presents a summary of key points to consider.

#### 4. Preparation for fMRI sessions

The second key moment to consider is the preparation for fMRI sessions. In fact, as mentioned in the introduction, the challenge of a pre-post intervention study that uses fMRI is that the child must not only succeed in completing the first scan, but the experience must be pleasant enough to repeat a second time after the intervention has taken place. Intervention studies already generally suffer from experimental mortality (Campbell & Stanley, 1963), but the risk is even greater when using fMRI, because if the child (and/or parent) perceives the first experience as stressful, the child might not be inclined to repeat it. Preparation of participants before data collection is therefore crucial (Wilke et al., 2003), although it can be time-consuming (Larose et al., 2017). In order to maximize data collection and to limit associated constraints, but above all to ensure that the child has a pleasant experience participating in the study, the researcher must prepare the child psychologically and physically for the fMRI session (Raschle et al., 2009). Preparation can require more than one meeting to introduce the project to the children, inform them about how the fMRI scan works, familiarize them with the environment in which the images will be taken, introduce them to the cognitive tasks, explain the steps of data collection and allow them to practice to stay as still as possible (Bookheimer, 2000; Vogel et al., 2016; Wilke et al., 2003). Indeed, in their meta-analysis aiming to identify the best ways to prepare a child for an fMRI data collection, Leroux, Lubin, Houdé, and Lanoë (2013) showed that carrying out a full preparation before the fMRI session increases the success rate of data collection in addition to reducing data exclusion due to a high movement rate. A rigorous preparation was thus carried out during the present research project to ensure that the child would enjoy the experience. We concretely describe it here by directly addressing the two moments of preparation: (1) at school and (2) at the neuroimaging center.

##### 4.1 Preparation conducted at school

The children participating in this study were prepared for the fMRI sessions via the workshop in their classrooms. The workshops were thus not only part of the recruitment process, but they also played a role in preparing the children for the fMRI sessions. The preparation that took place during these workshops consisted in different games and activities explaining to preschoolers the utility, functions and functioning of their brain. Throughout the process, the brain mascot was used to present this information in a ludic way. Indeed, Raschle et al. (2009) suggest using child-friendly themes so that the children have a greater desire to engage in the process. The functioning of an fMRI session was also explained and imagined like space travel; the scan being the spaceship, and the child an astronaut with a mission to accomplish (see the different images in Figure 2). Children were invited to simulate the travel of an astronaut in space by entering in a tissue tunnel representing simultaneously the spaceship and the scan (see Figure 2E). Children were also invited to try out a homemade fMRI antenna, representing

the helmet the astronaut has to wear to go to space and the real scan antenna, to get used to the feeling. In the tunnel, their mission consisted in answering questions similar to those that would be asked in the real scan, using a mock response pad while being as still as possible. To explain the impact of movement on the quality of the images, the analogy of a digital camera was given, explaining that the scan was also taking pictures, and thus that movement in the scan would produce blurry pictures. This initial training, inspired by Houdé *et al.* (2011), allowed preschoolers to understand and become more familiar with the general procedure of a neuroimaging session, in a context (their classroom) in which they felt comfortable and surrounded by trusted persons.

#### 4.2 Preparation conducted at the neuroimaging center

In this project, a second step of preparation was also performed directly at the research institute prior to each of the fMRI sessions, in order to offer another opportunity for the child to practice. As Vogel *et al.* (2016) suggested, familiarization with the scanning environment and associated tasks are beneficial for a successful execution of the sessions. Therefore, on participants' arrival, a member of the team welcomed the child and his parent, wearing a t-shirt of the brain mascot to provide a familiar landmark. After revising the screening form with the parent, and obtaining the consent form signed by the parent and child (the child could write his name if he was able to, or symbolically color a smiley face), a little snack was offered to the child while being shown around the site. In order for the child to feel comfortable and confident, many elements of the environment of the research institute were adapted, as suggested by Houdé *et al.* (2011), without having to defray high costs. For instance, playful images with the effigy of the brain mascot and recalling space travel were displayed on the premises of the research institute. These images illustrated the main steps to be taken and rooms (1- simulation room, 2- fMRI room). The person in charge of the data collection was to take the child on a brief tour of the place, showing him the images, and explaining what was going to be done, and in what order. He could also answer the child's questions and make him feel secure.

Several researchers (Barnea-Goraly *et al.*, 2014; de Bie *et al.*, 2010; Leroux *et al.*, 2013; Raschle *et al.*, 2009) also point out that a good strategy to reduce the child's stress and anxiety while reducing movement during data collection consists in carrying out training with a mock scan (i.e., a reproduction of the fMRI scan without electromagnetic field emission) directly at the neuroimaging center. Indeed, because of the size of the scan, its loud noise and narrow bore, practicing in a mock scan allows the child to become familiar with the fMRI environment (de Bie *et al.*, 2010). In addition, because the children are not able to look at the response pad during the scan, training in a mock scan is a strategy to help them practice answering with the response pad (Larose *et al.*, 2017).

In the present study, the child was invited to the simulation room to "practice his mission in space" in a mock scan. The first step consisted in explaining to the child the instructions

of the tasks he would have to perform in the real scan using the response pad. Before entering the mock scan, a first practice was done in front of a computer screen. The child was asked to answer about ten questions similar to those used in the tasks, with the response pad. A second practice then took place inside the mock scan. Feedback was given to the child following his practice to let him know if he had accomplished his mission well by performing the tasks and by remaining as still as possible. This step also allowed to screen the children for claustrophobia. The training part inside the mock scan seemed particularly important with participants of this age, as it allowed them to understand in a very concrete way what the real scan session would be like. Also, as suggested by de Bie *et al.* (2010), the sounds emitted by the real scan were also presented to the child (comparing them to familiar sounds, like a train or a ship) so that he would not be surprised and would understand that they were normal. For some children who were more fearful, parents' collaboration was facilitating, as they could accompany their child during the training in the mock scan room. Finally, we also paid attention to the vocabulary used during the entire project, taking care to avoid words with negative connotations. For example, we would ask a child if he felt comfortable instead of if he was scared, in order not to induce stress or fear.

All of these considerations (see Table 1 for a synthesis) seem truly important in the preparation of the child for fMRI sessions to ensure that he appreciates the experience, especially since intervention studies usually imply several data collection times.

#### 5. fMRI data acquisition

The third key moment is data acquisition itself. One of the major concerns in fMRI data acquisition with young children is motion control, which is crucial to ensure image quality. During the fMRI scan, participants should indeed move as little as possible to prevent images from containing motion-related artifacts (Byars *et al.*, 2002). This implies that the child must maintain control over himself for several minutes, which can be more difficult than for an adult participant (Bookheimer, 2000). Indeed, it is expected with children that a large proportion of data will be lost due to excessive motion (Poldrack, Mumford, & Nichols, 2011). Even though there appears to be a consensus that conducting a mock scan practice greatly improves the likelihood of a successful scan (Leroux *et al.*, 2013), it still seems necessary to plan the data acquisition sequence in such a way as to reduce possible movement. Therefore, when planning the neuroimaging acquisition sequence per se, several questions may emerge. For example, at what point in time should the anatomical images be acquired? How to best maintain the child's attention and interest? In which order should the tasks be performed (if there are several of them)? What is the most appropriate duration of the tasks? Are there acquisition parameters that are better suited for young participants (especially due to the larger possibility of movement)?

In the present study, when neuroimaging acquisition was conducted (see Figure 1 for the sequence of steps), we first made sure that installation time with the child was sufficient. With the help of a technician (also wearing a t-shirt bearing the image of the brain mascot) and the person in charge of data acquisition, the participant was then positioned on the scanning table (see Figure 2F showing a picture of a young boy who is about to take part in the fMRI scan). To minimize the risk of movement during image acquisition, the technician ensured that the participant's head was well positioned, and cushions were placed on each side. In order to obtain the cleanest anatomical images and because children are likely to move more as the session progresses, we chose to collect these images at the beginning of every session. Performing the anatomical scan at the beginning also made it possible to use the functional data collected, even if the participant did not complete the entire session. Since the anatomical images are indeed necessary to perform co-registration during the preprocessing steps, choosing to conduct the anatomical scan at the end of the session could lead to the loss of the collected functional data if the participant would not complete the entire MRI session. On the advice of the neuroimaging center staff, we also decided to conduct a T1-weighted multi-echo MPRAGE (MEMPRAGE) (van der Kouwe, Benner, Salat, & Fischl, 2008) because it allowed us to reduce the duration of anatomical acquisition to about 6 minutes (instead of a more standard MPRAGE session of 9-10 minutes) while preserving similar image quality. Another technique used to limit movement during anatomical acquisition was to present the participant a short and calm animation movie in which a character makes a journey into space, so the child would be sufficiently attentive and move as little as possible (Houdé et al., 2011). The theme of the movie also aimed to place the child in a reassuring context from the start of the scanning session.

Vogel et al. (2016) recommend using short protocols with children due to their limited attention and immobility capacities. Consequently, during functional image acquisition, the first task was designed to be as short as possible: it took about 12 minutes in total and was subdivided into four equivalent series of three minutes, each presenting a limited number of stimuli. This task was intended to observe the brain activity generated during the reading of words. In order to do so, participants performed a reading-verification task in which they had to evaluate if a word matched an image. They gave their answer (yes or no) by pressing one of the two buttons of a response pad. Considering the young age of the participants, it was also necessary to make the response process as easy as possible. Very often, the response pads used in neuroimaging data collection with adults have four buttons (because the tasks involve several possible answers). However, in this case, the task involved a simple choice between two answers. It was thus important to develop a strategy to ensure that the child was not mistaken about which buttons to press. To minimize the risk of response error, we decided to use a child-friendly response pad with only two buttons. Using specific response tools that are adapted in size and shape to the age of the participant has

indeed proven helpful (Kotsoni et al., 2006). Another strategy could have been to add textures on the buttons in order to provide a tactile landmark for the child in case he no longer remembered which one to press. During the installation of the participant in the fMRI device, we also made sure that the response pad was carefully positioned so that the child felt comfortable when answering and did not wiggle in the scan to reach the pad (Raschle et al., 2009).

Because one of the tasks required a higher level of cognitive engagement from the child (reading the words and evaluating the accuracy of the matching), we chose to have the child complete it first. The second task was also designed to be as short as possible. It was divided into two equivalent series and took about seven minutes in total. This task aimed to assess the functional organization of the visual ventral pathway (inspired by Monzalvo et al., 2012). It was a more passive task because participants simply had to look at different categories of objects appearing on the screen and press a button on the response pad when a target (the brain mascot image) was displayed. The instruction given to the participant to press the button when the mascot appeared was intended solely to ensure that they remained attentive and that they were looking closely at the stimuli presented on the screen.

In addition to the recommendation to use short protocols, Vogel et al. (2016) also suggest segmenting the tasks to allow the child to take breaks. Therefore, between each series of tasks, a break of one to two minutes was taken so that the participant could benefit from a small rest period. During these breaks, the experimenter could interact with the participant by speaking to him via microphone to make sure that he felt good and that he was relaxed enough. The child was also reminded of the instructions, the remaining steps, and to move as little as possible, and was given positive reinforcement in order to keep him motivated. At the end of this fMRI session, the person in charge of data collection also asked the child if he enjoyed his experience and reminded him that he would come again for a second scan (the posttest), in order to prepare him mentally. After the first fMRI session, all participants were involved in a five-week intervention that aimed to teach them to read 20 words (see Figure 1, step 3). To ensure that the child continued to feel comfortable during the process, these interventions were carried out in their school environment. Indeed, the experience of the first fMRI session is likely to affect the child's willingness to participate in the interventions and the second fMRI session, as the experience of the interventions may affect his desire to come back for the second scan. The post-intervention fMRI session was conducted in all respects like the first. All steps of the project, from recruitment to the end of data collection, took place from September to April.

## 6. Data analysis

There are other challenges beyond data collection for researchers conducting fMRI studies with young children. The fourth key moment is data analysis. Indeed, before moving forward with analysis, data must be preprocessed to



control for quality. Data preprocessing involves different steps, of which two in particular could require special consideration due to the young age of participants. The first step, which may require more attention, concerns motion correction (Brault Foisy et al., 2017). This preprocessing step aims to correct differences in the positioning of the head throughout the neuroimaging session, so that a brain region remains at the same position in the standard coordinate system [x y z] for all volumes collected. The overall goal of motion correction is to maximize sensitivity to true activations while minimizing false activations related to motion (Johnstone et al., 2006). The most common motion correction consists of realigning the images by translation and rotation on the 3 axes x, y and z (six parameters rigid body transformation) in order so that they correspond as well as possible to a reference volume (Friston et al., 1996; Poldrack et al., 2011). However, considering that children may be inclined to move more than adults in the scanner during data acquisition, some researchers suggest that an additional correction should be made for residual motion (Brown et al., 2010; Johnstone et al., 2006; Monzalvo et al., 2012). One possible strategy to perform this type of correction is to use a software designed specially to improve fMRI analysis, such as ArtRepair (Mazaika, Hoefft, Glover, & Reiss, 2009), which has special motion adjustment algorithms. With this type of software, it becomes possible to correct each of the brain volumes for which movement induced an artifact by removing them or interpolating from neighboring volumes (see an example in Monzalvo et al., 2012). This software also allows statistical results obtained before and after the correction of artifact volumes to be compared. Another strategy to realize supplementary motion correction is to add motion regressors in the design matrix (for more details, see Johnstone et al., 2006). It can therefore be appropriate to consider performing movement correction when analyzing fMRI data of young children.

The second data preprocessing step that may require additional consideration is the spatial normalization step. Spatial normalization is necessary in studies that generalize across individuals by carrying out group analyses. Since individual brains are highly variable in their size and shape (Huettel, Song, & McCarthy, 2008; Poldrack et al., 2011; Rademacher et al., 2001), participants' brains need to be transformed into a common space so that they are aligned with one another (Uylings et al., 2005). To do so, a brain template is used as a target to which all individual images of participants can be aligned (Poldrack et al., 2011).

The templates used to normalize images of adult brains are not necessarily adapted to children's brains (Brault Foisy et al., 2017; Thomas & Casey, 2000; Wilke, Schmithorst, & Holland, 2002). Indeed, depending on their age, there are sometimes considerable anatomical differences between the brains of children and adults (Caviness et al., 1996; Fonov et al., 2011; Sanchez, Richards, & Almlil, 2012), which may require the use of a specific brain template for the normalization step. For instance, since the frontal lobe matures late in development (Gogtay et al., 2004), the proportion of the brain occupied by this region differs in childhood and adulthood, thus calling for the use of a specific brain template. Moreover, due to rapid brain growth in the early years of life, significant differences can also be observed in children of different age groups, including brain size, shape and tissue composition (Prastawa, Gilmore, Lin, & Gerig, 2005; Wilke et al., 2002). Some researchers therefore argue that using an adult anatomical template to normalize data from children may cause significant bias due to developmental differences between adult and child populations (Altaie, Holland, Wilke, & Gaser, 2008; Machilsen et al., 2007; Wilke et al., 2002, 2003). A possible strategy consists in using a paediatric template in order to realize the normalization when the participants are children (Wilke et al., 2002). Different templates (Fonov et al., 2011; Sanchez et al., 2012) and software, such as Template-O-Matic (Wilke, Holland, Altaie, & Gaser, 2008) or DARTEL (Ashburner, 2007) can be used via Statistical Parametric Mapping (SPM) to create age-specific brain templates. In summary, in order to obtain clean data, it is essential to consider these elements when planning the analysis (See Table 1 for an overview).

In this project, as the objective was to compare two pedagogical interventions, each intervention acted as a control measure for the other. We also made sure that the two groups had an equivalent starting level at pretest (participants of both groups were non-readers). Reading performance was measured in addition to brain data, to evaluate the difference in performance between the posttest and pretest for each type of intervention. Brain data was analyzed to identify the brain regions that were more activated for each type of intervention (grapheme-phoneme > whole-word, and vice versa) and those that were more activated after the intervention (posttest) compared to before (pretest), for each intervention. Region-of-interest (ROI) analyses were also performed with respect to our assumptions about specific regions of the reading network.



**Table 1.** Main points to be considered during four key moments of a pre-post intervention study using fMRI with young children

Key moments	Main points to consider
Recruitment and selection of participants	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recruit about twice the number of participants needed.</li> <li>▪ Involve the school community, teachers and parents in the process (e.g., going into classrooms) and establish a strong collaboration with them.</li> <li>▪ Present and diffuse the project in such a way as to reach both adults and children (e.g., video).</li> <li>▪ Establish child-friendly visual reference points at the beginning of the process that will be reused throughout the project.</li> <li>▪ Design materials specifically for the child (information sheet, consent sheet, participation certificate) to make them feel involved in the process.</li> </ul>
Preparation for fMRI sessions	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Create a warm atmosphere through interactions with the child.</li> <li>▪ Introduce the child to the environment of the scan (visit of the neuroimaging center, presentation of the tasks and steps of the project).</li> <li>▪ Plan several training sessions (practicing the tasks, staying still, answering without seeing the response pad, etc.), including a session outside of the neuroimaging center (e.g., classroom).</li> <li>▪ Have the child listen to the noise of the scan before the real session.</li> <li>▪ Perform a simulation in a mock scan.</li> </ul>
fMRI data acquisition	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ensure that the child is in an appropriate condition before the beginning of the scan (not hungry or in need to go to the bathroom, etc.).</li> <li>▪ Take the time to install the child in order for him to feel comfortable and secure.</li> <li>▪ Ensure that the equipment used is appropriate for the child's age (e.g., response pad).</li> <li>▪ Collect the anatomical images at the beginning of the fMRI session.</li> <li>▪ Choose shorter acquisition sequences when possible (e.g., MEMPRAGE sequence).</li> <li>▪ Plan short tasks for the child to complete in the scan.</li> <li>▪ If there are several tasks, plan the most cognitively demanding task first.</li> <li>▪ Include breaks during the fMRI session.</li> <li>▪ Communicate with the child during the breaks (making him feel secure, reminding him to stay as still as possible, informing him of the remaining steps, etc.)</li> </ul>
Data analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realize supplementary motion correction if necessary.</li> <li>▪ Choose brain templates that are appropriate for children's brains for the normalization step.</li> </ul>

## Conclusion

The aim of this paper was to discuss the rationale behind methodological choices in the case of an fMRI pre-post intervention study conducted with preschool children. Since no previous articles focus specifically on challenges encountered in fMRI studies including an educational intervention, this paper provides an interesting perspective as well as supplemental recommendations to facilitate the conduct of fMRI research involving young children. We highlighted anchor points that could be transferable to other research projects using a similar protocol, but with different research questions. By providing useful information to researchers aiming to conduct similar research, this article could facilitate the conduct of future neuroimaging studies with young children. As early childhood is a crucial period in child development, it seems relevant to facilitate such projects while maximizing the well-being of the young children who participate in them. Conducting neuroimaging intervention studies from an early age can allow a better understanding of how different educational interventions lead to different neural correlates. It can thus help to better understand the foundations of different types of learning, and ultimately foster teaching practices that are more naturally compatible with brain development and functioning.

## Acknowledgements

We would first like to thank all the preschool children, parents and teachers whose great interest and generous contribution in time and energy made this project possible. We find them truly admirable. Many thanks also to the staff at the Functional Neuroimaging Unit of the Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM), and to all the persons who contributed to this project on any level (i.e., presentation video, recruitment and preparation of the participants, implementation of interventions, data collection and analysis). We would like to address a special thank you to Antony, Lily-Rose and Paul-Émile, who, each in their own way, allowed us to improve this project to ensure the well-being of participating children. The research project was made possible with the support of the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada (SSHRC; grant number 435-2015-1791).

## References

- Altaye, M., Holland, S. K., Wilke, M., & Gaser, C. (2008). Infant brain probability templates for MRI segmentation and normalization. *Neuroimage*, 43(4), 721-730. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.07.060>
- Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146-151. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.02.007>
- Ansari, D., De Smedt, B., & Grabner, R. H. (2012). Neuroeducation – A critical overview of an emerging field. *Neuroethics*, 5(2), 105-117. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9119-3>
- Ashburner, J. (2007). A fast diffeomorphic image registration algorithm. *NeuroImage*, 38(1), 95-113. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.07.007>
- Barnea-Goraly, N., Weinzimer, S. A., Ruedy, K. J., Mauras, N., Beck, R. W., Marzelli, M. J., ..., & Tsalikian, E. (2014). High success rates of sedation-free brain MRI scanning in young children using simple subject preparation protocols with and without a commercial mock scanner—the Diabetes Research in Children Network (DirecNet) experience. *Pediatric Radiology*, 44(2), 181-186. <https://doi.org/10.1007/s00247-013-2798-7>
- Barnett, W. S. (2011). Effectiveness of early educational intervention. *Science*, 333(6045), 975-978. <https://doi.org/10.1126/science.1204534>
- Bookheimer, S. Y. (2000). Methodological issues in pediatric neuroimaging. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 161-165. [https://doi.org/10.1002/1098-2779\(2000\)6:3%3C161::aid-mrdd2%3E3.0.co;2-w](https://doi.org/10.1002/1098-2779(2000)6:3%3C161::aid-mrdd2%3E3.0.co;2-w)
- Brault Foisy, L.-M., Riopel, M., & Mevel, K. (2017). L'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle : les prétraitements et l'analyse des données. In S. Masson, & G. Borst (Eds.), *Méthodes de recherche en neuroéducation* (pp. 61-132). Québec, QC : Presses de l'Université du Québec. <https://doi.org/10.2307/j.ctvggx359.9>
- Brown, T. T., Kuperman, J. M., Erhart, M., White, N. S., Roddey, J. C., Shankaranarayanan, A., ..., & Dale, A. M. (2010). Prospective motion correction of high-resolution magnetic resonance imaging data in children. *Neuroimage*, 53(1), 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.017>
- Byars, A. W., Holland, S. K., Strawsburg, R. H., Bommer, W., Dunn, R. S., Schmithorst, V. J., & Plante, E. (2002). Practical aspects of conducting large-scale functional magnetic resonance imaging studies in children. *Journal of Child Neurology*, 17(12), 885-889. <https://doi.org/10.1177/08830738020170122201>
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). Experimental and quasi-experimental designs for research. In N. L. Gage (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 171-246). Chicago, IL: Rand McNally & Co.
- Caviness, V. S., Kennedy, D. N., Richelme, C., Rademacher, J., & Filipek, P. A. (1996). The human brain age 7-11 years: A volumetric analysis based on magnetic resonance images. *Cerebral Cortex*, 6(5), 726-736. <https://doi.org/10.1093/cercor/6.5.726>

- Davidson, M. C., Thomas, K. M., & Casey, B. J. (2003). Imaging the developing brain with fMRI. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 9(3), 161-167. <https://doi.org/10.1002/mrdd.10076>
- de Bie, H. M. A., Boersma, M., Wattjes, M. P., Adriaanse, S., Vermeulen, R. J., Oostrom, K. J., ..., & Delemarre-Van de Waal, H. A. (2010). Preparing children with a mock scanner training protocol results in high quality structural and functional MRI scans. *European Journal of Pediatrics*, 169(9), 1079-1085. <https://doi.org/10.1007/s00431-010-1181-z>
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964. <https://doi.org/10.1126/science.1204529>
- Durston, S., Pol, H. E. H., Casey, B. J., Giedd, J. N., Buitelaar, J. K., & Van Engeland, H. (2001). Anatomical MRI of the developing human brain: What have we learned? *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 40(9), 1012-1020. <https://doi.org/10.1097/00004583-200109000-00009>
- Ferrara, K., Hirsh-Pasek, K., Newcombe, N. S., Golinkoff, R. M., & Lam, W. S. (2011). Block talk: Spatial language during block play. *Mind, Brain, and Education*, 5(3), 143-151. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228x.2011.01122.x>
- Fonov, V., Evans, A. C., Botteron, K., Almli, C. R., McKinstry, R. C., & Collins, D. L. (2011). Unbiased average age-appropriate atlases for pediatric studies. *NeuroImage*, 54(1), 313-327. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.07.033>
- Friston, K. J., Williams, S., Howard, R., Frackowiak, R. S. J., & Turner, R. (1996). Movement related effects in fMRI time-series. *Magnetic Resonance in Medicine*, 35(3), 346-355. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910350312>
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., ..., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(21), 8174-8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
- Gosseries, O., Demertzi, A., Noirhomme, Q., Tshibanda, J., Boly, M., de Beeck, M. O., ..., & De Tiège, X. (2008). Que mesure la neuro-imagerie fonctionnelle : IRMf, TEP & MEG? *Revue Médicale de Liège*, 63(5-6), 231-237. <http://hdl.handle.net/2268/31382>
- Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(5), 406-413. <https://doi.org/10.1038/nrn1907>
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., ..., & Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(3), 332-346. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.04.008>
- Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy, G. (2008). *Functional magnetic resonance imaging*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Johnstone, T., Ores Walsh, K. S., Greischar, L. L., Alexander, A. L., Fox, A. S., Davidson, R. J., & Oakes, T. R. (2006). Motion correction and the use of motion covariates in multiple-subject fMRI analysis. *Human Brain Mapping*, 27(10), 779-788. <https://doi.org/10.1002/hbm.20219>
- Kotsoni, E., Byrd, D., & Casey, B. J. (2006). Special considerations for functional magnetic resonance imaging of pediatric populations. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 23(6), 877-886. <https://doi.org/10.1002/jmri.20578>
- Larose, M., Pineau, A., & Poirel, N. (2017). L'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique : la collecte des données. In S. Masson & G. Borst (Eds.), *Méthodes de recherche en neuroéducation* (pp. 39-60). Québec, QC : Presses de l'Université du Québec. <https://doi.org/10.2307/j.ctvggx359.8>
- Leroux, G., Lubin, A., Houdé, O., & Lanoë, C. (2013). How to best train children and adolescents for fMRI? Meta-analysis of the training methods in developmental neuroimaging. *Neuroeducation*, 2(1), 44-70. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20130201.44>
- Lévesque, J., Joannette, Y., Mensour, B., Beaudoin, G., Leroux, J.-M., Bourgouin, P., & Beauregard, M. (2004). Neural basis of emotional self-regulation in childhood. *Neuroscience*, 129(2), 361-369. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2004.07.032>
- Machilsen, B., d'Agostino, E., Maes, F., Vandermeulen, D., Hahn, H. K., Lagae, L., & Stiers, P. (2007). Linear normalization of MR brain images in pediatric patients with periventricular leukomalacia. *NeuroImage*, 35(2), 686-697. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.12.037>
- Masson, S. (2012). Neuroeducation: Understanding the brain to improve teaching. *Neuroeducation*, 1(1), 1-2. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20120101.1>
- Masson, S., & Borst, G. (2017). Les premières étapes d'une recherche en neuroéducation. In S. Masson & G. Borst (Eds.), *Méthodes de recherche en neuroéducation* (pp. 7-38). Québec, QC: Presses de l'Université du Québec. <https://doi.org/10.2307/j.ctvggx359.7>

- Mazaika, P. K., Hoeft, F., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2009). Methods and software for fMRI analysis of clinical subjects. *NeuroImage*, 47(Suppl. 1), S58. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(09\)70238-1](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(09)70238-1)
- Mazoyer, B., Zago, L., Jobard, G., Crivello, F., Joliot, M., Percey, G., ..., & Tzourio-Mazoyer, N. (2014). Gaussian mixture modeling of hemispheric lateralization for language in a large sample of healthy individuals balanced for handedness. *PLoS ONE*, 9(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101165>
- Monzalvo, K., Fluss, J., Billard, C., Dehaene, S., & Dehaene-Lambertz, G. (2012). Cortical networks for vision and language in dyslexic and normal children of variable socio-economic status. *Neuroimage*, 61(1), 258-274. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.02.035>
- Morgan-Short, K., Steinhauer, K., Sanz, C., & Ullman, M. T. (2012). Explicit and implicit second language training differentially affect the achievement of native-like brain activation patterns. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(4), 933-947. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00119](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00119)
- Mumford, J. A., & Nichols, T. E. (2008). Power calculation for group fMRI studies accounting for arbitrary design and temporal autocorrelation. *NeuroImage*, 39(1), 261-268. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.07.061>
- Narr, K. L., Bilder, R. M., Luders, E., Thompson, P. M., Woods, R. P., Robinson, D., ..., & Toga, A. W. (2007). Asymmetries of cortical shape: Effects of handedness, sex and schizophrenia. *NeuroImage*, 34(3), 939-948. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.08.052>
- Poldrack, R. A., Mumford, J. A., & Nichols, T. E. (2011). *Handbook of functional MRI data analysis*. New York, NY: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511895029>
- Poldrack, R. A., Paré-Blagoev, E. J., & Grant, P. E. (2002). Pediatric functional magnetic resonance imaging: Progress and challenges. *Topics in Magnetic Resonance Imaging*, 13(1), 61-70. <https://doi.org/10.1097/00002142-200202000-00005>
- Prastawa, M., Gilmore, J. H., Lin, W., & Gerig, G. (2005). Automatic segmentation of MR images of the developing newborn brain. *Medical Image Analysis*, 9(5), 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.media.2005.05.007>
- Pujol, J., Deus, J., Losilla, J. M., & Capdevila, A. (1999). Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studied by functional MRI. *Neurology*, 52(5), 1038. <https://doi.org/10.1212/wnl.52.5.1038>
- Rademacher, J., Morosan, P., Schormann, T., Schleicher, A., Werner, C., Freund, H. J., & Zilles, K. (2001). Probabilistic mapping and volume measurement of human primary auditory cortex. *Neuroimage*, 13(4), 669-683. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0714>
- Raschle, N. M., Lee, M., Buechler, R., Christodoulou, J. A., Chang, M., Vakil, M., ..., & Gaab, N. (2009). Making MR imaging child's play - Pediatric neuroimaging protocol, guidelines and procedure. *Journal of Visualized Experiments*, (29). <https://doi.org/10.3791/1309>
- Rosenberg-Lee, M., Barth, M., & Menon, V. (2011). What difference does a year of schooling make?: Maturation of brain response and connectivity between 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> grades during arithmetic problem solving. *NeuroImage*, 57(3), 796-808. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.013>
- Rossi, S., Lanoë, C., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., & Lubin, A. (2015). When I met my brain: Participating in a neuroimaging study influences children's naïve mind-brain conceptions. *Trends in Neuroscience and Education*, 4(4), 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.07.001>
- Sanchez, C. E., Richards, J. E., & Almli, C. R. (2012). Neurodevelopmental MRI brain templates for children from 2 weeks to 4 years of age. *Developmental Psychobiology*, 54(1), 77-91. <https://doi.org/10.1002/dev.20579>
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., ..., & Gore, J. C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52(2), 101-110. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(02\)01365-3](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(02)01365-3)
- Shonkoff, J. P., & Levitt, P. (2010). Neuroscience and the future of early childhood policy: Moving from why to what and how. *Neuron*, 67(5), 689-691. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.032>
- Sigman, M., Peña, M., Goldin, A. P., & Ribeiro, S. (2014). Neuroscience and education: Prime time to build the bridge. *Nature Neuroscience*, 17(4), 497-502. <https://doi.org/10.1038/nn.3672>
- Supekar, K., & Menon, V. (2012). Developmental maturation of dynamic causal control signals in higher-order cognition: A neurocognitive network model. *PLoS Computational Biology*, 8(2), e1002374. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002374>
- The Royal Society. (2011). *Neuroscience: Implications for education and lifelong learning*. London, UK: The Royal Society.
- Thomas, K. M., & Casey, B. J. (2000). Functional MRI in pediatrics. In C. Moonen & P. A. Bandettini (Eds), *Functional MRI* (pp. 513-523). Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.
- Uylings, H. B. M., Rajkowska, G., Sanz-Arigit, E., Amunts, K., & Zilles, K. (2005). Consequences of large interindividual variability for human brain atlases: Converging macroscopical imaging and microscopical neuroanatomy. *Anatomy and Embryology*, 210(5-6), 423-431. <https://doi.org/10.1007/s00429-005-0042-4>



- van der Kouwe, A. J. W., Benner, T., Salat, D. H., & Fischl, B. (2008). Brain morphometry with multiecho MPRAGE. *NeuroImage*, 40(2), 559-569. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.12.025>
- Vogel, S. E., Matejko, A., A., & Ansari, D. (2016). Imaging the developing human brain using functional and structural magnetic resonance imaging: Methodological and practical guidelines. In J. Prior & J. V. Herwegen (Eds.), *Practical research with children* (pp. 72-95). New York, NY: Routledge.
- Wade, M., Fox, N. A., Zeanah, C. H., & Nelson, C. A. (2019). Long-term effects of institutional rearing, foster care, and brain activity on memory and executive functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(5), 1808-1813. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809145116>
- Wilke, M., Holland, S. K., Altaye, M., & Gaser, C. (2008). Template-O-Matic: A toolbox for creating customized pediatric templates. *NeuroImage*, 41(3), 903-913. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.056>
- Wilke, M., Holland, S. K., Myseros, J. S., Schmithorst, V. J., & Ball, W. S. (2003). Functional magnetic resonance imaging in pediatrics. *Neuropediatrics*, 34(5), 225-233. <https://doi.org/10.1055/s-2003-43260>
- Wilke, M., Schmithorst, V. J., & Holland, S. K. (2002). Assessment of spatial normalization of whole-brain magnetic resonance images in children. *Human Brain Mapping*, 17(1), 48-60. <https://doi.org/10.1002/hbm.10053>

## REVUE DE LA LITTÉRATURE

**Mieux préparer les élèves du préscolaire à l'apprentissage de l'arithmétique : une recension des études proposant des programmes d'intervention s'appuyant sur les neurosciences**Isabelle Deshaies<sup>1\*</sup>, Jean-Marie Miron<sup>1</sup>, Colette Picard<sup>2</sup> et Steve Masson<sup>3</sup>

## RÉSUMÉ

La littérature scientifique en didactique de l'arithmétique suggère qu'au moins trois prérequis sont essentiels à l'apprentissage de l'arithmétique au préscolaire : le développement du sens des nombres, l'établissement de liens entre ce sens des nombres et les nombres symboliques, ainsi que le développement de l'inhibition. Dans cet article, les études portant sur des programmes d'intervention ayant pour objectif de développer un ou plusieurs de ces prérequis chez les élèves du préscolaire sont présentées et discutées. Parmi plus de 22 programmes d'intervention en arithmétique recensés, seulement 5 s'appuient explicitement sur la recherche en neurosciences en ciblant au moins un des prérequis identifiés et aucun des programmes identifiés ne vise le développement de l'inhibition. L'analyse de ces programmes suggère qu'il pourrait être bénéfique d'élaborer et de tester une intervention intégrant des activités visant les trois prérequis mentionnés.

<sup>1</sup> Département des sciences de l'éducation, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, QC, Canada

<sup>2</sup> Unité d'enseignement et de recherche en sciences de l'éducation, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Val-d'Or, QC Canada

<sup>3</sup> Département de didactique, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, Canada

\* Correspondance avec l'auteure : [isabelle.deshaies2@uqtr.ca](mailto:isabelle.deshaies2@uqtr.ca)

**Pour citer cet article :** Deshaies, I., Miron, J.-M., Picard, C. et Masson, S. (2020). Mieux préparer les élèves du préscolaire à l'apprentissage de l'arithmétique : une recension des études proposant des programmes d'intervention s'appuyant sur les neurosciences. *Neuroéducation*, 6(1), 37-48.

DOI: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20200601.64>

## 1. Introduction

Le préscolaire est une étape importante dans la vie de l'élève. Par des activités ludiques, ce programme a notamment le mandat de « jeter les bases de la scolarisation » (MELS, 2003, p. 52), nécessaires aux futurs apprentissages (Jordan, Kaplan, Locuniak et Ramineni, 2007). Parmi ces premières bases inculquées au préscolaire, notons que celles liées aux mathématiques seraient un facteur de l'éventuelle réussite scolaire des élèves (Duncan *et al.*, 2007). Aunola, Leskinen, Lerkkanen et Nurmi (2004) ont notamment démontré que, de l'entrée au préscolaire à la deuxième année du primaire, la croissance des compétences en mathématiques est plus rapide chez les élèves qui ont débuté leur parcours scolaire avec un niveau plus élevé de compétences en mathématiques.

Tout comme les recherches en didactique des mathématiques, celles en neurosciences mentionnent que le développement du sens des nombres (Dehaene, 2011) et l'établissement de liens entre le sens du nombre et le nombre symbolique (Dehaene et Cohen, 2007; Piazza, Pinel, Le Bihan et Dehaene, 2007) seraient particulièrement importants à l'apprentissage des mathématiques. Toutefois, les recherches en neurosciences soulignent l'importance d'une troisième habileté dans cet apprentissage, soit le développement du contrôle cognitif, qui représente notre capacité à avoir un comportement adapté aux circonstances, et plus précisément dans ce cas-ci à l'inhibition (Houdé *et al.*, 2011). Cette capacité serait nécessaire pour contrer les stratégies inefficaces des élèves, par exemple celle admettant que la longueur d'une distribution d'objets corresponde à sa quantité. Cela laisse penser qu'au moins trois prérequis puissent favoriser l'apprentissage des mathématiques et, plus spécifiquement, de l'arithmétique (Deshaies, Miron et Masson, 2015). Il s'agit du développement du sens des nombres, de l'établissement de liens entre le sens des nombres et les nombres symboliques, et du développement de l'inhibition.

### 1.1 Le développement du sens des nombres

Selon Dehaene (2011), le sens des nombres serait la base de la construction des compétences mathématiques, s'imposant immédiatement, automatiquement et sans contrôle conscient; il permet de faire la distinction entre deux quantités non symboliques et de déterminer laquelle est supérieure ou inférieure à l'autre (Fuhs et McNeil, 2013). La recherche de Dehaene, Piazza, Pinel et Cohen (2003) a permis de déterminer que, lors d'activités en relation avec le sens des nombres, les neurones des sillons intrapariétaux droit et gauche sont activés.

Afin de démontrer l'existence de ce sens des nombres dès les premiers mois de vie du nourrisson, Izard, Dehaene-Lambertz et Dehaene (2008) ont placé des nourrissons de trois mois devant des images d'objets et ont procédé à des enregistrements de potentiels évoqués au moyen d'un électroencéphalogramme. Tout comme chez les adultes et les enfants, un nombre différent d'objets a activé le réseau pariétofrontal impliquant notamment les sillons intrapariétaux. Des expériences comportementales confirment également que, dès l'âge de quatre mois et demi, les nourrissons possèdent un sens des nombres précoce et que, par

exemple, ils peuvent détecter des changements dans le nombre approximatif d'objets dans un ensemble (Feigenson, Dehaene et Spelke, 2004; Xu et Spelke, 2000).

En somme, le cerveau des enfants est sensible aux variations de quantités, et ce, dès les premiers mois de vie. Il s'agit en fait d'une caractéristique nécessaire au développement du sens des nombres qui leur permet de se représenter la grandeur des nombres sous leur forme non symbolique. Cependant, à ce moment, le nombre sous sa forme non symbolique ne serait pas associé à une valeur quantitative précise.

Étant donné le caractère inné ou très précoce du sens des nombres, tout porte à croire que cette capacité constitue une base sur laquelle s'appuient les habiletés numériques. Le développement du sens des nombres peut donc être considéré comme un prérequis à l'apprentissage de l'arithmétique (Dehaene, 2011).

### 1.2 Le développement de liens entre le sens des nombres et les nombres symboliques

Lorsqu'il atteint 3-4 ans, au cours de l'acquisition du langage oral, l'enfant apprend progressivement la relation entre des quantités et des nombres arabes; ce qui lui permet d'acquérir progressivement les nombres sous leur forme symbolique. Autrement dit, il apprend à établir des liens entre la capacité à discriminer des quantités et leur représentation symbolique.

Sur le plan neuroscientifique, cette nouvelle acquisition peut s'expliquer grâce au concept de recyclage neuronal, soit la capacité du cerveau à modifier la structure de certaines régions cérébrales afin de changer leurs fonctions initiales (Dehaene et Cohen, 2007). En effet, comme l'interprétation des nombres symboliques s'effectue, comme le sens des nombres, grâce aux sillons intrapariétaux, cela porte à croire que cette zone cérébrale associée au sens des nombres (sillons intrapariétaux droit et gauche) se « recyclerait » pour traiter les nombres sous leur forme symbolique (Piazza *et al.*, 2007). D'ailleurs, plusieurs études montrent que les sillons intrapariétaux s'activent non seulement lors de la comparaison de deux nombres non symboliques, mais également lors de la comparaison de deux nombres symboliques (p. ex. Thioux *et al.*, 2005). En somme, nous sommes aptes à accueillir le nombre sous sa forme symbolique puisque, de prime abord, nous détenons le sens des nombres. Il semble donc important que, pour favoriser le recyclage des sillons intrapariétaux, les élèves établissent des liens entre le sens des nombres et la représentation non symbolique des nombres.

### 1.3 Le développement de l'inhibition

Tel qu'évoqué précédemment, plusieurs chercheurs ont fait ressortir l'importance de deux prérequis à l'apprentissage des mathématiques : le développement du sens des nombres ainsi que l'établissement de liens entre le nombre sous sa forme non symbolique et sous sa forme symbolique (De Smedt, Noël, Gilmore et Ansari, 2013; Dehaene, 2011; Dehaene *et al.*, 2003;

Deshaies et al., 2015; Nosworthy et al., 2013; Piazza et al., 2014; Vogel, Goffin et Ansari, 2015). En plus de ces deux prérequis, des études suggèrent qu'il faille parfois développer l'inhibition, c'est à dire la capacité à résister à certains automatismes de la pensée pour apprendre (Houdé, 2014). Plus précisément, cette capacité se définit comme étant une forme de contrôle cognitif et comportemental permettant aux sujets de résister aux habitudes, aux automatismes, aux tentations, aux distractions ou aux inférences, et de s'adapter aux situations complexes en faisant preuve de flexibilité (Houdé, 2000). Plusieurs études ont déjà fait ressortir l'importance de l'inhibition dans certains apprentissages scolaires (Lubin, Lanoë, Pineau et Rossi, 2012; Moutier, Angeard et Houdé, 2002; Moutier et Houdé, 2003; Rossi et al., 2015).

Au préscolaire, les élèves auraient besoin de la capacité d'inhibition du cerveau dans certaines tâches numériques afin de bloquer leurs réponses perceptuelles intuitives erronées pour acquérir, par exemple, le principe de conservation du nombre (Piaget, 1952, Houdé et al., 2011). L'inhibition permettrait notamment aux élèves d'âge préscolaire de ne pas se laisser bernier par un « piège » visuospatial tel que la longueur de la distribution d'un ensemble d'objets par rapport à son nombre réel. Selon cet exemple, les élèves du préscolaire pourraient avoir tendance à penser que plus les objets occupent d'espace, plus leur nombre est élevé. Il s'avère donc possiblement bénéfique d'offrir à ces élèves une intervention en mathématiques qui tiendrait compte de ce besoin d'inhibition.

Une étude d'Houdé et al. (2011) illustre bien l'importance de l'inhibition dans l'apprentissage des nombres. Elle montre que l'acquisition de la conservation du nombre provoque chez les élèves non seulement une augmentation de l'activité cérébrale dans les sillons intrapariétaux, mais également une augmentation de l'activité du cortex préfrontal ventrolatéral, une région reconnue pour son rôle clé dans le contrôle inhibiteur (Lubin et al., 2013; Houdé et al., 2011). En fait, dans ce cas-ci, il semblerait que, en plus de développer les aptitudes numériques impliquant les sillons intrapariétaux, il soit nécessaire de développer chez les élèves la capacité à inhiber ou à contrer leur intuition visuospatiale spontanée (mais inefficace dans le contexte d'une tâche liée à la conservation du nombre) voulant que la longueur de la distribution d'un ensemble d'objets soit représentative de sa quantité.

En résumé, en plus de développer chez les élèves le sens des nombres et les liens entre les nombres sous leurs formes non symbolique et symbolique, il s'avère probablement bénéfique d'enseigner des stratégies d'inhibition aux élèves afin de mieux les préparer à l'apprentissage de l'arithmétique, et ce, dès le préscolaire (Deshaies et al., 2015; Houdé et al., 2011; Lubin et al., 2012).

Dans le but d'identifier les pistes d'intervention pouvant contribuer, chez les élèves du préscolaire, au développement de ces trois prérequis<sup>1</sup>, cet article présente une recension des écrits neuroscientifiques portant sur les programmes

d'intervention au préscolaire visant explicitement à travailler l'un ou plusieurs de ces prérequis.

## 2. Méthodologie

Étant donné que le concept d'inhibition évoqué précédemment découle essentiellement d'études menées dans une perspective neuroscientifique, cette recension a été limitée aux interventions conçues en fonction d'hypothèses neuroscientifiques afin de maximiser les chances de trouver des interventions incluant la prise en compte de l'importance du développement de l'inhibition.

En tout, trois principaux critères ont guidé la recherche bibliographique : (a) les étapes du programme ont-elles été explicitement conçues en fonction d'hypothèses neuroscientifiques? (b) le programme vise-t-il au moins l'un des trois prérequis identifiés? et (c) le programme est-il destiné à des élèves du préscolaire régulier?

Dans un premier temps, notre recherche s'est concentrée sur les programmes d'intervention répondant de façon affirmative aux trois critères, ainsi qu'à une clientèle préscolaire régulière. Une recherche au moyen des bases de données PsycINFO, ERIC et Pubmed, en utilisant notamment les mots clés suivants : *préscolaire, arithmétique, intervention mathématique, sens des nombres, nombre non symbolique ET symbolique ET (inhibition OU contrôle cognitif)* et leur équivalent en anglais (*preschool, arithmetic, mathematical intervention, number sense, nonsymbolic AND symbolic number AND inhibition OR cognitive control*), n'a pas permis d'identifier d'article qui répondait de façon affirmative aux trois critères. Nous avons donc été contraints de modifier ceux-ci.

Dans un second temps, la recherche bibliographique a été modifiée afin d'exclure les termes *contrôle cognitif* et *inhibition*. La recherche ciblait donc seulement les articles portant sur des programmes d'intervention visant à développer le sens des nombres et/ou l'établissement de liens entre ce sens des nombres et les nombres symboliques. Les mots clés suivants ont été utilisés : *intervention mathématique, arithmétique, préscolaire, sens des nombres, nombre non symbolique ET symbolique* et leur équivalent en anglais (*preschool, arithmetic, mathematical intervention, number sense, nonsymbolic AND symbolic number*).

Bien que 22 programmes et outils aient été analysés, seulement 5 pouvaient être retenus puisqu'ils portaient sur des interventions applicables au préscolaire dont les étapes du programme ont été explicitement conçus en fonction d'hypothèses neuroscientifiques, et qu'ils visaient le développement du sens des nombres et/ou l'établissement de liens entre ce sens des nombres et les nombres symboliques. Tel que mentionné précédemment, aucun programme d'intervention ne visait explicitement le développement de l'inhibition pour une clientèle préscolaire régulière.

<sup>1</sup> Pour plus de détails sur ces prérequis, se référer à la revue de littérature de Deshaies, Miron et Masson (2015).



Chaque programme a été analysé en fonction de son apport concernant les prérequis mentionnés précédemment. Ainsi, les programmes d'intervention *Number Race*, *Graphogame*

*Maths*, *Number Worlds*, *Fostering At-Risk Preschoolers Number Sense* et *FASTT Math* feront l'objet d'une analyse dans cet article.

**Tableau 1.** Programmes ou outils d'intervention en mathématiques destinés à une clientèle préscolaire

Programmes ou outils d'intervention en mathématiques au préscolaire	Référence à des recherches en neurosciences	Vise le sens des nombres	Vise le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique	Liens Web
<i>Academy of Math Autoskill</i>		X	X	<a href="https://eps.schoolspecialty.com/rti/rti-programs">https://eps.schoolspecialty.com/rti/rti-programs</a>
<i>AMP Math System</i>		X	X	<a href="http://www.pearsonschool.com/index.cfm?locator=PSZ16d&amp;PM_DbProgramId=55845">http://www.pearsonschool.com/index.cfm?locator=PSZ16d&amp;PM_DbProgramId=55845</a>
<i>Anywhere Learning System</i>		X	X	<a href="https://www.fueeducation.com/curriculum/curriculum-focus/intervention-remediation/anywhere-learning-system.html">https://www.fueeducation.com/curriculum/curriculum-focus/intervention-remediation/anywhere-learning-system.html</a>
<i>Accelerated Math</i>		X	X	<a href="http://www.renaissance.com/products/accelerated-math">http://www.renaissance.com/products/accelerated-math</a>
<i>Breakaway Math Intervention package</i>		X	X	<a href="http://www.triumphlearning.com/what-we-offer/mathematics/breakaway-math-15-student-intervention-kit.html">http://www.triumphlearning.com/what-we-offer/mathematics/breakaway-math-15-student-intervention-kit.html</a>
<i>Corrective Mathematics</i>		X	X	<a href="http://www.nifdi.org/programs/mathematics/corrective-math">http://www.nifdi.org/programs/mathematics/corrective-math</a>
<i>Destination Math</i>		X	X	<a href="http://www.hkgie.com/lms/l.htm">http://www.hkgie.com/lms/l.htm</a>
<i>FASTT Math</i>	X	X	X	<a href="http://www.scholastic.com/fastt-math/">http://www.scholastic.com/fastt-math/</a>
<i>Fostering at-risk preschoolers number sense</i>	X	X	X	<a href="http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10409280802206619?journalCode=heed20#_VX3dsthRH4g">http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10409280802206619?journalCode=heed20#_VX3dsthRH4g</a>
<i>Get Ahead Math</i>		X	X	<a href="https://oup.com.pk/school-textbooks/mathematics/get-ahead-mathematics.html">https://oup.com.pk/school-textbooks/mathematics/get-ahead-mathematics.html</a>
<i>Graphogame Math</i>	X	X	X	<a href="http://www.lukimat.fi/etusivu">http://www.lukimat.fi/etusivu</a>
<i>I Can Learn</i>			X	<a href="http://www.icanlearn.com/">http://www.icanlearn.com/</a>
<i>iSucceed Math</i>		X	X	<a href="http://higher.ed.mheducation.com/sites/0070973385/student_view0/succeed_in_math.html">http://higher.ed.mheducation.com/sites/0070973385/student_view0/succeed_in_math.html</a>
<i>Math Intervention Curriculum</i>		X	X	<a href="http://www.camelotlearning.com/math-curriculum">http://www.camelotlearning.com/math-curriculum</a>
<i>Math Navigator</i>		X	X	<a href="http://www.pearsonschool.com/index.cfm?locator=PS1mNe">http://www.pearsonschool.com/index.cfm?locator=PS1mNe</a>
<i>Math Steps</i>		X	X	<a href="http://eduplace.com/math/mathsteps/7/">http://eduplace.com/math/mathsteps/7/</a>
<i>Math Triumphs</i>		X	X	<a href="http://www.mhschool.com/math/mathtriumphs/index.html">http://www.mhschool.com/math/mathtriumphs/index.html</a>
<i>Number Power</i>		X	X	<a href="https://www.collaborativeclassroom.org/number-power">https://www.collaborativeclassroom.org/number-power</a>
<i>Number Worlds</i>	X	X	X	<a href="http://www.sranumberworlds.com/">http://www.sranumberworlds.com/</a>
<i>Side Streets Math</i>		X	X	<a href="http://www.internetatschools.com/Articles/News/Breaking-News/The-Princeton-Review-Launches-Assessment-Center-59135.aspx">http://www.internetatschools.com/Articles/News/Breaking-News/The-Princeton-Review-Launches-Assessment-Center-59135.aspx</a>
<i>The Number Race</i>	X	X	X	<a href="http://thenumberrace.com/nr/home.php">http://thenumberrace.com/nr/home.php</a>
<i>V math</i>		X	X	<a href="http://www.voyagersopris.com/curriculum/subject/math/vmath-third-edition">http://www.voyagersopris.com/curriculum/subject/math/vmath-third-edition</a>

### 3. Programmes d'intervention en mathématiques visant le développement d'un ou plusieurs des trois prérequis identifiés

Dans cette section, les études portant sur les cinq programmes d'intervention sont présentées et analysées.

#### 3.1 *Number Race*

Le programme *Number Race* est un logiciel gratuit conçu pour les élèves dyscalculiques et basé sur l'idée que la dyscalculie serait associée à un déficit de base quant au sens des nombres ou à l'accès au nombre sous sa forme symbolique (Wilson et al., 2006). Le logiciel permet d'entraîner les élèves dans des tâches de comparaisons numériques divertissantes, en présentant des problèmes adaptés au niveau de compétence de chacun. Il permet un espace d'apprentissage multidimensionnel composé de trois types de difficultés : la distance numérique entre les objets présents à l'écran, le délai de réponse et la complexité conceptuelle (nombre non symbolique en lien avec le traitement des opérations symboliques plus complexes). Le logiciel offre également la possibilité de maintenir la difficulté d'une tâche dans la zone proximale de développement de l'élève, tout en minimisant l'échec, en maintenant un niveau de difficulté adéquat (déterminé selon la réussite de l'élève) et en fournissant ainsi un double niveau de stimulation cognitive nécessaire pour un progrès optimal (apprentissage multidimensionnel et dans la zone proximale de développement de l'élève).

Le logiciel vise à développer deux des prérequis mentionnés précédemment, soit le sens des nombres et les liens entre le sens des nombres et les nombres symboliques. En plus de travailler les deux premiers prérequis, ce logiciel permet la conceptualisation et l'automatisation des faits numériques de base. Lors du jeu, deux écrans sont proposés à l'élève; une lui appartenant et l'autre appartenant à son adversaire. Une quantité de jetons apparaît sur les deux écrans et l'élève doit déterminer rapidement qui en a le plus grand nombre (lui ou son adversaire). Une fois la réponse trouvée, une rétroaction est offerte à l'élève et la quantité de jetons est placée sur une bande de nombres. Par le jeu, l'élève est amené à utiliser ses connaissances sur le sens des nombres (déterminer quel ensemble a la plus grande quantité), puis à établir le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique lorsque les jetons sont remis sur la bande de nombres.

Deux recherches permettent de mieux comprendre l'impact du programme *Number Race* chez les élèves participants. Wilson et al. (2006) ont utilisé le logiciel dans le cadre d'une formation adaptative portant sur la comparaison numérique. Cette recherche a été menée auprès de neuf élèves âgés entre sept et neuf ans ayant des difficultés en mathématique (élèves dyscalculiques). L'intervention réalisée auprès des élèves était de 30 minutes par jour, quatre fois par semaine, sur une période de cinq semaines. Les élèves ont été évalués avant et après l'intervention sur leur performance dans des tâches numériques fondamentales : comptage, transcodage (passage du nombre oral au nombre symbolique/arabe), compréhension de la base

dix, énumération, addition, soustraction et comparaison numérique symbolique et non symbolique. Le TEDI-MATH (Van Nieuwenhoven, Grégoire et Noël, 2005) ainsi que des tâches de type maison sur le comptage, le transcodage et la compréhension de la base dix ont été utilisés pour évaluer le niveau de performance des élèves.

Suite à l'utilisation du logiciel *Number Race*, les élèves ont vu leur performance s'améliorer lors de tâches en lien avec le sens des nombres. Les délais de subitisation et de comparaison numérique ont diminué de plusieurs centaines de millisecondes. La performance à une tâche de soustraction a augmenté de 23 % après l'utilisation du logiciel. Par contre, bien que cela ne fasse pas partie des trois prérequis essentiels, cette recherche a permis de faire ressortir que la performance sur les tâches de compréhension de l'addition et de la base dix ne se s'est pas améliorée au cours de la période à l'étude.

Bien que ces résultats aient démontré des effets positifs en lien avec les deux premiers prérequis, il est intéressant de se demander si cette amélioration persiste dans le temps, ce qu'un suivi longitudinal plus approfondi des résultats aurait pu révéler. De plus, la présence d'un groupe contrôle aurait permis de comparer l'amélioration des élèves ayant suivi l'intervention par rapport à ceux qui ne l'ont pas suivi.

Une autre étude impliquant cette fois 53 élèves du préscolaire issus de familles socioéconomiquement faibles, c'est-à-dire provenant des régions codées « zone prioritaire d'éducation » (zone associée à un taux élevé d'échec scolaire), a été menée par Wilson, Dehaene, Dubois et Fayol (2009) auprès d'élèves issus de familles d'immigrants et dont la langue maternelle n'est pas le français. La recherche a eu lieu à l'école, durant les heures de classe, sur une période de 14 semaines. Le temps d'intervention était séparé en deux parties : mathématiques et lecture. Les séances d'instruction s'effectuaient en groupe de trois élèves pour les mathématiques et de deux élèves pour la lecture, le tout encadré par un des chercheurs. Lors de l'intervention, chaque élève avait un total de six séances avec le logiciel de mathématiques et quatre avec le logiciel de français. Les sessions duraient 20 minutes chacune.

Préalablement à la tenue de l'intervention, les élèves ont d'abord répondu à un prétest. Pour la première moitié de celle-ci, un groupe a utilisé *Number Race* et l'autre groupe, un logiciel en français pour la lecture. Les élèves ont ensuite été évalués à mi-étude. Suite à cette évaluation, pour la deuxième moitié de l'intervention, les logiciels ont été échangés entre les deux groupes. Finalement, un posttest, identique au prétest, a été effectué. L'ensemble des tests de cette recherche est constitué de tests papier de 30 minutes ayant pour contenu : écriture et compréhension verbale des nombres symboliques, comparaison des nombres non symboliques, association de nombres d'un à neuf sous les formats donnés, comptage verbal et addition.

Les résultats démontrent que les élèves se sont améliorés au niveau des tâches traditionnelles donnant accès au sens des nombres, soit à la comparaison numérique des nombres. Les

résultats des tâches suggèrent que l'amélioration réside dans l'accès au sens des nombres et non dans le sens des nombres en soi. Ainsi, le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques s'améliorerait grâce à *Number Race*, mais pas nécessairement le sens des nombres lui-même.

En résumé, bien que le programme *Number Race* ait permis une amélioration du lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques et qu'il travaille le sens des nombres, ce logiciel ne vise pas un apprentissage explicite par inhibition.

### 3.2 *Graphogame Maths*

*Graphogame Maths* est un programme d'intervention informatisé sous forme de jeu qui vise les ensembles de nombres exacts par la correspondance orale des motifs visuels et symboliques. Ce programme développe le sens des nombres ainsi que le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques (Räsänen et al., 2009). L'idée principale de celui-ci est de permettre aux élèves de créer des relations entre les nombres (par exemple, trois et quatre font sept, deux et cinq font sept également) en leur demandant d'associer des petits ensembles d'objets avec le nombre correspondant. Ce programme est basé sur l'idée que la maîtrise de l'arithmétique constitue un obstacle commun chez les enfants avec des difficultés au niveau de la langue (Zhang et al., 2014). *Graphogame Maths* favorise l'apprentissage des nombres, notamment le lien entre le nombre arabe d'un à neuf et le nombre dit oralement. Ce jeu offre également une rétroaction et contient des fonctions d'adaptation.

Le jeu *Graphogame Maths* fournit toujours une information auditive du nombre. La tâche de l'élève est de sélectionner une figure correspondant au nombre dit oralement, parmi deux à cinq options visuelles. Le nombre dit oralement est toujours un mot nombre (par exemple : cinq), tandis que les options visuelles à choisir sont représentées comme des ensembles de motifs de points ou de symboles numériques ou d'additions et de soustractions. Les cibles visuelles tombent du haut de l'écran et la vitesse de chute varie en fonction de la réussite de l'élève face aux nombres précédents.

La différence au niveau du contenu mathématique entre les deux interventions est que *Number Race* souligne l'importance du processus de comparaison approximatif des nombres alors que *Graphogame Maths* se concentre uniquement sur les nombres exacts et les symboles numériques (Räsänen et al., 2009). La différence au niveau de l'organisation du jeu réside dans la manière dont ils abordent l'apprentissage numérique. *Number Race* commence par une comparaison des motifs de points aléatoires avec une grande différence numérique et la solution ne nécessite pas de médiation verbale. *Graphogame Maths* commence à partir de petits ensembles de motifs organisés qui sont numériquement proches les uns des autres. Pour réussir l'activité, l'élève doit associer la quantité présentée et sa correspondance avec le nombre dit oralement.

La recherche de Räsänen et al. (2009) présente les résultats d'une intervention assistée par ordinateur sur les

compétences numériques des élèves du préscolaire. Cette recherche fut menée auprès de 30 élèves du préscolaire, provenant de 12 écoles différentes, identifiés comme étant en difficulté d'apprentissage par leur enseignant. Ces élèves furent distribués aléatoirement dans deux groupes d'intervention, soit *Number Race* et *Graphogame Maths*. Afin d'effectuer des comparaisons, un groupe contrôle équivalent a été créé en jumelant chaque élève désigné du groupe d'intervention à un élève de la même classe, ayant une date d'anniversaire similaire à la sienne.

Le premier groupe a joué au jeu *Number Race*, tandis que le second groupe a joué au jeu *Graphogame Maths*. Les deux groupes ont participé à une intervention quotidienne pour une durée de trois semaines à raison de 10 à 15 minutes par jour. La performance des élèves au niveau de la capacité à compter verbalement, de la comparaison de nombre, du dénombrement, de l'arithmétique et de la dénomination rapide d'un nombre de points a été mesurée avant et après l'intervention. Les résultats des deux interventions montrent une amélioration similaire des compétences des élèves pour ce qui est de la comparaison des nombres, par rapport à un groupe témoin ( $n = 30$ ).

Cette étude démontre l'importance d'une intervention quotidienne en lien avec le sens des nombres et travaillant le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques. Celle-ci permet de constater que des activités lors desquelles la comparaison de nombres est présentée sous sa forme non symbolique et/ou la comparaison de nombres présentés sous leurs formes symbolique et orale, permettent une meilleure comparaison des nombres. Cependant, ce résultat positif est issu d'une recherche menée auprès d'élèves ayant des difficultés d'apprentissage et non auprès d'élèves du régulier.

Bien que le programme *Graphogame Maths* ait permis une amélioration du lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques (surtout l'association avec le nombre sous la forme verbale) et qu'il travaille le sens des nombres, ce logiciel ne vise pas un apprentissage explicite par inhibition.

### 3.3 *Number Worlds*

Selon Griffin (2004b), les sciences cognitives offrent un aperçu de la façon dont les jeunes élèves peuvent mieux apprendre les mathématiques. Ainsi, dans le programme *Number Worlds* (Griffin, 2004a), le sens des nombres est défini en termes de connaissances primaires, et prend assise auprès des recherches en neurosciences (Griffin, 2002; Griffin et Case, 1997). Ce programme met fortement l'accent sur l'aide aux élèves afin que ceux-ci intègrent les connaissances implicites et explicites. Les activités proposées (des jeux qui exposent les enfants à différentes représentations du nombre) encouragent les élèves à construire différentes représentations du nombre en les exposant à des représentations explicites du nombre et impliquent également une forte composante verbale lors de la relation entre le nombre symbolique et sa quantité. Ainsi, les élèves sont encouragés à raisonner à partir de la récupération des faits numériques et du sens des nombres.

De plus, ce programme met l'accent sur l'anticipation des réponses attendues pour chaque problème (Griffin, 2004a), ce qui va au-delà des trois prérequis.

Cinq principes pédagogiques sont au cœur de ce programme. Le premier est que l'élève doit construire ces nouveaux apprentissages à partir de ce qu'il connaît déjà : le programme évalue les connaissances actuelles de l'élève par l'entremise d'un prétest conçu par les auteurs. Ensuite, l'ensemble des activités mises à la disposition de l'élève cible plusieurs niveaux d'apprentissage, ce qui permet à l'ensemble des élèves de vivre un défi à sa mesure. De plus, toutes les activités sont séquencées et conviennent à plusieurs niveaux de développement afin que tous y participent. Le deuxième principe est de suivre la progression naturelle de développement lors de la sélection de nouvelles connaissances à enseigner (par exemple, un élève de quatre ans peut être placé devant des tâches nécessitant le comptage et la cardinalité des nombres). Le troisième principe est d'enseigner l'aisance en calcul ainsi que la compréhension conceptuelle. Le quatrième principe est de fournir de nombreuses opportunités de manipulation concrète, de résolutions de problèmes et de communication aux élèves. Enfin, le dernier principe est d'exposer les élèves au plus grand nombre de façons différentes de représenter les nombres et de discuter de leurs utilités dans la société. En somme, ce programme permet de travailler le sens des nombres ainsi que le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques, et permet également à l'élève d'acquérir d'autres habiletés et connaissances.

Le programme *Number Worlds*, élaboré par l'équipe de Griffin (2004a), s'appelait à l'origine *RightStart*. Lors d'une étude menée sur plusieurs années, les populations à risque d'élèves qui ont reçu le programme *Number Worlds* au préscolaire ont réalisé des gains importants sur la connaissance des nombres et une augmentation de la moyenne de la performance en mathématiques, lors d'une étude de suivi lors de la 1<sup>re</sup> année (Case et al., 1996; Griffin, Case et Siegler, 1994). Par contre, les groupes contrôles des élèves à risque qui ont été suivis lors de cette étude, et qui ont participé à une variété d'autres programmes en mathématiques, ont continué à moins bien performer. Bien qu'ils aient fait des progrès lors du préscolaire et de leur 1<sup>re</sup> année, le retard de développement qui était présent au début du préscolaire l'était encore face aux mesures d'apprentissage et de réussite en mathématiques à la fin de la 1<sup>re</sup> année.

En résumé, le programme *Number Worlds* a lui aussi permis des gains positifs sur les plans du sens des nombres et du lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques. Par contre, bien qu'incluant une partie liée à l'anticipation des réponses attendues, ce qui correspond à du contrôle cognitif, ce programme n'inclut pas un enseignement explicite de stratégies liées à l'inhibition, et la clientèle cible est celle des élèves à risque.

### 3.4 Fostering At-Risk Preschoolers Number Sense

*Fostering At-Risk Preschoolers Number Sense* est un programme d'intervention au préscolaire développé et évalué

à partir des recherches sur le sens des nombres (Baroody, 1985; Baroody, Lai et Mix, 2006; Baroody et Rosu, 2006; Howell et Kemp, 2004; Jordan et al., 2007). Ce programme est orchestré selon le fait qu'habituellement les enfants progressent à travers trois phases durant l'apprentissage de la compréhension des nombres (Kilpatrick, Swafford et Findell, 2001) :

- a) dénombrer à partir de stratégies utilisant des objets ou le comptage verbal pour déterminer la réponse;
- b) utiliser des stratégies de raisonnement au moyen de faits numériques connus et de leurs relations pour déduire une solution à des combinaisons d'inconnus;
- c) récupérer en mémoire des faits numériques pour répondre à une question.

Dans cette perspective, les phases un et deux servent de fondement aux élèves afin qu'ils développent plus tard des stratégies de récupération en mémoire des faits numériques (Baroody et al., 2006). Afin de permettre aux élèves l'association entre l'expression numérique et sa réponse, cette intervention est renforcée par la pratique répétée, une stratégie souvent soutenue par les recherches en neurosciences (Dehaene, 1997; Perlmutter, 1986). Ce programme travaille le sens des nombres ainsi que le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques, mais il va aussi au-delà de l'apprentissage des prérequis.

L'intervention consiste en grande partie à vivre des jeux ludiques permettant d'appliquer plusieurs concepts ou compétences mathématiques. Par exemple, les élèves doivent lancer un ou deux dés et dénombrer le nombre de points. Ensuite, ils doivent enlever autant de taches présentes sur les animaux que le nombre de points. Le premier qui enlève toutes les taches des animaux gagne. Ainsi, par différents jeux, l'intervention permet de travailler la reconnaissance verbale, le nombre sous sa forme symbolique et non symbolique en associant les points sur les dés à des nombres (par exemple : ●● 3). Par le jeu, cette intervention permet également le travail sur les processus d'addition et de soustraction, encore une fois avec l'utilisation des dés.

Celui-ci a été testé auprès de 80 élèves fréquentant deux écoles maternelles publiques accueillant des élèves à risque. Au début de l'étude, les participants étaient âgés de 4 à 5,25 ans. Afin de déterminer le niveau de compétence initial des élèves, l'équipe de Baroody, Eiland et Thompson (2009) a utilisé le TEMA-3 (Ginsburg et Baroody, 2003), un test diagnostique conçu pour les élèves âgés de 3 ans et 0 mois jusqu'à 8 ans et 11 mois. Ce test a été utilisé pour mesurer la réussite initiale des élèves et évaluer leur progrès. Il a aussi été utilisé pour déterminer les forces et les faiblesses des élèves ainsi que pour guider l'intervention spécifique. Le TEMA-3 mesure les compétences numériques des élèves, la comparaison de nombre, le nombre sous sa forme orale, la maîtrise des faits numériques, les compétences de calcul et la compréhension de concepts.

L'intervention a eu lieu tout au long de l'année scolaire, à des dates différentes selon les différentes phases de l'étude. Sur



une période de quatre semaines (septembre et octobre), chaque participant a été prétesté individuellement pour le sens des nombres en utilisant une version basée sur le jeu de la TEMA-3 (Ginsburg et Baroody, 2003). Suite à ce prétest, dix semaines d'intervention ont suivi, portant sur le sens des nombres (octobre à janvier). Puis, un second prétest a été administré individuellement sur une période de deux semaines (janvier et février), mais cette fois-ci à l'aide d'un support informatique et traitant du répertoire mémorisé. Suite à celui-ci, les participants ont été affectés au hasard à l'une des quatre conditions de formation du répertoire mémorisé. Il est à noter qu'aucun groupe contrôle n'a été utilisé. Après 10 semaines de formation sur le calcul mental (février à avril), un posttest était administré à chaque participant sur la maîtrise des faits numériques (addition et soustraction) et l'aisance avec les nombres en général par le biais du TEMA-3 en mai. Les résultats montrent une amélioration significative au TEMA-3 des participants par rapport aux résultats entre le prétest et le post-test ( $z = 6,222; p < 0,001$ ). De plus, la moyenne des élèves au prétest a plus que doublé lors du post-test.

En somme, le programme *Fostering At-Risk Preschoolers Number Sense* créé par Baroody, Eiland et Thompson (2009) vise une clientèle préscolaire d'élèves en difficulté d'apprentissage. Ce programme a su démontrer des gains positifs chez ce type d'élèves. En plus de viser le sens des nombres et le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques, ce programme vise également l'apprentissage des faits numériques de base. Cependant, celui-ci ne vise pas un enseignement explicite de l'inhibition et n'a pas une clientèle préscolaire régulière.

### 3.5 FASTT Math

FASTT Math est un programme, sous forme de jeu informatisé, qui vise l'apprentissage des faits numériques de l'addition, la soustraction, la multiplication et la division. Le programme commence par une évaluation informatisée de la connaissance de l'élève par rapport aux faits numériques de base, afin d'identifier les faits non maîtrisés par un enregistrement à la fois de la précision, mais également la demande d'une réponse selon un temps déterminé. Les problèmes auxquels l'élève doit répondre sont présentés visuellement et l'élève doit saisir à la fois le fait numérique et la solution (par exemple, pour faire avancer une voiture de course rapidement et gagner la course, l'élève doit résoudre des problèmes d'addition; une bonne réponse fait avancer la voiture). Le programme utilise la réponse contrôlée de temps (1,25 s), ce qui oblige les élèves à abandonner des stratégies inefficaces et à récupérer rapidement des réponses à partir du réseau de connaissances déclaratives; ce qui fait référence à la flexibilité mentale (*shifting*). En fait, cette fonction exécutive consiste à percevoir les éléments de la situation sous un nouvel éclairage et conduit dans certains cas, à découvrir la solution (Clément, 2001). FASTT Math est un programme qui prend appui sur la recherche en neurosciences, en ce qui concerne les changements dans les modèles d'activation du cerveau après l'apprentissage de faits mathématiques (Kaufmann et al., 2005)

et le passage de la transformation des régions quantitatives du cerveau à celles liées à l'automatisation de la récupération des faits numériques et la pratique (Butterworth, 1999; Chochon, Cohen, van de Moortele et Dehaene, 1999; Dehaene et al., 2003). L'accent mis sur l'automatisation est conforme avec le modèle triple-code tel que présenté par Dehaene (Cohen et Dehaene, 1995; Dehaene, 2011; Dehaene et al., 2003). De plus, FASTT Math insiste sur la relation entre les symboles numériques et leurs représentations verbales associées; ce programme engage donc le système verbal. Celui-ci se base sur l'apprentissage du sens des nombres et du lien entre le nombre non symbolique et symbolique afin d'amener les élèves vers l'acquisition des faits numériques. Cependant, bien que deux des prérequis soient pris en compte, la visée première de ce programme n'est pas l'apprentissage de ceux-ci, mais bien l'apprentissage des faits numériques.

Une recherche a été menée par Hasselbring, Goin et Bransford (1988) auprès de plus de 400 élèves utilisant le programme FASTT Math pour développer la maîtrise des faits numériques de base. Un prétest et un posttest ont été utilisés pour mesurer le niveau de maîtrise des faits numériques d'un échantillon de 160 élèves (7-14 ans). Les chercheurs ont réparti les élèves en difficulté d'apprentissage dans le groupe d'intervention ou dans le groupe contrôle. Le groupe expérimental a reçu une intervention quotidienne informatisée sur l'apprentissage des faits numériques, alors que le groupe contrôle a seulement reçu l'enseignement mathématique prévu dans ses activités typiques en classe. Un groupe de comparaison d'élèves dits réguliers était aussi inclus dans cette recherche. Hasselbring et al. (1988) ont rapporté des données descriptives indiquant que le groupe expérimental ayant des difficultés d'apprentissage a augmenté la maîtrise du nombre de faits numériques de 45 à 73 % par rapport au prétest. Durant la même période, le groupe contrôle d'élèves en difficulté d'apprentissage n'a montré aucun changement sur la maîtrise de faits numériques, et les élèves dits réguliers ont augmenté en moyenne la maîtrise de seulement huit faits numériques supplémentaires. Ainsi, les élèves en difficulté d'apprentissage ont acquis le double de celui de leurs pairs qui n'étaient pas en difficulté d'apprentissage. Bien que cette recherche n'indique que des résultats positifs pour FASTT Math, certaines limites sont présentes, entre autres le manque d'informations concernant le type spécifique de trouble(s) d'apprentissage ou les caractéristiques de base des groupes.

En somme, le programme FASTT Math vise l'apprentissage des faits numériques de base. Bien que celui-ci prenne appui sur les recherches en neurosciences et qu'il amène les élèves à faire le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques, l'intention première de ce programme est la maîtrise des faits numériques de base. Toutefois, nous avons pu constater que le programme permet à l'élève d'abandonner ses stratégies inefficaces (flexibilité mentale). Toutefois, il n'y a pas d'enseignement explicite des stratégies à utiliser lors des situations problématiques. C'est pour cette raison que nous mentionnons que ce dernier ne travaille pas de façon explicite l'inhibition.

#### 4. Discussion

À la lumière de notre recension d'écrits, l'analyse détaillée des divers programmes et outils d'intervention disponibles en mathématiques se basant sur les recherches en neurosciences montre qu'aucun ne traite les trois prérequis essentiels en mathématiques, soit le sens des nombres, le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques et l'inhibition, tout en étant destiné à une clientèle préscolaire régulière. En effet, bien que plusieurs programmes d'intervention en mathématiques au préscolaire touchent le sens des nombres (Clements, DiBiase et Sarama, 2004; Griffin, 2004a; Piazza et al., 2004; Wilson et al., 2006) ou le lien entre le sens initial des nombres et la représentation symbolique des nombres (Baroody et al., 2009; Baroody, Eiland, Purpura et Reid, 2012; Clements et Sarama, 2008; Clements, Sarama, Wolfe et Spitler, 2013; Griffin, 2004a), aucun ne cible, en même temps que les deux autres, le développement explicite de l'inhibition. Bien qu'une composante du programme FASTT Math travaille la flexibilité mentale, nous considérons qu'il s'agit de processus différents de ceux associés à l'inhibition, puisque le jeu ne dit pas à l'élève pourquoi il n'a pas obtenu une bonne réponse et quelle devrait être la stratégie efficace à utiliser.

Considérant qu'aucun des programmes examinés ne cible les trois prérequis essentiels, que l'éducation préscolaire doit fournir une base solide pour les futurs apprentissages des élèves (Jordan et al., 2007) et que le niveau de compétences en mathématiques lors de l'entrée à l'école primaire prédit l'éventuelle réussite scolaire des élèves (Duncan et al., 2007), une proposition de création d'une intervention au préscolaire visant non seulement le développement du sens des nombres et du lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques, mais également le développement de l'inhibition pourrait s'avérer pertinente. En fait, il ne s'agirait pas seulement d'ajouter une composante « inhibition » à l'intérieur des programmes existants, mais bien de réfléchir l'intervention en termes d'enseignement par inhibition pour amener les élèves à détecter et à contrer les pièges mathématiques (par exemple : croire que plus une rangée de jetons est longue, plus ce nombre est élevé) tout en travaillant le sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique. Une intervention permettant cet ajout pourrait représenter un avantage considérable pour l'enseignement des mathématiques au préscolaire.

#### 5. Conclusion

Tel que discuté, en étudiant les changements qui se déroulent dans le cerveau lors de l'acquisition des compétences arithmétiques, il est possible de mettre de l'avant qu'au moins trois prérequis seraient importants pour bien préparer les élèves à l'apprentissage de l'arithmétique : le développement du sens des nombres, l'établissement de liens explicites entre le sens des nombres et les nombres symboliques et le développement de la capacité d'inhiber certains automatismes de la pensée qui peuvent biaiser les raisonnements numériques des élèves.

Afin d'identifier les interventions permettant de consolider ces trois prérequis chez les élèves du préscolaire, cet article identifie et discute des études ayant porté sur des programmes d'intervention visant le développement de l'un ou l'autre des prérequis. Parmi 22 programmes d'intervention identifiés, seulement 5 s'appuient sur les neurosciences et visent le développement du sens nombre et/ou du lien entre le sens du nombre et les nombres symboliques.

Toutefois, cette recherche comporte quelques limites. Sur le plan des critères de sélection des différents programmes, notre recension des écrits s'est limitée aux interventions conçues en fonction d'hypothèses neuroscientifiques. De plus, notre recherche s'est limitée aux élèves du préscolaire régulier. Il serait intéressant de refaire cette recension en excluant ces contraintes puisqu'aucune intervention ne cible explicitement l'inhibition et la clientèle visée.

Somme toute, comme mentionné précédemment, un fait saillant de cette recension des écrits scientifiques est qu'aucun des programmes identifiés ne vise, en plus des deux prérequis discutés précédemment, le développement explicite de l'inhibition, c'est-à-dire la capacité à contrôler ou à bloquer certains automatismes de la pensée pouvant nuire au raisonnement numérique. Ce constat suscite une réflexion quant à la pertinence de poursuivre la recherche visant la conception, la mise en application et l'évaluation d'un programme d'intervention visant non seulement le développement du sens des nombres et l'établissement de liens entre le sens des nombres et les nombres symboliques, mais également le développement de l'inhibition pour des élèves du préscolaire régulier. Tout comme mentionné précédemment, il ne s'agirait pas seulement d'ajouter une composante inhibition, mais bien de concevoir l'intervention afin d'amener les élèves à contrer leurs fausses intuitions (inhibition) qui peuvent nuire à leur compréhension des mathématiques. Pour répondre à cette lacune, un projet de recherche a donc été conduit afin de créer, expérimenter et valider une intervention en mathématiques au préscolaire travaillant les trois prérequis. Ce projet fait l'objet d'un deuxième article dans ce numéro thématique « Effet d'une intervention pédagogique visant l'apprentissage du contrôle inhibiteur sur le développement de prérequis liés à l'arithmétique chez les élèves du préscolaire âgés de 5 ans ».

#### Références

- Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M.-K. et Nurmi, J.-E. (2004). Developmental dynamics of math performance from preschool to Grade 2. *Journal of Educational Psychology*, 96(4), 699-713.  
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.4.699>
- Baroody, A. J. (1985). Mastery of basic number combinations: internalization of relationships or facts? *Journal for Research in Mathematics Education*, 16(2), 83-98.  
<https://doi.org/10.2307/748366>

- Baroody, A. J., Eiland, M. D., Purpura, D. J. et Reid, E. E. (2012). Fostering at-risk kindergarten children's number sense. *Cognition and Instruction*, 30(4), 435-470. <https://doi.org/10.1080/07370008.2012.720152>
- Baroody, A. J., Eiland, M. et Thompson, B. (2009). Fostering at-risk preschoolers' number sense. *Early Education & Development*, 20(1), 80-128. <https://doi.org/10.1080/10409280802206619>
- Baroody, A. J., Lai, M.-L. et Mix, K. S. (2006). The development of young children's number and operation sense and its implications for early childhood education. Dans B. Spodek et O. Saracho (dir.), *Handbook of research on the education of young children* (p. 187-221). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Baroody, A. J. et Rosu, L. (2006). Adaptive expertise with basic addition and subtraction combinations: The number sense view. Dans A. J. Baroody et J. Torbeyns (dir.), *Developing adaptive expertise in elementary school arithmetic*. Symposium conducted at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.
- Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. Londres, Royaume-Uni : Macmillan.
- Case, R., Okamoto, Y., Griffin, S., McKeough, A., Bleiker, C., Henderson, B., ... et Keating, D. P. (1996). The role of central conceptual structures in the development of children's thought. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 61(1/2), i-295. <https://doi.org/10.2307/1166077>
- Chochon, F., Cohen, L., van de Moortele, P. F. et Dehaene, S. (1999). Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(6), 617-630. <https://doi.org/10.1162/089892999563689>
- Clément, E. (2001). Étude des différences de flexibilité mentale dans l'activité de résolution de problèmes. Dans A. Flieller, C. Bocéréan, J.-L. Kop, E. Thébaut, A.-M. Toniolo et J. Tournois (dir.), *Questions de psychologie différentielle* (p. 317-322). Rennes, France : Presses Universitaires de Rennes.
- Clements, D. H., DiBiase, A.-M. et Sarama, J. (dir.). (2004). *Engaging young children in mathematics: Standards for early childhood mathematics education*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Clements, D. H. et Sarama, J. (2008). Experimental evaluation of the effects of a research-based preschool mathematics curriculum. *American Educational Research Journal*, 45(2), 443-494. <https://doi.org/10.3102/0002831207312908>
- Clements, D. H., Sarama, J., Wolfe, C. B. et Spitler, M. E. (2013). Longitudinal evaluation of a scale-up model for teaching mathematics with trajectories and technologies. *American Educational Research Journal*, 50(4), 812-850. <https://doi.org/10.3102/0002831212469270>
- Cohen, L. et Dehaene, S. (1995). Number processing in pure alexia: The effect of hemispheric asymmetries and task demands. *Neurocase*, 1(2), 121-137. <https://doi.org/10.1080/13554799508402356>
- De Smedt, B., Noël, M.-P., Gilmore, C. et Ansari, D. (2013). How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(2), 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.001>
- Dehaene, S. (1997). *The number sense*. New York, NY : Oxford University Press.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics* (édition révisée et mise à jour). New York, NY : Oxford University Press.
- Dehaene, S. et Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, 56(2), 384-398. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.004>
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. et Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 487-506. <https://doi.org/10.1080/02643290244000239>
- Deshaies, I., Miron, J.-M. et Masson, S. (2015). Comprendre le cerveau des élèves pour mieux les préparer aux apprentissages en arithmétique dès le préscolaire A.N.A.E., 27(134), 39-45.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., ... et Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.6.1428>
- Feigenson, L., Dehaene, S. et Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>
- Fuhs, M. W. et McNeil, N. M. (2013). ANS acuity and mathematics ability in preschoolers from low-income homes: Contributions of inhibitory control. *Developmental Science*, 16(1), 136-148. <https://doi.org/10.1111/desc.12013>
- Ginsburg, H. P. et Baroody, A. J. (2003). *Test of Early Mathematics Ability-Third edition (TEMA-3)*. Austin, TX : PRO-ED.
- Griffin, S. (2002). The development of math competence in the preschool and early school years: Cognitive foundations and instructional strategies. Dans J. Royer (dir.), *Mathematical cognition* (p. 1-32). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Griffin, S. (2004a). Building number sense with number worlds: A mathematics program for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.012>



- Griffin, S. (2004b). Teaching Number Sense. *Educational Leadership*, 61(5), 39-42.
- Griffin, S. et Case, R. (1997). Re-thinking the primary school math curriculum: An approach based on cognitive science. *Issues in Education*, 3(1), 1-49.
- Griffin, S. A., Case, R. et Siegler, R. S. (1994). Rightstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure. Dans K. McGilly (dir.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (p. 25-50). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hasselbring, T. S., Goin, L. I. et Bransford, J. D. (1988). Developing math automaticity in learning handicapped children: The role of computerized drill and practice. *Focus on Exceptional Children*, 20(6), 1-7. <https://doi.org/10.17161/fec.v20i6.7504>
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development*, 15(1), 63-73. [https://doi.org/10.1016/s0885-2014\(00\)00015-0](https://doi.org/10.1016/s0885-2014(00)00015-0)
- Houdé, O. (2014). *Apprendre à résister*. Paris, France : Éditions Le Pommier.
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., ... et Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(3), 332-346. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.04.008>
- Howell, S. et Kemp, C. (2004). The role of number sense in the identification and prevention of mathematics disability: A consideration of the phonemic awareness/number sense analogy. *Australasian Journal of Special Education*, 28(2), 65-78. <https://doi.org/10.1017/s1030011200025161>
- Izard, V., Dehaene-Lambertz, G. et Dehaene, S. (2008). Distinct cerebral pathways for object identity and number in human infants. *PLoS Biology*, 6(2), e11. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060011>
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N. et Ramineni, C. (2007). Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories. *Learning Disabilities Research and Practice*, 22(1), 36-46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x>
- Kaufmann, L., Delazer, M., Pohl, R., Semenza, C. et Dowker, A. (2005). Effects of a specific numeracy educational program in kindergarten children: A pilot study. *Educational Research and Evaluation*, 11(5), 405-431. <https://doi.org/10.1080/13803610500110497>
- Kilpatrick, J., Swafford, J. et Findell, B. (dir.). (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. Washington, DC : The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9822>
- Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A. et Rossi, S. (2012). Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans. *Neuroéducation*, 1(1), 55-84. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20120101.55>
- Lubin, A., Vidal, J., Lanoë, C., Houdé, O. et Borst, G. (2013). Inhibitory control is needed for the resolution of arithmetic word problems: A developmental negative priming study. *Journal of Educational Psychology*, 105(3), 701-708. <https://doi.org/10.1037/a0032625>
- Ministère de l'éducation, du loisir et du sport (MELS). (2003). *Programme de formation à l'école québécoise. Éducation préscolaire. Enseignement primaire*. Québec, QC : Gouvernement du Québec.
- Moutier, S., Angeard, N. et Houdé, O. (2002). Deductive reasoning and matching-bias inhibition training: Evidence from a debiasing paradigm. *Thinking & Reasoning*, 8(3), 205-224. <https://doi.org/10.1080/13546780244000033>
- Moutier, S. et Houdé, O. (2003). Judgement under uncertainty and conjunction fallacy inhibition training. *Thinking & Reasoning*, 9(3), 185-201. <https://doi.org/10.1080/13546780343000213>
- Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B. et Ansari, D. (2013). A two-minute paper-and-pencil test of symbolic and nonsymbolic numerical magnitude processing explains variability in primary school children's arithmetic competence. *PLoS ONE*, 8(7), e67918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067918>
- Piaget, J. (1952). Jean Piaget. Dans E. G. Boring, H. S. Langfeld, H. Werner et R. M. Yerkes (dir.), *History of psychology in autobiography* (vol. 4). Worcester, MA : Clark University Press.
- Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D. et Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron*, 44(3), 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.10.014>
- Piazza, M., Pica, P., Izard, V., Spelke, E. S. et Dehaene, S. (2014). Education enhances the acuity of the nonverbal approximate number system. *Psychological Science*, 24(6), 1037-1043. <https://doi.org/10.1177/0956797612464057>
- Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D. et Dehaene, S. (2007). A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron*, 53(2), 293-305. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.11.022>



- Räsänen, P., Salminen, J., Wilson, A. J., Aunio, P. et Dehaene, S. (2009). Computer-assisted intervention for children with low numeracy skills. *Cognitive Development*, 24(4), 450-472. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2009.09.003>
- Rossi, S., Cassotti, M., Moutier, S., Delcroix, N. et Houdé, O. (2015). Helping reasoners succeed in the Wason selection task: When executive learning discourages heuristic response but does not necessarily encourage logic. *PLoS ONE*, 10(4), e0123024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123024>
- Perlmutter, M. (dir.). (1986). *Minnesota Symposia of Child Psychology* (vol. 19). Hove, Royaume-Uni : Psychology Press.
- Thioux, M., Pesenti, M., Costes, N, De Volder, A., Seron, X. (2005). Task-independent semantic activation for numbers and animals. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 284-290. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.02.009>
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J. et Noël, M.-P. (2005). *TEDI-MATH : Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris, France : Les éditions du centre de psychologie appliquée (ECPA).
- Vogel, S. E., Goffin, C. et Ansari, D. (2015). Developmental specialization of the left parietal cortex for the semantic representation of Arabic numerals: An fMR-adaptation study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 12, 61-73. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.12.001>
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Dubois, O. et Fayol, M. (2009). Effects of an adaptive game intervention on accessing number sense in low-socioeconomic-status kindergarten children. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 224-234. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228x.2009.01075.x>
- Wilson, A. J., Revkin, S. K., Cohen, D., Cohen, L. et Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 20. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-20>
- Xu, F. et Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(99\)00066-9](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(99)00066-9)
- Zhang, X., Koponen, T., Räsänen, P., Aunola, K., Lerkkanen, M.-K. et Nurmi, J.-E. (2014). Linguistic and spatial skills predict early arithmetic development via counting sequence knowledge. *Child Development*, 85(3), 1091-1107. <https://doi.org/10.1111/cdev.12173>

## RECHERCHE EXPÉRIMENTALE

**Effets d'une intervention pédagogique visant l'apprentissage du contrôle inhibiteur sur le développement de prérequis liés à l'arithmétique chez les élèves du préscolaire âgés de 5 ans**Isabelle Deshaies<sup>1\*</sup>, Jean-Marie Miron<sup>1</sup> et Steve Masson<sup>2</sup>

## RÉSUMÉ

Les recherches en psychologie, en neurosciences cognitives et en didactique des mathématiques mènent à penser que trois prérequis sont importants dans l'apprentissage de l'arithmétique : le sens des nombres, la capacité d'établir des liens entre ce sens des nombres et les nombres symboliques, et la capacité de résister à l'utilisation de certaines stratégies inefficaces grâce au contrôle inhibiteur. Bien que des recherches aient déjà étudié les effets d'interventions pédagogiques visant le développement des deux premiers prérequis, aucune n'aurait évalué les effets d'une intervention visant les trois prérequis, ni les effets spécifiques du développement du contrôle inhibiteur. Pour cette raison, les effets d'une intervention ciblant les deux premiers prérequis et d'une autre ciblant les trois ont été évalués auprès de 126 élèves du préscolaire âgés de 5 ans. Les résultats montrent non seulement que les deux interventions ont des effets bénéfiques sur le développement de plusieurs habiletés numériques comparativement à un enseignement régulier, mais également qu'une intervention visant le contrôle inhibiteur, en plus des deux premiers prérequis, facilite davantage l'apprentissage du comptage et de la conservation du nombre. Cette étude met donc en évidence l'importance de développer le contrôle inhibiteur des élèves du préscolaire pour mieux les préparer à l'apprentissage de l'arithmétique.

<sup>1</sup> Département des sciences de l'éducation, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, QC, Canada<sup>2</sup> Département de didactique, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, Canada\* Correspondance avec l'auteure : [isabelle.deshaies2@uqtr.ca](mailto:isabelle.deshaies2@uqtr.ca)

**Pour citer cet article** : Deshaies, I., Miron, J.-M. et Masson, S. (2020). Effets d'une intervention pédagogique visant l'apprentissage du contrôle inhibiteur sur le développement de prérequis liés à l'arithmétique chez les élèves du préscolaire âgés de 5 ans. *Neuroéducation*, 6(1), 49-64.

DOI: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20200601.76>

## 1. Introduction

Les recherches montrent que 6 à 7 % des élèves d'âge scolaire éprouvent de grandes difficultés en mathématiques (Charron, Duquesne, Marchand et Meljac, 2001; De Vriendt et Van Nieuwenhoven, 2010; Fuchs et Fuchs, 2005). Plusieurs de ces recherches indiquent que ce sont les élèves ayant des difficultés avec l'arithmétique élémentaire et les procédures de calcul chez qui les bases des mathématiques manquent le plus (Geary, Hoard et Bailey, 2012; Gersten, Jordan et Flojo, 2005). D'autres études montrent non seulement que les premiers apprentissages en mathématiques jouent un rôle important dans le fait d'éprouver éventuellement ou non des difficultés en mathématiques, mais également que les habiletés précoces en mathématiques constituent un important prérequis à la réussite éducative (Clark, Pritchard et Woodward, 2010; Duncan et al., 2007; Rourke et Conway, 1997). Ce caractère prédictif des habiletés précoces en mathématiques augmente la pertinence de mieux comprendre leurs déterminants, pour s'assurer d'intervenir adéquatement dès le préscolaire et ainsi favoriser à la fois le développement des compétences en mathématiques et la réussite éducative des élèves.

Plusieurs chercheurs associent les difficultés d'apprentissage des élèves en mathématiques à des notions issues du champ de l'arithmétique (Geary et al. 2012; Gersten et al., 2005). Ces élèves seraient également ceux qui sont plus lents dans les tâches élémentaires nécessitant des procédures mathématiques comme la lecture des nombres, la comparaison des nombres, la récitation d'une séquence de nombres et le dénombrement (Landerl, Bevan et Butterworth, 2004), de même que dans les tâches qui requièrent la manipulation de quantité de nombres (dénombrement et comparaison) (Rousselle et Noël, 2007) et la subitisation de petites quantités numériques (reconnaître globalement des quantités de un à quatre) (Koontz, 1996). Bien que ces recherches aient porté sur des élèves ayant des difficultés d'apprentissage en mathématiques au primaire, il n'en demeure pas moins que ces notions sont importantes pour tous les élèves et elles devraient conséquemment être vues et enseignées à tous dès le préscolaire.

Étant donné le rôle central de ces notions dans l'apprentissage des mathématiques, et plus spécifiquement de l'arithmétique, il convient de se questionner sur les pratiques d'enseignement les plus efficaces pour faciliter l'apprentissage de ces notions. À ce sujet, il est intéressant d'examiner les études en psychologie, en neurosciences cognitives et en didactique des mathématiques ayant ciblé cette question. Deshaies, Miron et Masson (2015) ont effectué une recension des écrits établissant des liens entre le fonctionnement cérébral et l'apprentissage de l'arithmétique afin de déterminer quels pourraient être les prérequis essentiels en mathématiques. D'après ces chercheurs, trois prérequis seraient essentiels à l'apprentissage des mathématiques, soit le développement du sens des nombres (reconnaître globalement, sans avoir recours au comptage, l'ensemble qui a le plus d'éléments lors d'une tâche de

comparaison), l'établissement de liens entre ce sens des nombres et les nombres symboliques (associer la quantité à son nombre) et le développement du contrôle inhibiteur.

Comme le mentionne Dehaene (2011), le sens des nombres permet de faire la distinction entre deux quantités non symboliques et de déterminer laquelle est supérieure ou inférieure à l'autre; ce serait la base de la construction des compétences en mathématiques. De plus, les recherches de Mussolin, Mejias et Noël (2010) et de Piazza et al. (2010) ont permis de constater que l'acquisition des nombres symboliques peut améliorer le sens de l'approximation des nombres et ainsi permettre de comparer des quantités numériquement rapprochées sans avoir besoin de les compter. En ce sens, Dehaene (2011) soutient également que, pendant les années préscolaires, l'établissement d'un dialogue bidirectionnel entre le sens des nombres et le système des nombres symboliques conduit à un système où chaque symbole numérique est automatiquement attaché à un sens précis. L'établissement de liens entre le sens des nombres et les nombres symboliques serait donc une étape charnière dans l'apprentissage des mathématiques et un prérequis pour un passage réussi vers le 1<sup>er</sup> cycle du primaire (*Ibid.*). De plus, comme l'ont démontré les recherches de Houdé et al. (2000) et de Lubin, Lanoë, Pineau et Rossi (2012), apprendre des nouvelles notions n'implique pas seulement d'acquérir de nouvelles connaissances, mais également d'apprendre à bloquer certaines stratégies de raisonnement inefficaces grâce au contrôle inhibiteur. Une étude en neuroimagerie montre d'ailleurs que le contrôle inhibiteur serait central à certains apprentissages en mathématiques; par exemple, la tâche de conservation du nombre décrite dans l'article de Houdé et al. (2011).

Malgré l'importance présumée de ces prérequis dans l'apprentissage de l'arithmétique, il est étonnant de constater qu'aucune recherche n'ait tenté jusqu'à présent d'évaluer les effets d'une intervention pédagogique visant le développement de ces trois prérequis. En effet, une recension d'écrits de Deshaies, Miron, Picard et Masson (2020) a permis d'identifier que, sur un total de 22 programmes ou outils d'intervention visant le développement de l'un ou l'autre des prérequis, aucun ne vise explicitement le développement des trois prérequis. En effet, bien que plusieurs programmes d'intervention en mathématiques au préscolaire touchent le sens des nombres (Clements, DiBiase et Sarama, 2004; Griffin, 2004; Piazza et al., 2004; Wilson et al., 2006) ou le lien entre le sens des nombres et la représentation symbolique des nombres (Baroody, Eiland et Thompson, 2009; Baroody, Eiland, Purpura et Reid, 2012; Clements et Sarama, 2008; Clements, Sarama, Wolfe et Spitler, 2013; Griffin, 2004), aucun ne cible le développement explicite du contrôle inhibiteur, c'est-à-dire la capacité à contrôler ou bloquer certains automatismes de la pensée pouvant nuire au raisonnement numérique. Cependant, Houdé et al. (2011) et Lubin et al. (2012) ont développé et mis à l'épreuve un dispositif didactique (attrape-piège) pour aider

les élèves à contrer leurs stratégies erronées (inhibition). Ces recherches ne ciblaient toutefois pas spécifiquement des élèves d'âge préscolaire ni le développement de compétences en mathématiques.

Ainsi, afin d'en savoir plus sur le rôle du développement du contrôle inhibiteur dans l'apprentissage d'habiletés numériques de base, deux interventions ont été créées. La première intervention, qui s'inspire des interventions existantes citées précédemment, cible les deux premiers prérequis (sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique) et la deuxième vise les trois prérequis (sens des nombres, le lien entre ce sens de nombres et le nombre symbolique et le contrôle inhibiteur). Cette étude vise, d'une part, à déterminer les effets de chacune des deux interventions (comparativement à un enseignement régulier en classe préscolaire 5 ans) sur des habiletés numériques de base (par exemple le traitement des quantités exprimées par les codes numériques analogique, arabe, et oral ainsi que de leurs liens avec les représentations numériques mentales). D'autre part, elle vise à évaluer les effets spécifiques de l'intervention visant le développement du contrôle cognitif en la comparant à l'intervention visant seulement les deux premiers prérequis.

En somme, les objectifs de cette recherche sont de :

1. comparer l'efficacité d'une intervention, au préscolaire, visant l'acquisition de deux prérequis mathématiques : le sens des nombres et le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, à un enseignement régulier des mathématiques;
2. comparer l'efficacité d'une intervention, au préscolaire, visant l'acquisition de deux prérequis mathématiques : le sens des nombres, le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, ainsi que le contrôle inhibiteur, à un enseignement régulier des mathématiques;
3. comparer l'efficacité d'une intervention, au préscolaire, visant l'acquisition de deux prérequis mathématiques : le sens des nombres et le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, à une intervention visant plutôt l'acquisition de deux prérequis mathématiques : le sens des nombres, le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, ainsi que le contrôle inhibiteur.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Participants

L'étude s'est déroulée dans la région du Centre-du-Québec, plus précisément dans la Commission scolaire de la Riveraine. Lors de celle-ci, nous avons ciblé des écoles provenant de milieux moyens sur le plan socioéconomique, cotés entre 5 et 8 selon l'indice de défavorisation du MELS<sup>1</sup>, d'une même région.

Parmi ces écoles, les enseignants devaient être en poste à plus de 80 % de leur tâche d'enseignement et non en remplacement. Ils ne devaient pas faire partie d'un projet particulier en mathématique pouvant venir influencer les facteurs à l'étude. Les classes ne respectant pas un ou l'autre des critères de sélection n'ont pu participer au projet de recherche.

De plus, afin d'obtenir une puissance statistique de 0,95 dans nos analyses projetées, nous avons procédé à une analyse G Power<sup>2</sup> afin de connaître le nombre de participants nécessaire; le résultat de cette analyse indique 96 participants. La présente étude a recruté 126 participants, ce qui est au-delà du nombre requis pour l'analyse. La moyenne d'âge des élèves participants était de 5,2 ans. Les classes ont été distribuées au hasard à chacune des interventions.

### 2.2 Interventions

Les deux interventions, créées et destinées à une clientèle préscolaire, ont la même durée (quatre interventions de 15 minutes par semaine pendant cinq semaines), le même intervenant; soit l'enseignant en poste, la même structure (consignes de la tâche, exemples de la tâche, modélisation avec l'attrape-réponse ou l'attrape-piège et activités) et sont fondées sur les mêmes principes pédagogiques :

- (1) les notions mathématiques sont présentées du simple au complexe;
- (2) la planification inclut des rappels sur les connaissances antérieures (une fois l'activité enseignée, l'enseignant demande systématiquement aux élèves s'ils ont déjà fait une tâche semblable et l'expliquer);
- (3) une rétroaction est systématiquement donnée aux participants (dès que la réponse est incorrecte, l'enseignant arrête l'activité, donne la bonne solution ainsi que la bonne stratégie et ensuite l'activité reprend), et
- (4) les activités proposées sont espacées dans le temps (une fois une notion vue, elle est revue sous forme de rappel deux activités plus loin, puis cinq et dix). La première vise le développement des deux premiers prérequis (sens du nombre et liens entre le sens du nombre et les nombres symboliques) et la deuxième vise quant à elle les deux mêmes prérequis en plus du développement du contrôle inhibiteur.

Afin de travailler les deux premiers prérequis, les deux interventions s'appuient sur les recherches en didactique des mathématiques. Le sens des nombres est travaillé à partir de trois activités portant sur celui-ci (Ansari, 2008; Ansari, Dhital et Siong, 2006; Nosworthy et al., 2013) et deux en lien avec la subitisation perceptuelle et conceptuelle (Clements, 2007; Gallistel et Gelman, 1992; Kaufman, Lord, Reese et Volkman, 1949). Le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique est travaillé à partir de 15 activités portant sur le dénombrement, la conservation du nombre, la comparaison des nombres, l'acquisition du système arabe et la résolution de problèmes (Baruk, 2003; Bideaud et Lehalle, 2002; Gelman, 1978; Grégoire et Van Nieuwenhoven, 1995; Noël, 2005;

<sup>1</sup> [www.mels.gouv.qc.ca/.../stat\\_Indices\\_defavorisation\\_2013\\_2014.pdf](http://www.mels.gouv.qc.ca/.../stat_Indices_defavorisation_2013_2014.pdf)

<sup>2</sup> <http://www.gpower.hhu.de/>



Sophian, 1998). Pour plus de détails concernant les différentes activités, voir Deshaies (2017).

Le développement du contrôle inhibiteur est développé dans la deuxième intervention non pas à partir d'activités supplémentaires, mais à l'aide de dispositifs pédagogiques légèrement différents pour certaines activités et inspirés des travaux de Rossi, Lubin, Lanoë et Pineau (2012). Ces dispositifs didactiques sont utilisés seulement lorsque le jeu présenté aux élèves nécessite le contrôle inhibiteur. Par exemple, dans les activités liées à la conservation du nombre, alors que

l'intervention 1 (sans contrôle inhibiteur) implique l'utilisation d'un « attrape-réponse » conçu pour amener les élèves à identifier les bonnes et les mauvaises réponses dans les énoncés présentés (voir figure 1), l'intervention 2 (avec contrôle inhibiteur) implique plutôt l'utilisation d'un « attrape-piège » conçu pour amener les élèves à identifier non seulement les bonnes et les mauvaises réponses, mais aussi les réponses qui constituent des pièges, c'est-à-dire des réponses qui semblent intuitivement correctes, mais qui sont erronées (voir figure 1). Une alerte émotive (indiquant de faire attention, car il y a un piège dans l'activité) a été incluse dans l'intervention 2 (avec contrôle inhibiteur).

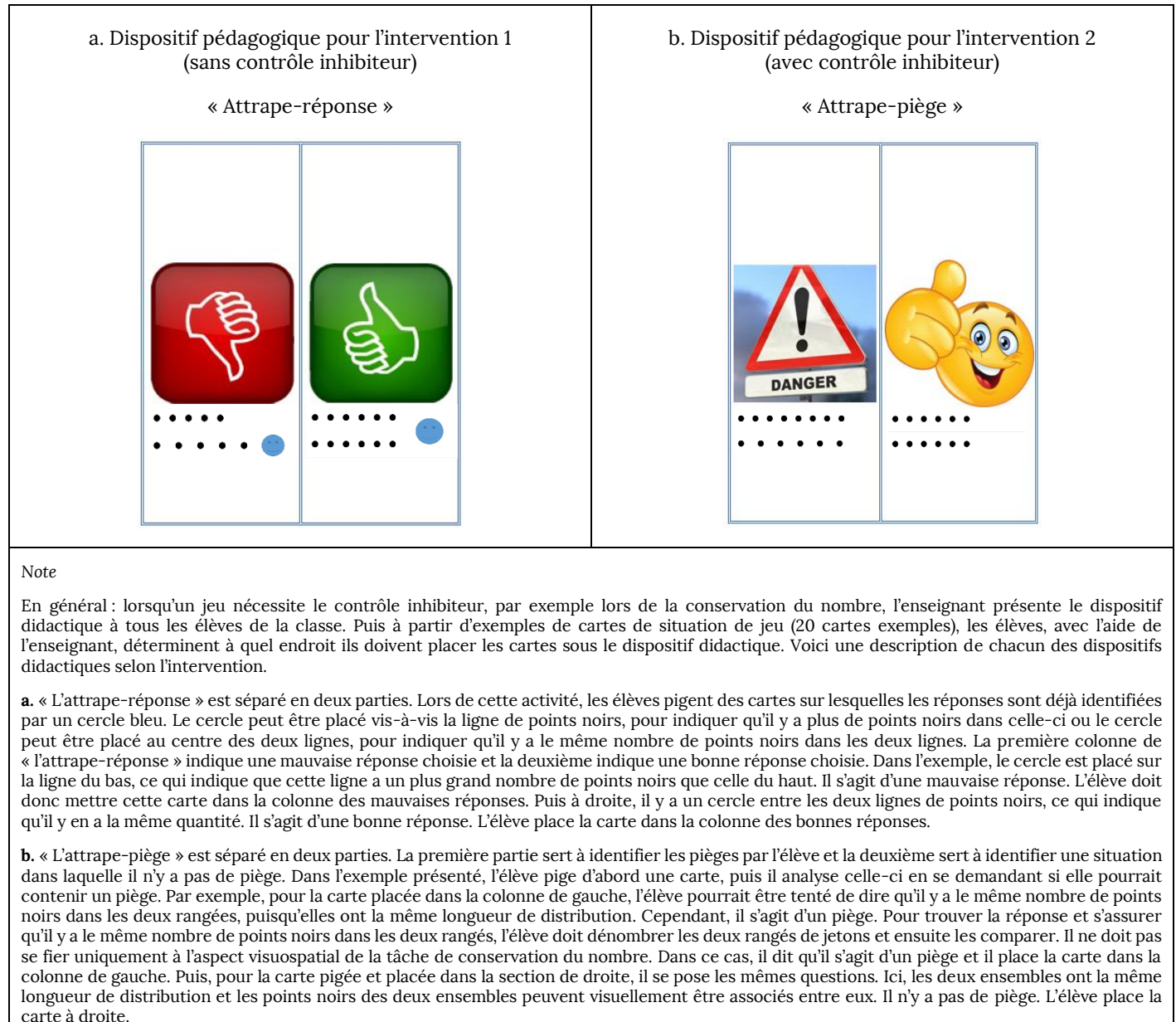


Figure 1. Dispositifs pédagogiques utilisés dans chacune des deux interventions


Les deux interventions sont réalisées à partir de jeux mathématiques. Cette caractéristique est en partie due à la nécessité de respecter la philosophie du programme d'études des participants à cette recherche (Programme de formation de l'école québécoise, PFÉQ) (MELS, 2003) qui place le jeu au cœur de la pédagogie préscolaire. En ce sens, la recherche en neurosciences de Kohn (2004) mentionne que lorsque la tâche proposée permet aux élèves d'être engagés et motivés, ces derniers ressentent un stress minimal, ce qui leur permet d'atteindre des niveaux plus élevés de cognition. Ces élèves font davantage de connexions cérébrales ce qui leur permet de mieux maîtriser la matière à l'étude. C'est ce qui est susceptible de se produire en contexte de jeu comme celui-ci.

En plus d'être comparées l'une par rapport à l'autre, les deux interventions sont comparées à un enseignement régulier tel que prescrit par le PFÉQ. Ce programme offre des orientations générales pour mettre en œuvre différentes activités en lien avec les nombres, sans toutefois préciser les apprentissages explicitement visés, laissant ainsi une grande

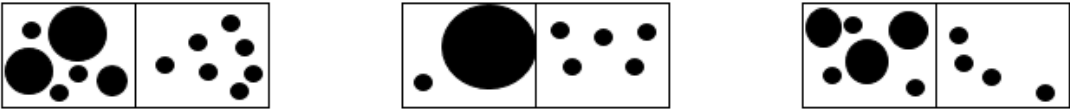
marge de manœuvre aux enseignantes et enseignants. En ce sens, par des activités ludiques et quotidiennes, l'élève recevant un enseignement régulier réalise des activités visant à développer huit types de connaissances mathématiques, soit : les jeux de nombres, le dénombrement, l'association, la comparaison, le regroupement et la classification, la régularité, l'estimation et la mesure. Bien que mentionnées dans le PFÉQ, ces huit connaissances ne sont pas explicitement développées dans ce programme et laissent ainsi beaucoup d'ambiguïté de la part des enseignants.

Les interventions se sont déroulées pendant cinq semaines durant les mois d'octobre et novembre. La passation des prétests a été réalisée par l'équipe de recherche la semaine précédant la mise en place de l'intervention et la passation des posttests a été réalisée par l'équipe de recherche la semaine suivant la fin de l'intervention. Afin de s'assurer de l'uniformité de la passation des tests ainsi que sa validité, l'équipe de recherche a reçu une formation de trois heures.


a. Consigne : Fais un trait sur l'ensemble ayant la plus grande valeur.



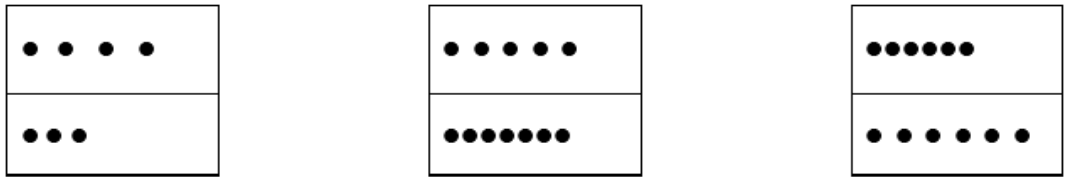
b. Consigne : Fais un trait sur l'ensemble ayant la plus grande valeur.



c. Consigne : Fais un trait sur l'ensemble ayant la plus grande valeur.



d. Consigne : Encerle l'ensemble s'il y a le même nombre de points dans les deux rangées. Si ce n'est pas égal, fais un trait sur la rangée de points où il y en a le plus grand nombre.



Note

L'exemple « a » permet de mesurer la capacité de comparer des nombres symboliques et non symboliques entre eux. L'exemple « b » permet de mesurer la capacité d'inhiber la taille des points pour les comparer entre eux. L'exemple « c » permet de mesurer la capacité d'inhiber la taille des chiffres pour pouvoir les comparer entre eux. L'exemple « d » permet de mesurer la capacité d'inhiber la longueur de la répartition des points pour pouvoir déterminer s'il y a égalité entre les deux ensembles.

Figure 2. Exemples de tests numériques nécessitant la capacité d'inhiber

### 2.3 Instruments

Nous avons utilisé le *Numeracy Screener* non symbolique et symbolique (Nosworthy et al., 2013) pour mesurer l'habileté mathématique liée au sens des nombres et à la comparaison de nombres symboliques, le *Tedi-Math* (Van Nieuwenhoven, Grégoire et Noël, 2005) pour mesurer les compétences de base en mathématiques, ainsi que des tests développés par notre équipe de recherche. Les tests développés sont construits selon le modèle du *Numeracy Screener*, soit 56 items en tout, 14 items par page dont 7 de type intuitifs et 7 de type non-intuitifs nécessitant la capacité d'inhiber. Le score de ces tests est calculé en considérant le nombre d'items réussis sur le nombre d'items complétés. Le premier de ces tests permet de mesurer l'habileté à faire le lien entre le nombre symbolique et le nombre non symbolique en demandant à l'élève de faire un trait sur le plus grand des deux nombres, qu'il soit symbolique ou non-symbolique (voir figure 2a). Les trois autres tests ont été élaborés par notre équipe pour mesurer la capacité d'inhiber en contexte numérique des élèves du préscolaire. Ceux-ci demandent à l'élève d'inhiber la taille des points (voir figure 2b), la taille des chiffres (voir figure 2c) ou la longueur d'une rangée de points (voir figure 2d) pour comparer deux ensembles. Les tests conçus par l'équipe de recherche ont été mis à l'épreuve auprès d'enfant de 5 ans, mais n'ont toutefois pas encore été validés statistiquement.

### 2.4 Design de recherche

Le protocole de recherche utilisé est celui des quatre groupes de Solomon (Solomon, 1949). Ce design est particulièrement pertinent dans le cadre d'une recherche quasi expérimentale et permet d'examiner à la fois les principaux effets de l'intervention auprès des élèves et l'interaction de la passation du prétest sur le posttest auprès de ceux-ci. Par conséquent, la généralisation des résultats est étudiée de façon explicite dans ce protocole (Bégin et Ladouceur, 1980).

Les huit groupes classes ont été distribués aléatoirement selon le protocole de Solomon (voir tableau 1). Deux groupes ont expérimenté la première intervention visant le développement du sens du nombre et du lien entre ce sens des nombres et les nombres symboliques, deux groupes ont fait l'expérience de la deuxième intervention visant le sens des nombres, le lien entre ce sens des nombres et les nombres symboliques et le contrôle inhibiteur, et quatre groupes ont reçu un enseignement régulier selon le PFEQ. En plus d'être distribués aléatoirement dans l'une ou l'autre des interventions, les groupes furent distribués aléatoirement pour la passation ou non des prétests. Ce design de recherche est représenté au tableau 1.

### 2.5 Analyses

Une fois les tests administrés aux élèves, nous avons procédé à l'analyse des résultats. Les analyses statistiques, effectuées à l'aide du logiciel SPSS (v.20), visent à déterminer (1) l'efficacité de l'intervention avec et sans contrôle inhibiteur comparativement à un enseignement régulier;

(2) l'efficacité d'une intervention avec contrôle inhibiteur versus sans contrôle inhibiteur; (3) l'effet de la passation du prétest chez les élèves du préscolaire. Pour ce faire, nous avons réalisé une analyse de variance (ANOVA) pour observer s'il y avait des différences statistiquement significatives auprès des groupes. Suite à celle-ci, nous avons procédé à des tests *t* indépendants ainsi que des analyses de covariance (ANCOVA) afin de déterminer les différences statistiquement significatives répondant à nos trois objectifs de recherche. Les ANCOVA ont permis d'associer une partie de la variance des variables à l'intervention et non aux différents prétests. Le design expérimental des quatre groupes de Solomon a été utilisé afin de valider le rendement des élèves lors de chacune des interventions.

La figure 3 présente le design des analyses tel que présenté dans la recherche de McGahee et Tingen (2000) et est suivi d'une brève explication de celui-ci.

**Tableau 1.** Le design des quatre groupes de Solomon

Intervention sans contrôle inhibiteur			
Groupe	Passation prétests	Intervention	Passation posttests
1 Intervention <b>SANS</b> contrôle inhibiteur	X	X	X
2 Enseignement régulier	X		X
3 Intervention <b>SANS</b> contrôle inhibiteur		X	X
4 Enseignement régulier			X
Intervention avec contrôle inhibiteur			
5 Intervention <b>AVEC</b> contrôle inhibiteur	X	X	X
6 Enseignement régulier	X		X
7 Intervention <b>AVEC</b> contrôle inhibiteur		X	X
8 Enseignement régulier			X

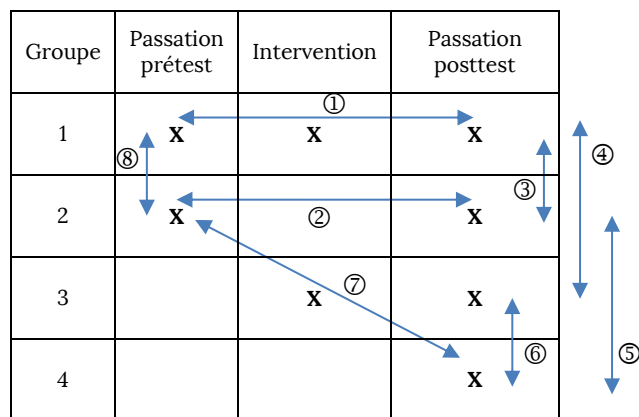


Figure 3. Design expérimental des quatre groupes de Solomon

Les deux premiers groupes de la conception du design de Solomon sont conçus et interprétés de la même manière que dans la conception prétest-posttest, et fournissent les mêmes contrôles sur la randomisation. La comparaison entre les résultats posttests des groupes 3 et 4, marqués par la ligne « 6 », permet au chercheur de déterminer si l'acte même de prétest influence les résultats. Si l'écart entre les résultats des posttests des groupes 3 et 4, marqué par la ligne « 6 », diffère de celui des groupes 1 et 2, marqué par la ligne « 3 », on peut supposer que le prétest a eu un certain effet sur les résultats.

La comparaison entre le prétest du groupe 2 et le posttest du groupe 4, marquée par la ligne « 7 », permet d'établir si des facteurs externes pourraient avoir provoqué une distorsion temporelle. Cela s'avère une précaution supplémentaire pour s'assurer qu'aucun autre facteur n'ait influencé les résultats au posttest; entre autres l'effet de la passation du prétest comme outil d'apprentissage pour la passation du posttest sans qu'il y ait d'intervention.

La comparaison entre le groupe 1 posttest et le groupe 3 posttest, marquée par la ligne « 4 », permet au chercheur de déterminer l'effet que le prétest a eu sur le traitement. Si les résultats posttests pour ces deux groupes diffèrent, alors le prétest a eu un certain effet sur le traitement et l'expérience présente un biais de validité interne.

La comparaison entre le posttest du groupe 2 et le posttest du groupe 4, marquée par la ligne « 5 », indique si le prétest lui-même a affecté le comportement, indépendamment du traitement. Si les résultats sont significativement différents, alors le prétest a influencé les résultats globaux. Ainsi, ce design d'analyses est utilisé pour l'intervention ciblant l'apprentissage du sens des nombres et du lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, puis pour l'intervention ciblant le sens des nombres, le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et le contrôle inhibiteur. En terminant, il y a eu comparaison des deux interventions mentionnées précédemment.

<sup>3</sup> Le seuil significatif de l'homogénéité des variances est fixé à  $p < 0,05$  et le seuil significatif de la normalité est fixé à  $p > 0,05$ .

La section suivante présente les différents résultats répandant à nos trois objectifs de recherche.

### 3. Résultats

L'analyse de variance (ANOVA) a permis de dégager qu'il existe une différence statistiquement significative entre les trois types d'interventions (intervention avec deux prérequis, intervention avec trois prérequis et enseignement régulier) pour tous les tests<sup>3</sup> : le *Numeracy Screener* non symbolique,  $F(2, 125) = 12,486$ ,  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,169$ , le *Numeracy Screener* symbolique,  $F(2, 125) = 4,036$ ,  $p = 0,020$ ;  $\eta^2 = 0,061$ , le *Tedi-Math*,  $F(2, 125) = 16,575$ ,  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,212$ , le test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique,  $F(2, 125) = 8,060$ ,  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,116$ , et les tests nécessitant d'inhiber en contexte numérique.  $F(2, 125) = 37,200$ ,  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,377$ . Ces résultats ont permis de poursuivre les analyses.

#### 3.1 Effets d'une intervention ciblant les deux premiers prérequis versus un enseignement régulier

Afin de vérifier si les groupes ayant vécu l'intervention 1 portant sur les deux premiers prérequis (groupes 1 et 3) présentent une différence statistiquement significative aux résultats de leur posttest comparativement aux groupes ayant vécu un enseignement régulier (groupes 2 et 4) (objectif 1), un test *t* pour échantillons indépendants a été effectué. Il y a une différence statistiquement significative entre les résultats des groupes ayant vécu l'intervention,  $M = 24,72$ ,  $ÉT = 8,01$ , et ceux des groupes ayant vécu un enseignement régulier,  $M = 20,33$ ,  $ÉT = 8,27$ , au test du *Numeracy Screener* non symbolique,  $t(57) = 2,066$ ,  $p = 0,043$ ;  $\eta^2 = 0,07$ .

Une différence statistiquement significative existe également entre les groupes ayant vécu l'intervention,  $M = 21,03$ ,  $ÉT = 11,32$ , et les groupes ayant vécu un enseignement régulier,  $M = 13,44$ ,  $ÉT = 7,82$ , au test du *Numeracy Screener* symbolique,  $t(57) = 2,939$ ,  $p = 0,005$ ;  $\eta^2 = 0,13$ .

Il y a une différence statistiquement significative entre les groupes ayant vécu l'intervention,  $M = 2,53$ ,  $ÉT = 0,57$ , et les groupes ayant vécu un enseignement régulier,  $M = 2,07$ ,  $ÉT = 0,36$ , au test *Tedi-Math*,  $t(57) = 3,622$ ,  $p = 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,19$ .

Également, une différence statistiquement significative existe entre les groupes ayant vécu l'intervention,  $M = 0,82$ ,  $ÉT = 0,23$ , et les groupes ayant vécu l'enseignement régulier,  $M = 0,66$ ,  $ÉT = 0,18$ , au test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique,  $t(57) = -2,801$ ,  $p = 0,007$ ;  $\eta^2 = 0,12$ .

Finalement, une différence statistiquement significative existe entre les groupes ayant vécu l'intervention,  $M = 5,44$ ,  $ÉT = 2,22$ , et les groupes ayant vécu l'enseignement régulier,  $M = 2,25$ ,  $ÉT = 1,96$ , aux tests nécessitant d'inhiber en contexte numérique,  $t(57) = 5,791$ ,  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,37$ .



Puisque les résultats des analyses se sont avérés statistiquement significatifs, une analyse de covariance a été effectuée afin d'évaluer l'effet même de l'intervention après avoir contrôlé

l'effet des prétests. Les conditions de normalité, d'homogénéité et d'interaction sont satisfaites. Les résultats du tableau 2 démontrent l'effet de l'intervention sur certains prérequis.

**Tableau 2.** Résultats de l'ANCOVA comparant les groupes ayant vécu une intervention ciblant le sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique (groupe 1) versus ceux ayant vécu un enseignement régulier (groupe 2)

Test		F	Éta-carré
Numeracy Screener non symbolique	Intervention	$F(1, 30) = 5,682, p = 0,024$	$\eta^2 = 0,159$
	Prétest	$F(1, 30) = 5,271, p = 0,029$	$\eta^2 = 0,149$
Numeracy Screener symbolique	Intervention	$F(1, 30) = 1,258, p = 0,271$	
	Prétest	$F(1, 30) = 14,627, p = 0,001$	$\eta^2 = 0,328$
Tedi-Math	Intervention	$F(1, 30) = 2,132, p = 0,155$	
	Prétest	$F(1, 30) = 50,179, p < 0,001$	$\eta^2 = 0,626$
Test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique	Intervention	$F(1, 30) = 0,083, p = 0,776$	
	Prétest	$F(1, 30) = 6,320, p = 0,017$	$\eta^2 = 0,169$
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique	Intervention	$F(1, 30) = 9,257, p = 0,005$	$\eta^2 = 0,236$
	Prétest	$F(1, 30) = 27,039, p < 0,001$	$\eta^2 = 0,474$

Comme le démontrent les résultats, la taille de l'effet de l'intervention au Numeracy Screener non symbolique et aux tests nécessitant d'inhiber en contexte numérique, telle qu'évaluée par le  $\eta^2$ , est grande (Cohen, 1988). L'intervention explique 16 % de la variance des données obtenues avec le Numeracy Screener non symbolique et 24 % de la variance des données obtenues par le test nécessitant d'inhiber en contexte numérique. Ces résultats sont repris dans la section Discussion.

### 3.2 Effets d'une intervention ciblant les deux premiers prérequis ainsi que le contrôle inhibiteur versus un enseignement régulier

Un test *t* pour échantillons indépendants a été effectué afin de vérifier si les groupes ayant vécu l'intervention sur les deux premiers prérequis et le contrôle inhibiteur (groupes 5 et 7) présentent une différence statistiquement significative aux résultats de leur posttest comparativement aux groupes ayant vécu un enseignement régulier (groupes 6 et 8) (objectif 2). Il y a une différence statistiquement significative entre les scores de performance des groupes ayant vécu l'intervention ciblant les deux premiers prérequis et le contrôle inhibiteur,  $M = 26,09$ ,  $ÉT = 8,25$ , et les scores de performance de ceux ayant vécu un enseignement régulier,  $M = 15,91$ ,  $ÉT = 9,05$  au test Numeracy Screener non symbolique,  $t(65) = 4,816, p < 0,001; \eta^2 = 0,26$ .

Il existe une différence statistiquement significative entre les scores de performance des groupes ayant vécu l'intervention ciblant les deux prérequis et le contrôle inhibiteur,  $M = 2,74$ ,  $ÉT = 0,43$ , et les scores de performance de ceux qui ont vécu un enseignement régulier,  $M = 2,21$ ,  $ÉT = 0,59$ , au test Tedi-Math,  $t(65) = 4,210, p < 0,001; \eta^2 = 0,21$ .

Il existe une différence statistiquement significative entre les scores de performance des groupes ayant vécu l'intervention ciblant les deux prérequis et le contrôle inhibiteur,  $M = 0,77$ ,  $ÉT = 0,18$ , et les scores de performance de ceux ayant reçu un enseignement régulier,  $M = 0,65$ ,  $ÉT = 0,19$  au test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique,  $t(65) = 2,638, p = 0,010; \eta^2 = 0,10$ .

Finalement, il existe une différence statistiquement significative entre les scores de performance des groupes ayant vécu l'intervention ciblant deux prérequis et le contrôle inhibiteur,  $M = 6,23$ ,  $ÉT = 2,21$ , et les scores de performance de ceux ayant vécu un enseignement régulier,  $M = 2,66$ ,  $ÉT = 2,44$ , au test nécessitant d'inhiber en contexte numérique,  $t(65) = 6,280, p < 0,001; \eta^2 = 0,38$ .

Cependant, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les scores de performance des groupes ayant vécu cette même intervention,  $M = 20,09$ ,  $ÉT = 8,83$ , et les scores de performance de ceux ayant vécu un enseignement régulier,  $M = 17,67$ ,  $ÉT = 9,29$ , bien que les scores moyens de ceux ayant vécu l'intervention soient plus élevés que ceux des groupes ayant vécu l'enseignement régulier au test du Numeracy Screener symbolique,  $t(65) = 1,094, p = 0,278$ .

Suivant ces analyses, une analyse de covariance a été effectuée afin d'évaluer l'effet même de l'intervention après avoir contrôlé l'effet des prétests pour chacun des tests à l'étude. Les conditions de normalité, d'homogénéité et d'interaction sont satisfaites. Les résultats du tableau 3 montrent une différence significative au niveau de la plupart des tests.

**Tableau 3.** Résultats de l'ANCOVA comparant les groupes ayant vécu une intervention ciblant le sens des nombres, le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique, et le contrôle inhibiteur (groupe 5) versus ceux ayant vécu un enseignement régulier (groupe 6)

Test		F	Éta-carré
Numeracy Screener non symbolique	Intervention	$F(1, 29) = 11,082, p = 0,002$	$\eta^2 = 0,276$
	Prétest	$F(1, 29) = 7,468, p = 0,011$	$\eta^2 = 0,205$
Numeracy Screener symbolique	Intervention	$F(1, 29) = 2,585, p = 0,119$	
	Prétest	$F(1, 29) = 5,788, p = 0,023$	$\eta^2 = 0,166$
Tedi-Math	Intervention	$F(1, 29) = 18,810, p < 0,001$	$\eta^2 = 0,393$
	Prétest	$F(1, 29) = 40,933, p < 0,001$	$\eta^2 = 0,585$
Test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique	Intervention	$F(1, 29) = 10,660, p = 0,003$	$\eta^2 = 0,269$
	Prétest	$F(1, 29) = 15,844, p < 0,001$	$\eta^2 = 0,353$
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique	Intervention	$F(1, 29) = 32,412, p < 0,001$	$\eta^2 = 0,528$
	Prétest	$F(1, 29) = 14,359, p = 0,001$	$\eta^2 = 0,331$

Comme le démontrent les résultats, la taille de l'effet de l'intervention au test *Numeracy Screener* non symbolique, au *Tedi-Math*, au test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique et au test nécessitant d'inhiber en contexte numérique, telle qu'évaluée par le  $\eta^2$ , est grande. L'intervention explique 28 % de la variance des scores du *Numeracy Screener* non symbolique, 39 % des scores du *Tedi-Math* et 27% des scores du test du lien entre le nombre symbolique et non symbolique. Finalement, l'intervention explique 53 % des scores du test nécessitant d'inhiber en contexte numérique.

### 3.3 Effets d'une intervention ciblant les deux premiers prérequis ainsi que le contrôle inhibiteur versus une intervention ciblant seulement les deux premiers prérequis

Afin d'atteindre notre troisième objectif de recherche, soit comparer l'efficacité de l'intervention visant l'acquisition des deux prérequis mathématiques (groupes 1 et 3) à une intervention visant l'acquisition de ces deux mêmes prérequis ainsi que le contrôle inhibiteur (groupes 5 et 7), un test t pour échantillons indépendants a été effectué.

Le tableau 4 montre que, bien que la plupart des moyennes des groupes ayant vécu l'intervention avec contrôle inhibiteur soient plus élevées que celles de l'intervention sans contrôle inhibiteur, l'écart ne fut pas suffisant pour démontrer un effet statistiquement significatif.

Par contre, puisque les résultats des différentes analyses en lien avec les deux types d'intervention et l'enseignement régulier étaient différents et que l'intervention avec contrôle inhibiteur a eu un effet sur différents tests versus l'intervention sans contrôle inhibiteur (sur le test du *Tedi-Math* et sur le test du lien entre le nombre symbolique et non symbolique), nous avons décidé de refaire des analyses statistiques en analysant tous les sous-tests du *Tedi-Math* (les épreuves d'opérations logiques, liées au système numérique, au dénombrement et au comptage furent analysées) et ceux du test sur les énoncés contre-intuitifs.

Ainsi, un test t pour échantillons indépendants s'est avéré statistiquement significatif pour le sous-test comptage faisant partie du *Tedi-Math*,  $t(64) = 3,050, p 0,03; \eta^2 = 0,13$  et le sous-test de la conservation du nombre faisant partie du test nécessitant d'inhiber en contexte numérique,  $t(64) = 2,438, p = 0,018; \eta^2 = 0,08$ . L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau 5.

À la lumière de ces résultats, nous pouvons constater que l'intervention avec contrôle inhibiteur, en plus de mener à des scores de performance supérieurs sur l'ensemble des prérequis à l'étude par rapport à un groupe ayant vécu un enseignement régulier, tel que vu précédemment, mène à des scores de performance plus élevés pour l'habileté de comptage et pour l'habileté à conserver le nombre, comparativement à l'intervention sans contrôle inhibiteur.

**Tableau 4.** Résultats obtenus à chacun des tests pour les groupes ayant vécu une intervention (avec et sans contrôle inhibiteur)

Test	Type intervention	N	M	ÉT	Test t
Numeracy Screener non symbolique	AVEC contrôle inhibiteur	34	26,09	8,25	t(64) = 0,684 p = 0,496
	SANS contrôle inhibiteur	32	24,72	8,00	
Numeracy Screener symbolique	AVEC contrôle inhibiteur	34	20,09	8,83	t(64) = -0,379 p = 0,706
	SANS contrôle inhibiteur	32	21,03	11,32	
Tedi-Math	AVEC contrôle inhibiteur	34	2,74	0,434	t(64) = 1,762 p = 0,083
	SANS contrôle inhibiteur	32	2,53	0,57	
Test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique	AVEC contrôle inhibiteur	34	0,82	0,18	t(64) = -0,924 p = 0,359
	SANS contrôle inhibiteur	32	0,82	0,23	
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique	AVEC contrôle inhibiteur	34	6,23	2,21	t(64) = 1,443 p = 0,154
	SANS contrôle inhibiteur	32	5,44	2,22	

**Tableau 5.** Différences de moyennes, aux posttests, entre les groupes ayant vécu une intervention sur les deux prérequis avec contrôle inhibiteur et ceux ayant vécu une intervention sur les deux prérequis sans contrôle inhibiteur, incluant les sous-tests du Tedi-Math et le test sur les énoncés contre-intuitifs

Test	Intervention	M	ÉT	Test t	Taille d'effet $\eta^2$
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique (petits points versus gros points)	AVEC contrôle inhibiteur	8,06	3,61	t(64) = -0,878 p = 0,383	
	SANS contrôle inhibiteur	7,31	3,28		
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique (petits chiffres versus gros chiffres)	AVEC contrôle inhibiteur	7,91	3,76	t(64) = 0,874 p = 0,385	
	SANS contrôle inhibiteur	7,13	7,13		
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique (conservation du nombre)	AVEC contrôle inhibiteur	2,71	1,38	t(64) = -2,438 p = 0,018	$\eta^2 = 0,08$
	SANS contrôle inhibiteur	1,88	1,39		
Tedi-Math (opérations logiques)	AVEC contrôle inhibiteur	1,29	0,87	t(64) = -0,405 p = 0,687	
	SANS contrôle inhibiteur	1,21	1,31		
Tedi-Math (système numérique)	AVEC contrôle inhibiteur	7,14	0,87	t(64) = 0,285 p = 0,084	
	SANS contrôle inhibiteur	6,84	1,31		
Tedi-Math (dénombrement)	AVEC contrôle inhibiteur	1,55	0,24	t(50,768) = 1,789 p = 0,084	
	SANS contrôle inhibiteur	1,42	0,38		
Tedi-Math (comptage)	AVEC contrôle inhibiteur	0,99	0,53	t(64) = -3,050 p = 0,03	$\eta^2 = 0,13$
	SANS contrôle inhibiteur	0,64	0,40		

#### 4. Discussion

Les différentes analyses réalisées ont permis de répondre aux trois objectifs de recherche, soit de :

1. comparer l'efficacité d'une intervention, au préscolaire, visant l'acquisition de deux prérequis mathématiques : le sens des nombres et le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, à un enseignement régulier des mathématiques;
2. comparer l'efficacité d'une intervention, au préscolaire, visant l'acquisition de deux prérequis mathématiques : le sens des nombres, le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, ainsi que le contrôle inhibiteur, à un enseignement régulier des mathématiques;
3. comparer l'efficacité d'une intervention, au préscolaire, visant l'acquisition de deux prérequis mathématiques : le sens des nombres et le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, à une intervention visant plutôt l'acquisition de deux prérequis mathématiques : le sens des nombres, le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, ainsi que le contrôle inhibiteur.

Dans un premier temps, il sera question de l'effet des deux interventions (sans et avec contrôle inhibiteur) comparativement à un enseignement régulier. Dans un second temps, il sera question de l'effet de l'intervention avec contrôle inhibiteur comparativement à l'effet de l'intervention sans contrôle inhibiteur.

##### 4.1 Effets des deux interventions (sans et avec contrôle inhibiteur) comparativement à un enseignement régulier

En examinant l'analyse des différents tests *t* présentés, nous pouvons constater que les deux types d'intervention ont eu un effet significatif comparativement à un enseignement régulier (objectifs 1 et 2).

Les résultats des différents tests pour les deux types d'intervention (sans et avec contrôle inhibiteur) comparativement à un enseignement régulier ont mené à des scores de performance plus élevés pour l'ensemble des tests mesurant les prérequis à l'étude, à l'exception du test *Numeracy Screener* symbolique. Cette exception est difficile à expliquer, mais elle est peut-être, au moins en partie, causée par le fait que les habiletés de comparaison de nombres symboliques mesurées par le *Numeracy Screener* symbolique sont celles qui sont le plus explicitement développées chez les élèves du groupe ayant reçu un enseignement régulier basé sur le PFÉQ; il y aurait donc moins d'écart entre les deux groupes pour ce type d'habiletés. Toutefois, cette différence amène un questionnement quant aux activités présentes dans l'intervention. Bien que celles-ci soient nombreuses, il serait possiblement intéressant d'intégrer le logiciel *Number Race* (Wilson et al., 2006) à l'intervention. Cet ajout permettrait de travailler la comparaison des nombres symboliques faisant partie du prérequis du lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique. Lors de l'expérimentation du logiciel, les élèves ont présenté une augmentation spécifique de

leur performance sur les tâches en lien avec le sens des nombres. La vitesse de la capacité à subitiser et l'habileté liée à la comparaison numérique ont augmenté de plusieurs centaines de millisecondes. Ainsi, l'ajout de temps de jeu consacré à ce logiciel aiderait fort probablement les élèves à développer de façon significative la comparaison de nombres symboliques et ainsi, le deuxième prérequis.

Ensuite, les résultats de l'analyse de covariance ont permis d'observer une augmentation considérable des scores de performance des élèves des groupes ayant vécu l'intervention (avec et sans contrôle inhibiteur) comparativement aux groupes de contrôle, et ce, pour l'ensemble des tests. En contrepartie, une fois l'effet du prétest contrôlé, les résultats nous indiquent que les deux types d'intervention mènent à des scores de performance supérieurs quant au prérequis du sens du nombre (test du *Numeracy Screener* non symbolique) et quant au prérequis de la capacité d'inhiber (tests nécessitant d'inhiber en contexte numérique).

Cependant, seule l'intervention avec contrôle inhibiteur, une fois l'effet du prétest contrôlé, a permis d'associer une partie de la variance à la variable du prérequis lié au lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique (test *Tedi-Math* et test du lien entre le nombre symbolique et non symbolique).

En résumé, les résultats associés aux deux premiers objectifs de notre recherche ont permis de constater l'impact positif sur les habiletés en mathématique des deux interventions comparativement à un enseignement régulier. Cependant, seule l'intervention avec contrôle inhibiteur, une fois l'effet du prétest contrôlé, a mené à des scores de performance supérieurs pour les trois prérequis; ce qu'il n'a pas été possible de démontrer par l'intervention sans contrôle inhibiteur.

En somme, l'intervention avec contrôle inhibiteur, en plus d'avoir un impact sur l'acquisition du sens des nombres et du contrôle inhibiteur, permet également, contrairement à l'intervention sans contrôle inhibiteur, d'avoir un impact sur le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique comparativement à l'enseignement régulier.

##### 4.2 Effets de l'intervention avec contrôle inhibiteur versus sans contrôle inhibiteur

Pour répondre au troisième objectif de la recherche, nous avons comparé l'impact sur les habiletés en mathématique d'une intervention ciblant les deux premiers prérequis et le contrôle inhibiteur à une intervention ciblant seulement les deux premiers prérequis. Ce qui ressort des analyses statistiques réalisées est les différences au niveau de que la partie comptage du test *Tedi-Math*, et du test de la conservation du nombre réalisé par l'équipe de recherche se sont avérées statistiquement significatives. Ces résultats nous indiquent qu'un enseignement incluant le contrôle inhibiteur favoriserait davantage l'acquisition du comptage et de la conservation du nombre contrairement à un enseignement sans contrôle inhibiteur.



En ce sens, la recherche d'Imbert (2005) démontre un lien entre l'habileté de comptage et le contrôle inhibiteur. Comme le propose également Baroody (Baroody, 1991; Baroody et Price, 1983), il semble que l'interaction entre les habiletés liées à la chaîne numérique d'une part, et les concepts de comptage d'autre part, soit à l'origine de l'acquisition de la procédure de comptage. Selon la tâche à effectuer, les enfants activeraient soit des schémas fondés sur les connaissances conceptuelles (schéma efficace), soit des schémas fondés sur la recherche de la réponse par une utilisation et une manipulation de la chaîne numérique, c'est-à-dire par des procédures (schéma non efficace). Ainsi, la recherche d'Imbert (2005) a démontré l'existence de différences par rapport aux ressources cognitives entre les différents profils d'acquisition (connaissances conceptuelles ou procédurales). En effet, les résultats de cette recherche ont démontré que les enfants faisant partie du groupe ayant des difficultés d'apprentissage obtenaient globalement des performances plus faibles que les autres enfants aux épreuves de mémoire, de contrôle inhibiteur et de lexique. Ces conclusions vont dans le même sens que les recherches de Bernoussi (2002), Geary, Hamson et Hoard (2000), Klein et Bisanz (2000), et Lépine, Camos et Barrouillet (2003).

Ainsi, selon les recherches d'Imbert (2005) et de Camos (2003), le fait que l'intervention avec contrôle inhibiteur puisse mener à des scores de performance supérieurs au sous-test comptage du test *Tedi-Math* n'est pas une surprise en soi, puisque leurs recherches ont permis de mettre en évidence que le développement du dénombrement résulterait d'un changement de stratégies concernant la diminution du coût cognitif de la stratégie primitive de dénombrement « un par un » (connaissances procédurales) et dans le rôle majeur des ressources cognitives, entre autres le contrôle inhibiteur. Ainsi, ces résultats confirmeraient l'intérêt d'une intervention par contrôle inhibiteur pour développer le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique.

En contrepartie, l'intervention par contrôle inhibiteur semble également être nécessaire pour favoriser la capacité de conserver le nombre. Pour conserver l'apparence du nombre, les élèves doivent non seulement inhiber leur fausse conception que la longueur de la distribution influence le nombre, mais également dénombrer et comparer les deux quantités. Ainsi, l'enseignement par contrôle inhibiteur permettrait aux élèves de contrer les pièges en lien avec la conservation du nombre. Ceci va dans le même sens que la recherche d'Houdé et al. (2011) sur la conservation du nombre.

Malgré ces deux résultats précédents significatifs, des résultats non significatifs ont été obtenus en lien avec les deux autres tâches nécessitant d'inhiber en contexte numérique, soit le test sur la comparaison des ensembles de petits et gros points et le test sur la comparaison des petits et gros chiffres, ce qui peut surprendre étant donné la littérature scientifique existante à ce sujet.

La prochaine section aborde ces deux tests dont la différence des scores s'est révélée statistiquement non significative

entre les groupes ayant vécu l'intervention avec contrôle inhibiteur et les groupes ayant vécu l'intervention sans contrôle inhibiteur.

#### 4.2.1 Test sur la comparaison des ensembles de petits et gros points

Comme mentionné dans la recherche de Dehaene (2011), le sens des nombres serait présent dès les premiers mois de vie dans le cerveau des enfants et leur permettrait d'avoir une idée de la grandeur des nombres, ainsi qu'une compréhension du nombre sous sa forme non symbolique. Le test sur la comparaison des ensembles de petits et gros points permettait aux élèves de comparer deux ensembles de points non symboliques variant au niveau de la taille des points présentés. Ce test vérifie l'acquisition du sens des nombres chez les élèves. Puisque, tel que démontré par les recherches de Dehaene (2011), le sens des nombres est perçu comme le sens de l'approximation des nombres et serait la base de la construction des compétences en mathématiques, il serait présent chez les élèves lors de leur entrée au préscolaire. De plus, tel que mentionné dans le programme d'éducation préscolaire québécois (MELS, 2013), seul ou avec un peu d'aide, l'élève de cet âge doit faire correspondre, à l'oral, un nombre inférieur à cinq à la quantité d'objets correspondante et il doit reconnaître la différence entre beaucoup et peu. Ces connaissances sont en lien avec la tâche de comparaison des petits et gros points. En ce sens, nous croyons qu'il y aurait probablement eu un enseignement de comparaison d'ensembles non symboliques chez ces élèves avant la passation du test, ce qu'il aurait fallu vérifier auprès de l'enseignante avant la passation.

#### 4.2.2 Test sur la comparaison de petits et gros chiffres

Le nombre sous sa forme symbolique se construit à partir du sens des nombres. Puis, au cours de son apprentissage du langage oral, l'élève acquiert progressivement les nombres sous leur forme symbolique. Cette acquisition nécessite du temps et l'acquisition de plusieurs concepts (Fayol, 2008, 2012; Fuson, 1991). Pour ces raisons, l'acquisition du système symbolique chez l'élève de 5 ans est quelque chose de très complexe. De plus, en comparant avec les résultats obtenus lors des différentes analyses statistiques, il semble que l'élève de cet âge (5 ans), au mois d'octobre, reconnaisse le code écrit; soit les chiffres, mais non les nombres issus des chiffres (cardinalité). Il est possible que les élèves de tous les groupes aient eu tendance à choisir tous les nombres à droite lors des comparaisons, puisque selon l'ordre des nombres, le nombre le plus élevé se situe à droite du précédent. Ainsi, le symbolisme n'est pas perçu comme le représentant du nombre, mais comme un chiffre; un ordre de grandeur.

De plus, tel que vu précédemment, les habiletés liées au comptage aident en grande partie à construire le nombre symbolique. En fait, le nombre sous sa forme symbolique prend appui sur le sens des nombres à partir de la même zone cérébrale, soit les sillons intrapariétaux (Dehaene, 2011). Puis, par le principe de recyclage neuronal, la zone associée au sens des nombres se reconvertirait pour accueillir le nombre sous sa forme symbolique. Cette reconversion est possible

par le type d'activités proposées qui mettent de l'avant le concept de nombre.

Les élèves de 5 ans participant à cette étude n'ont peut-être pas eu assez d'occasions d'être mis en relation avec les nombres symboliques et d'y associer toutes les composantes liées au nombre et non seulement au code écrit, soit le chiffre. C'est probablement pour cette raison que l'enseignement par contrôle inhibiteur n'a pas eu un effet statistiquement significatif comparativement au groupe ayant vécu l'intervention sans contrôle inhibiteur. Il serait toutefois intéressant d'ajouter des activités de relation entre le nombre non symbolique et symbolique dans l'intervention et la faire vivre plus tard dans l'année scolaire. Ainsi, nous pourrions peut-être observer un apport d'un enseignement par contrôle inhibiteur lors de tâche de comparaison de nombres de différentes grandeurs.

En somme, l'ensemble de ces résultats indique qu'un enseignement explicite des trois prérequis en mathématiques (sens des nombres, lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique et le contrôle inhibiteur) accentue l'apprentissage de certaines habiletés de base en mathématiques non seulement comparativement à un enseignement régulier, mais également en comparaison avec une intervention sans contrôle inhibiteur.

#### 4.3 Limites

Quoique cette recherche ait démontré des résultats positifs et qu'elle enrichisse les connaissances sur le lien entre la didactique des mathématiques et les neurosciences, elle comporte toutefois quelques limites.

Sur le plan méthodologique, certains tests utilisés ne sont pas validés, puisque ce sont des tests élaborés par notre équipe de recherche (tests sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique et tests sur les énoncés contre-intuitifs). Une future recherche pourrait permettre de valider la scientificité de ceux-ci.

De plus, puisque nous savons à présent que l'enseignement du contrôle inhibiteur permet un apport supplémentaire au niveau de l'acquisition du comptage et de la conservation du nombre, il serait pertinent de reconduire une recherche similaire, mais en comparant uniquement les groupes ayant vécu l'intervention sans et avec contrôle inhibiteur. Pour ce faire, il serait pertinent de remplacer les quatre groupes ayant reçu l'enseignement régulier par deux groupes vivant l'intervention sans contrôle inhibiteur, et deux autres l'intervention avec contrôle inhibiteur.

Également, dans le cadre de notre étude, la population ciblée est une population provenant d'un milieu homogène ayant le même statut socioéconomique. Il serait intéressant de faire revivre cette intervention, mais cette fois-ci, en diversifiant le milieu (milieu urbain, rural). Ceci permettrait une représentativité plus grande du contexte social actuel.

De plus, nous avons fait vivre l'intervention au mois d'octobre sur une période de cinq semaines. Selon les commentaires reçus des enseignants, il serait mieux de faire vivre l'intervention un peu plus tard dans l'année et de l'échelonner sur un plus grand nombre de semaines. Ceci permettrait aux élèves de passer plus de temps sur certaines activités. Cela permettrait également aux enseignants une meilleure gestion; puisque les activités étaient vécues pour la première fois par les élèves, cela nécessitait beaucoup d'accompagnement de la part de l'enseignant.

#### 5. Conclusion

En résumé, bien que l'intervention ciblant le sens des nombres et le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique permette aux élèves de développer ces deux prérequis, l'intervention en lien avec ces deux prérequis et le contrôle inhibiteur semble comporter certains avantages supplémentaires, notamment un plus grand développement des habiletés de comptage et de conservation du nombre. Par rapport à un enseignement régulier, les deux interventions de l'étude permettent de développer davantage toutes les habiletés mathématiques de base mesurées par les tests utilisés, à l'exception de la comparaison de nombres symboliques pour le groupe avec contrôle inhibiteur.

Puisque cette recherche a permis de faire ressortir l'importance d'un enseignement explicite du contrôle inhibiteur en plus des deux autres prérequis (sens des nombres et le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique), il serait intéressant de reproduire cette recherche, mais de se concentrer uniquement sur le troisième objectif de celle-ci. Cette nouvelle étude permettrait de mieux documenter l'impact de l'enseignement du contrôle inhibiteur dans une intervention mathématique au préscolaire et possiblement d'ouvrir sur le primaire, puisque cet enseignement semble être une voie prometteuse pour l'enseignement des mathématiques. Il faudrait toutefois y considérer les limites énoncées plus haut.

#### Références

- Ansari, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(4), 278-291.  
<https://doi.org/10.1038/nrn2334>
- Ansari, D., Dhital, B. et Siong, S. C. (2006). Parametric effects of numerical distance on the intraparietal sulcus during passive viewing of rapid numerosity changes. *Brain Research*, 1067(1), 181-188.  
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.10.083>
- Baroody, A. J. (1991). Procédures et principes de comptage : leur développement avant l'école. Dans J. Bideaud, C. Meljac et J.-P. Fischer (dir.), *Les chemins du nombre* (p. 133-158). Lille, France : Presses universitaires de Lille.

- Baroody, A. J., Eiland, M. D., Purpura, D. J. et Reid, E. E. (2012). Fostering at-risk kindergarten children's number sense. *Cognition and Instruction*, 30(4), 435-470. <https://doi.org/10.1080/07370008.2012.720152>
- Baroody, A. J., Eiland, M. et Thompson, B. (2009). Fostering at-risk preschoolers' number sense. *Early Education & Development*, 20(1), 80-128. <https://doi.org/10.1080/10409280802206619>
- Baroody, A. J. et Price, J. (1983). The development of the number-word sequence in the counting of three-year-olds. *Journal for Research in Mathematics Education*, 14(5), 361-368. <https://doi.org/10.2307/748681>
- Baruk S. (2003). Comptes pour petits et grands. Volume 2: Pour un apprentissage des opérations, des calculs, et des problèmes, fondé sur le langage et le sens. Paris, France : Magnard.
- Bégin, G. et Ladouceur, R. (1980). *Protocoles de recherche en sciences appliquées et fondamentales*. St-Hyacinthe, QC : Edisem.
- Bernoussi, M. (2002). Contraintes mnésiques et développementales dans la connaissance des faits arithmétiques. Dans J. Bideaud et H. Le Halle (dir.), *Le développement des activités numériques chez l'enfant* (p. 175-194). Paris, France : Hermès.
- Bideaud, J. et Lehalle, H. (dir.). (2002). *Le développement des activités numériques chez l'enfant*. Paris, France : Hermès.
- Camos, V. (2003). Coordination process in counting. *International Journal of Psychology*, 38(1), 24-36. <https://doi.org/10.1080/00207590244000269>
- Charron, C., Duquesne, F., Marchand, M.-H. et Meljac, C. (2001). L'évaluation des conduites numériques des enfants en grande difficulté. Dans A. Van Hout et C. Meljac (dir.), *Les troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (p. 336-346). Paris, France : Masson.
- Clark, C. A. C., Pritchard, V. E. et Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology*, 46(5), 1176-1191. <https://doi.org/10.1037/a0019672>
- Clements, D. H. (2007). Curriculum research: Toward a framework for "research-based curricula." *Journal for Research in Mathematics Education*, 38(1), 35-70.
- Clements, D. H., DiBiase, A.-M. et Sarama, J. (dir.). (2004). *Engaging young children in mathematics: Standards for early childhood mathematics education*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Clements, D. H. et Sarama, J. (2008). Experimental evaluation of the effects of a research-based preschool mathematics curriculum. *American Educational Research Journal*, 45(2), 443-494. <https://doi.org/10.3102/0002831207312908>
- Clements, D. H., Sarama, J., Wolfe, C. B. et Spitler, M. E. (2013). Longitudinal evaluation of a scale-up model for teaching mathematics with trajectories and technologies. *American Educational Research Journal*, 50(4), 812-850. <https://doi.org/10.3102/0002831212469270>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2<sup>e</sup> éd.). Hillsdale, NJ : Erlbaum Associates.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics* (édition révisée et mise à jour). New York, NY : Oxford University Press.
- Deshaies, I. (2017). *Effets d'une intervention didactique en mathématiques au préscolaire visant le développement du contrôle inhibiteur et adaptée au fonctionnement du cerveau sur l'apprentissage de prélabiles liés à l'arithmétique*. Thèse inédite de doctorat, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Deshaies, I., Miron, J.-M. et Masson, S. (2015). Comprendre le cerveau des élèves pour mieux les préparer aux apprentissages en arithmétique dès le préscolaire A.N.A.E., 27(134), 39-45.
- Deshaies, I., Miron, J.-M., Picard, C. et Masson, S. (2020). Mieux préparer les élèves du préscolaire à l'apprentissage de l'arithmétique : une recension des études proposant des programmes d'intervention s'appuyant sur les neurosciences. *Neuroéducation*, 6(1), 64-75. <https://doi.org/10.24046/neuroed.202000601.64>
- De Vriendt, S. et Van Nieuwenhoven, C. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : Pistes de diagnostic et supports d'intervention*. Marseilles, France : Solal.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., ... et Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.6.1428>
- Fayol, M. (2008). L'acquisition de l'arithmétique élémentaire. *Médecine/Sciences*, 24(1), 87-90. <https://doi.org/10.1051/medsci/200824187>
- Fayol, M. (2012). *L'acquisition du nombre*. Paris, France : Les Presses universitaires de France.
- Fuchs, L. S. et Fuchs, D. (2005). Enhancing mathematical problem solving for students with disabilities. *The Journal of Special Education*, 39(1), 45-57. <https://doi.org/10.1177/00224669050390010501>
- Fuson, K. (1991). Relations entre comptage et cardinalité chez les enfants de 2 à 8 ans. Dans J. Bideaud, C. Meljac et J.-P. Fisher (dir.), *Les chemins du nombre* (p. 159-179). Lille, France : Les Presses universitaires de Lille.
- Gallistel, C. R. et Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44(1-2), 43-74. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90050-r](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90050-r)



- Geary, D. C., Hamson, C. O. et Hoard, M. K. (2000). Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concept deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(3), 236-263. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2561>
- Geary, D. C., Hoard, M. K. et Bailey, D. H. (2012). Fact retrieval deficits in low achieving children and children with mathematical learning disability. *Journal of Learning Disabilities*, 45(4), 291-307. <https://doi.org/10.1177/0022219410392046>
- Gelman, R. (1978). Counting in the preschooler: What does and does not develop? Dans R. S. Siegler (dir.), *Children's thinking: What develops?* (p. 213-241). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Gersten, R., Jordan, N. C. et Flojo, J. R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 38(4), 293-304. <https://doi.org/10.1177/00222194050380040301>
- Grégoire, J. et Van Nieuwenhoven, C. (1995). Counting at nursery school and at primary school: Toward an instrument for diagnostic assessment. *European Journal of Psychology of Education*, 10(1), 61-75. <https://doi.org/10.1007/bf03172795>
- Griffin, S. (2004). Building number sense with number worlds: A mathematics program for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.012>
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., ... et Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(3), 332-346. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.04.008>
- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B. et Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain: The neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 721-728. <https://doi.org/10.1162/089892900562525>
- Imbert, D. (2005). *Pluralité des voies d'acquisition du comptage, ressources cognitives et acquisitions numériques*. Thèse de doctorat inédite, Université de Nantes, France.
- Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W. et Volkman, J. (1949). The discrimination of visual number. *The American Journal of Psychology*, 62(4), 498-525. <https://doi.org/10.2307/1418556>
- Klein, J. S. et Bizanz, J. (2000). Preschoolers doing arithmetic: The concepts are willing but the working memory is weak. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54(2), 105-116. <https://doi.org/10.1037/h0087333>
- Kohn, A. (2004). Feel-bad education : The cult of rigor and the loss of joy. *Education Week*, 24(3), 44-45.
- Koontz, K. L. (1996). Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children. *Mathematical Cognition*, 2(1), 1-24. <https://doi.org/10.1080/135467996387525>
- Landerl, K., Bevan, A. et Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition*, 93(2), 99-125. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.11.004>
- Lépine, R., Camos, V. et Barrouillet, P. (2003). Différences individuelles chez l'enfant. Mémoire de travail et attention contrôlée. Dans A. Vom Hofe, H. Charvin, J. L. Bernaud et D. Guedon (dir.), *Psychologie différentielle : recherches et réflexions* (p. 227-231). Rennes, France : Presses universitaires de Rennes.
- Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A. et Rossi, S. (2012). Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans. *Neuroéducation*, 1(1), 55-84. <https://doi.org/10.24046/neuroed.2012010155>
- McGahee, T. W. et Tingen, M. S. (2000). The effects of a smoking prevention curriculum on fifth-grade children's attitudes, subjective norms and refusal skills. *Southern Online Journal of Nursing Research*, 1(2), 1-28.
- Ministère de l'éducation, du loisir et du sport (MELS). (2003). *Programme de formation à l'école québécoise. Éducation préscolaire. Enseignement primaire*. Québec, QC : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'éducation, du loisir et du sport (MELS). (2013). *Projet de programme d'éducation préscolaire; maternelle 4 ans à temps plein en milieu défavorisé*. Québec, QC : Gouvernement du Québec.
- Mussolin, C., Mejias, S. et Noël, M.-P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition*, 115(1), 10-25. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.10.006>
- Noël, M.-P. (2005). *La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant*. Marseille, France: Editions Solal.
- Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B. et Ansari, D. (2013). A two-minute paper-and-pencil test of symbolic and nonsymbolic numerical magnitude processing explains variability in primary school children's arithmetic competence. *PLoS ONE*, 8(7), e67918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067918>
- Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., ... et Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116(1), 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.03.012>
- Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D. et Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron*, 44(3), 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.10.014>



- Rossi, S., Lubin, A., Lanoë, C. et Pineau, A. (2012). Une pédagogie du contrôle cognitif pour l'amélioration de l'attention à la consigne chez l'enfant de 4-5 ans. *Neuroéducation*, 1(1), 29-54.  
<https://doi.org/10.24046/neuroed.20120101.29>
- Rourke, B. P. et Conway, J. A. (1997). Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning. Perspectives from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning Disabilities*, 30(1), 34-46.  
<https://doi.org/10.1177/002221949703000103>
- Rousselle, L. et Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3), 361-395.  
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005>
- Solomon, R. L. (1949). An extension of control group design. *Psychological Bulletin*, 46(2), 137-150.  
<https://doi.org/10.1037/h0062958>
- Sophian, C. (1998). A developmental perspective on child counting. Dans C. Donlan (dir.), *The development of mathematical skills* (p. 37-46). Hove, England : Psychology Press.
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J. et Noël, M.-P. (2005). TEDI-MATH : Test diagnostique des compétences de base en mathématiques. Paris, France : Les éditions du centre de psychologie appliquée (ECPA).
- Wilson, A. J., Revkin, S. K., Cohen, D., Cohen, L. et Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 20.  
<https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-20>

## RECHERCHE EXPÉRIMENTALE

**Le neuromythe des « styles d'apprentissage » VAK (visuel, auditif, kinesthésique) : une tentative de démystification auprès d'apprentis enseignants franco-ontariens**Luc Rousseau<sup>1\*</sup> et Jeanne Brabant-Beaulieu<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

L'idée selon laquelle un élève apprend mieux lorsque le contenu pédagogique est présenté dans sa modalité sensorielle préférée (p. ex. présenter des diagrammes ou des images à un élève « visuel ») ne repose sur aucun fondement scientifique. Comme d'autres fausses croyances sur le cerveau et l'apprentissage (p. ex. *On utilise seulement 10 % de notre cerveau*), il s'agit d'un *neuromythe*. La prévalence internationale d'adhésion au neuromythe des « styles d'apprentissage » VAK (visuel, auditif, kinesthésique) dans le milieu de l'éducation est en moyenne de 88 %. Cette fausse croyance semble profondément ancrée dans l'expérience personnelle des enseignants. En effet, dans une recherche récente, après avoir été exposés au savoir scientifique disqualifiant leur utilité pédagogique, 90 % des répondants ont rejeté le bien-fondé conceptuel des styles d'apprentissage, mais un tiers d'entre eux ont indiqué vouloir malgré tout continuer d'employer ce concept dans leur pratique enseignante, dont 89 % en raison de leur expérience personnelle (p. ex. *Je l'observe en classe*). Les observations anecdotiques sembleraient donc protéger les neuromythes de l'assaut du savoir scientifique. Dans la présente étude, nous avons émis l'hypothèse que la création d'une anecdote personnelle disqualifiant l'utilité pédagogique des styles d'apprentissage VAK puisse former, avec le savoir scientifique, une alliance suffisamment puissante pour faire contrepoids aux anecdotes déjà vécues par les répondants et déstabiliser cette fausse croyance. Des apprentis enseignants ont réalisé une activité didactique dans laquelle le contenu pédagogique était présenté dans la modalité sensorielle (visuelle ou auditive) correspondant ou non à leur propre « style d'apprentissage » (préssumé). Les participants ont ensuite été confrontés à la fois à l'absence de preuves scientifiques et à leurs propres données personnelles disqualifiant l'idée d'un meilleur apprentissage lorsque la modalité sensorielle dans laquelle le contenu pédagogique est présenté correspond au « style d'apprentissage » de l'apprenant. De 100 % avant l'intervention, le pourcentage d'apprentis enseignants ayant indiqué avoir l'intention d'utiliser des pratiques pédagogiques inspirées des styles d'apprentissage VAK a décliné à 60 % après l'intervention. Ce taux considérable de résistance à l'intervention suggère que l'anecdote créée n'avait pas une puissance suffisante pour déstabiliser la fausse croyance. Des pistes de recherche futures sont suggérées pour consolider la nouvelle anecdote, dont notamment une intervention visant à réaliser l'activité didactique auprès d'élèves, de sorte que les participants puissent être témoins de contre-exemples directement issus du milieu éducatif.

<sup>1</sup> Département de psychologie, Université Laurentienne, Sudbury, ON, Canada\* Correspondance avec l'auteur : [lrousseau@laurentienne.ca](mailto:lrousseau@laurentienne.ca)

**Pour citer cet article :** Rousseau, L. et Brabant-Beaulieu, J. (2020). Le neuromythe des « styles d'apprentissage » VAK (visuel, auditif, kinesthésique) : une tentative de démystification auprès d'apprentis enseignants franco-ontariens. *Neuroéducation*, 6(1), 65-91.

DOI: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20200601.37>

Reçu le 15 août 2019. Révision reçue le 20 décembre 2019.

Accepté le 7 janvier 2020. Publié en ligne le 6 juin 2020.

*Neuroéducation*, 6(1), 65-91

ISSN: 1929-1833

Tous droits réservés © 2020 - Association pour la recherche en neuroéducation

## 1. Introduction

La très grande majorité des recherches scientifiques en neuroéducation portent sur le fonctionnement du cerveau de l'apprenant *en général*. Or, les instances scolaires insistent beaucoup sur l'unicité de chaque élève et sur le devoir des enseignants de répondre aux besoins *individuels* en matière d'apprentissage. Dans ce contexte, certaines idées fausses, mais qui semblent intuitivement fondées, peuvent exercer un attrait sur le milieu de l'éducation, dont celle de l'existence de « profils » particuliers de fonctionnement cérébral chez les apprenants. En effet, pour répondre aux besoins de ses élèves, un enseignant pourrait être enclin à adapter son enseignement aux élèves « cerveau droit », aux élèves avec un « style d'apprentissage kinesthésiques », ou encore aux élèves dotés d'une « intelligence interpersonnelle ». Or, de tels profils particuliers de fonctionnement cérébral chez les apprenants, non appuyés par la recherche scientifique, sont qualifiés de *neuromythes* : des fausses croyances sur le cerveau et l'apprentissage (p. ex. Geake, 2008; Howard-Jones, 2014; Masson, 2015; Pasquinelli, 2012; Tardif et Doudin, 2010).

Si les pratiques pédagogiques inspirées des neuromythes traduisent un intérêt croissant du milieu de l'éducation envers les fondements cérébraux de l'apprentissage, leur adoption pourrait toutefois entraîner des effets nuisibles. Ainsi, un élève étiqueté comme un apprenant « visuel » pourrait percevoir sa capacité d'apprentissage comme étant confinée à des contenus pédagogiques uniquement présentés dans cette modalité sensorielle (angl. “*pigeon-holing*”; Newton, 2015). De plus, une trop vaste adhésion de la profession enseignante aux neuromythes et le recours à des pratiques pédagogiques inspirées de telles fausses croyances pourraient entraîner une perte de temps et de ressources précieuses, qui seraient mieux investies dans l'adoption de pratiques pédagogiques probantes, appuyées par la recherche scientifique.

Dans cet article, nous abordons, dans un premier temps, trois neuromythes populaires dans le milieu de l'éducation. Dans un deuxième temps, nous nous attardons aux enquêtes internationales sur les neuromythes, avec une emphase particulière sur celui des « styles d'apprentissage » VAK (visuel, auditif, kinesthésique). Nous soulevons ensuite, dans un troisième temps, l'influence exercée par les biais cognitifs sur l'adhésion à de telles fausses croyances. Dans un quatrième temps, nous passons en revue des études expérimentales ayant testé l'efficacité d'interventions visant à dissiper les neuromythes. Enfin, dans un cinquième temps, nous proposons une intervention originale visant à démystifier, spécifiquement, le neuromythe des styles d'apprentissage VAK, puis rapportons les résultats d'une étude expérimentale visant à tester l'efficacité de cette intervention auprès d'un échantillon d'apprentis enseignants franco-ontariens inscrits dans un programme de formation initiale à l'enseignement.

### 1.1 Trois neuromythes populaires

Dans cette section, nous abordons trois neuromythes populaires dans le milieu de l'éducation. Il s'agit de fausses

croyances sur l'existence de profils particuliers de fonctionnement cérébral chez les apprenants : le neuromythe de la dominance hémisphérique, le neuromythe des intelligences multiples et le neuromythe des styles d'apprentissage VAK.

D'abord, un neuromythe fort répandu dans le milieu de l'éducation est celui de la dominance hémisphérique, selon lequel l'un des deux hémisphères cérébraux serait prédominant dans le processus d'apprentissage. Les expressions « élève cerveau gauche » et « élève cerveau droit » cristallisent cette fausse croyance. Entre autres facteurs, une extrapolation abusive de travaux scientifiques sur la spécialisation fonctionnelle des hémisphères cérébraux pourrait avoir contribué à l'émergence de ce neuromythe (Lindell et Kidd, 2011). Des travaux désormais classiques ont été réalisés dans les années 1960 (p. ex. Gazzaniga, Bogen et Sperry, 1965) chez des patients dont le corps calleux – un faisceau composé de 200 millions de fibres nerveuses connectant les deux hémisphères – a été sectionné chirurgicalement (callosotomie). Dans des conditions de laboratoire très contrôlées, une certaine latéralisation des fonctions cérébrales (notamment les fonctions langagières dans l'hémisphère gauche et les fonctions spatiales dans l'hémisphère droit) se manifeste chez les rares patients dits à cerveau divisé (angl. *split brain patients*; pour une synthèse, voir Gazzaniga, 2005; Sperry, 1982).

Des travaux plus récents de neuroimagerie par résonance magnétique fonctionnelle ont également démontré que les fonctions langagières sont, chez la plupart des individus « normaux » (et non seulement chez les patients à cerveau divisé), latéralisées dans l'hémisphère gauche (p. ex. Holland et al., 2007). Toutefois, latéralisation et dominance hémisphérique ne sont pas des termes interchangeables. En effet, une étude de neuroimagerie par résonance magnétique fonctionnelle, réalisée par Nielsen et ses collaborateurs (2013) chez 1 011 individus « normaux » (424 femmes et 587 hommes, dont l'âge variait entre 7 et 29 ans), a confirmé la latéralisation des fonctions langagières dans l'hémisphère gauche et suggéré la latéralisation de fonctions attentionnelles dans l'hémisphère droit. Cependant, ces données de neuroimagerie fonctionnelle n'ont dévoilé aucun patron particulier d'activité corticale démontrant la dominance d'un hémisphère cérébral sur l'autre. Par conséquent, les pratiques pédagogiques adaptées aux élèves « cerveau droit » (soi-disant intuitifs, émotionnels et créatifs) et aux élèves « cerveau gauche » (soi-disant analytiques, logiques et rationnels) ne sont pas appuyées par la recherche scientifique.

Ensuite, un autre neuromythe fort populaire en éducation est celui des intelligences multiples. En effet, certaines théories formulées par des chercheurs universitaires, mais qui n'ont pas surmonté l'épreuve de la validation scientifique, peuvent exercer un attrait sur le milieu de l'éducation, en particulier si ces théories mettent l'emphase sur des différences individuelles sur le plan du fonctionnement cérébral. C'est le

cas de la théorie des intelligences multiples (Gardner, 1983/1997), qui propose l'existence de formes d'intelligence variées (musicale, corporelle-kinesthésique, visuo-spatiale, logico-mathématique, verbale-linguistique, interpersonnelle, naturaliste...), neurologiquement indépendantes les unes des autres. Tout individu serait doté de ces intelligences, mais à des degrés divers. Selon Visser, Ashton et Vernon (2006), l'attrait exercé par la théorie des intelligences multiples sur le milieu de l'éducation s'explique en partie par la vision « égalitariste » que dégage cette théorie : tous les élèves auraient une chance égale d'être intelligents, mais chacun posséderait sa propre forme d'intelligence. Si un élève éprouve de la difficulté en mathématique, il pourrait néanmoins réussir en littérature, en musique, ou encore en éducation physique.

Or, aussi populaire et séduisante que puisse être la théorie des intelligences multiples dans le contexte des politiques actuelles de « réussite éducative pour tous » et d'inclusion scolaire, ses assises empiriques sont quasi-inexistantes et son auteur s'est dissocié de sa formulation initiale (Gardner, 2016). En plus de la nature même des formes d'intelligence décrites par Gardner (1983/1997), qui s'apparenteraient davantage à des talents, leur indépendance a sérieusement été remise en question (Furnham, 2009; Larivée et Sénéchal, 2012; Visser et al., 2006; Waterhouse, 2006; Willingham, 2004). En raison du manque de preuves scientifiques de leur validité, les intelligences multiples sont considérées par de nombreux auteurs comme un neuromythe (Blanchette Sarrasin, Riopel et Masson, 2019; Dekker, Lee, Howard-Jones et Jolles, 2012; Ferrero, Garaizar et Vadillo, 2016; Geake, 2008; Howard-Jones, 2014; Howard-Jones, Franey, Mashmouhi et Liao, 2009; Ruhaak et Cook, 2018). Par conséquent, les pratiques pédagogiques adaptées aux intelligences multiples des apprenants ne sont pas appuyées par la recherche scientifique.

Enfin, un neuromythe omniprésent dans le milieu de l'éducation est celui de l'existence de styles d'apprentissage, et notamment de styles basés sur les modalités sensorielles visuelle, auditive et kinesthésique (VAK). Selon Masson (2015), deux idées fausses sous-tendent ce neuromythe. Premièrement, il y a l'idée fausse que chaque apprenant possède un cerveau unique, donc possède un style d'apprentissage unique. Or, s'il est vrai qu'à partir des quelque 100 milliards de neurones dont dispose le cerveau humain à la naissance, un réseau unique de connections synaptiques se développe chez un individu, il est faux d'affirmer qu'un tel développement *individualise entièrement* le cortex, au point de rendre chaque cerveau unique et de l'optimiser pour traiter plus efficacement une information sensorielle spécifique (visuelle, auditive, ou kinesthésique)<sup>1</sup>. En effet, si le cortex est doté d'aires sensorielles anatomiquement distinctes, l'idée que l'une d'entre elles puisse être stimulée de manière isolée et dominer les autres aires sensorielles est incompatible avec les connaissances scientifiques sur l'architecture fonctionnelle du cerveau. Le cortex est en effet constitué d'un ensemble de

réseaux neuronaux anatomiquement distribués. Notamment, les aires corticales sensorielles sont interconnectées via des points de passage à haut débit (angl. *hub nodes*), favorisant le transfert intermodal de l'information (Álvarez-Montero, Reyes-Sosa, Leyva-Cruz et Fragoza-Padilla, 2019). De plus, des aires corticales associatives dites hétéromodales, communes à tous les cerveaux humains, intègrent les signaux sensoriels unimodaux pour constituer des perceptions unifiées (Calvert, Campbell et Brammer, 2000). Par conséquent, affirmer que le cerveau prédispose un apprenant à un style d'apprentissage unique basé sur une modalité sensorielle donnée relève d'une fausse croyance.

Deuxièmement, selon Masson (2015), il y a l'idée fausse qu'un enseignement adapté au style d'apprentissage préféré d'un apprenant soit, par le fait même, adapté à son profil particulier de fonctionnement cérébral, et donc qu'un tel enseignement optimise son apprentissage. En soi, les *préférences personnelles* pour recevoir l'enseignement dans l'une ou l'autre modalité sensorielle ne constituent pas un neuromythe. Les préférences personnelles sont ce qu'elles sont : de simples préférences. Toutefois, l'idée selon laquelle un élève *apprend mieux* lorsque le contenu pédagogique est présenté dans sa modalité sensorielle préférée constitue, à la lumière des connaissances scientifiques actuelles, un neuromythe. En effet, selon l'hypothèse dite d'appariement (angl. *matching hypothesis*), la qualité de l'apprentissage devrait s'avérer supérieure quand l'enseignement est apparié à la modalité sensorielle dite préférée de l'apprenant (Pashler, McDaniel, Rohrer et Bjork, 2008).

Or, selon une synthèse récente de la littérature scientifique (Rousseau, Gauthier et Caron, 2018), aucune démonstration empirique de la validité de l'hypothèse d'appariement n'est disponible à ce jour, et ce, quelle que soit la méthode scientifique utilisée (devis corrélationnel, devis expérimental, neuroimagerie par résonance magnétique fonctionnelle, stimulation magnétique transcrânienne, enregistrement des mouvements oculaires), quel que soit l'instrument utilisé pour mesurer les styles d'apprentissage VAK et quelle que soit la mesure de rendement (mémorisation, compréhension, jugement de similarité, note finale dans un cours). Trois autres études expérimentales, publiées depuis, ont rejeté l'hypothèse d'appariement (Aslaksen et Lorås, 2019; Cuevas et Dawson, 2018; Rogowsky, Calhoun et Tallal, 2020). De plus, une méta-analyse récente (Aslaksen et Lorås, 2018), réalisée sur un corpus de dix études scientifiques totalisant 13 expériences, a révélé une taille d'effet globale faible et non significative, tant pour un appariement visuel ( $g = -0,09$ ) que pour un appariement auditif ( $g = -0,027$ ). Par conséquent, les pratiques pédagogiques adaptées aux styles d'apprentissage VAK (p. ex. visionnement d'images ou de diagrammes pour les élèves « visuels »; écoute de sons ou de paroles pour les élèves « auditifs »; manipulation d'objets pour les élèves « kinesthésiques ») ne sont pas appuyées par la recherche scientifique.

<sup>1</sup> De plus, les connections synaptiques ne sont pas permanentes, mais plutôt malléables (plasticité cérébrale) tout au long de la vie.



À titre d'illustration de l'une des nombreuses mises à l'épreuve empiriques de l'hypothèse d'appariement, Cuevas et Dawson (2018) ont d'abord administré à leurs participants un questionnaire pour déterminer si leur style d'apprentissage était davantage à prédominance visuelle ou auditive. Puis, les participants étaient invités à compléter une tâche dans laquelle 20 phrases étaient présentées oralement (p. ex. : *La grenouille verte sauta dans la piscine*; traduction libre). La moitié des participants ont reçu la directive de visualiser la phrase, puis d'indiquer, sur une échelle de type Likert à cinq niveaux (de 1 = impossible à imaginer à 5 = très facile à imaginer), leur degré de facilité à former une image mentale claire (angl. *vivid*) de l'action exécutée dans la phrase. L'autre moitié des participants ont reçu la directive de penser aux sons produits par les mots de la phrase, en répétant la phrase silencieusement, puis d'indiquer, sur une échelle de type Likert à cinq niveaux (de 1 = très difficile à prononcer à 5 = très facile à prononcer), leur degré de facilité à prononcer la phrase. Par la suite, les participants étaient conviés à un test de rappel indicé, consistant à répondre à 20 questions correspondant aux 20 énoncés (p. ex. : *La grenouille verte sauta dans quoi?*).

Selon l'hypothèse d'appariement, les participants avec un style d'apprentissage prédominant « visuel » devraient obtenir un meilleur score de rappel indicé à la suite d'une tâche de visualisation mentale plutôt qu'à la suite d'une tâche de prononciation, alors qu'un patron inverse de résultats devrait être obtenu par les participants avec un style d'apprentissage prédominant « auditif ». Or, aucune interaction croisée GROUPE (« visuel » vs. « auditif ») × TÂCHE (visualisation vs. prononciation) – soit la signature de l'effet d'appariement (Pashler et al., 2008) – ne fut observée. En fait, le score de rappel indicé s'est avéré significativement supérieur à la suite d'une tâche de visualisation mentale (effet principal de TÂCHE), quel que soit le style d'apprentissage prédominant des participants (tel que déterminé par le questionnaire). Cuevas et Dawson (2018) ont conclu que la théorie du double encodage (Paivio, 1971, 1986) était plus apte à expliquer les résultats que le concept de styles d'apprentissage VAK.

Bien que dans la littérature tant scientifique que populaire actuelle, l'expression « style d'apprentissage » soit devenue quasi-synonyme de préférence d'apprentissage VAK, une multitude de modèles de styles d'apprentissage ont été proposés depuis plus de 40 ans (pour une synthèse historique, voir Chevrier, Fortin, Leblanc et Théberge, 2000). En effet, Coffield, Moseley, Hall et Ecclestone (2004a, 2004b) ont répertorié 71 modèles de styles d'apprentissage. Dans la plupart de ces modèles, les styles d'apprentissage sont exprimés sous la forme de dichotomies – à titre d'exemples : style global vs. analytique; style séquentiel vs. simultané; style réflexif vs. actif. Toutefois, après une analyse exhaustive des 13 modèles de styles d'apprentissage jugés les plus influents, Coffield et al. (2004a, 2004b) ont conclu que les qualités conceptuelles et psychométriques de ces modèles ne répondent pas aux standards scientifiques.

En somme, les mises en garde envers l'adhésion aux neuromythes et l'adoption de pratiques pédagogiques inspirées de ces fausses croyances sur le cerveau et l'apprentissage sont nombreuses, tant dans la sphère scientifique (Alferink, 2007; Dembo et Howard, 2007; Doudin, Tardif et Meylan, 2016; Geake, 2008; Kirschner, 2017; Masson, 2015; Newton, 2015; Pasquinelli, 2012; Riener et Willingham, 2010; Rohrer et Pashler, 2012; Rousseau et al., 2018; Scott, 2010; Sharp, Bowker et Byrne, 2008; Stahl, 1999; Willingham, Hughes et Dobolyi, 2015) que dans la sphère publique (Adey et Dillon, 2012; Baillargeon, 2013; De Bruyckere, Kirschner et Hulshof, 2015; Hood et al., 2017; Pasquinelli, 2015). Or, en dépit de telles mises en garde répétées, les enquêtes internationales attestent d'une adhésion massive aux neuromythes dans le milieu de l'éducation.

## 1.2 Enquêtes sur la prévalence des neuromythes

Plusieurs enquêtes internationales sur la prévalence des neuromythes ont été réalisées au cours des dix dernières années, de sorte que des données sont maintenant disponibles pour 14 pays, répartis sur cinq continents. Les échantillons sondés sont surtout composés d'apprentis enseignants (en formation initiale ou spécialisée), d'enseignants en exercice (au niveau préscolaire, primaire ou secondaire), ainsi que d'étudiants et professeurs d'institutions d'enseignement supérieur (au collège ou à l'université). Largement inspirée de l'enquête influente de Dekker et al. (2012), la méthodologie employée dans l'ensemble des enquêtes est relativement homogène. Une série d'énoncés est présentée aux répondants. La moitié des énoncés sont des affirmations générales non contestées sur le cerveau et l'apprentissage (p. ex. *L'apprentissage produit des changements dans les connexions entre les neurones*), tandis que l'autre moitié des énoncés sont des affirmations faisant référence à des neuromythes (p. ex. *On utilise seulement 10 % de notre cerveau*). Les répondants indiquent leur degré d'accord avec chaque énoncé, ce qui sert à établir le taux de connaissances en neurosciences, d'une part, et d'adhésion aux neuromythes, d'autre part.

Fait intéressant, la relation entre les connaissances générales non contestées sur le cerveau et l'apprentissage et l'adhésion aux neuromythes semble différer selon que les répondants soient des apprentis enseignants ou des enseignants dans l'exercice de leur profession. Ainsi, plus les apprentis enseignants possèdent de connaissances générales non contestées sur le cerveau et l'apprentissage, moins ils adhèrent aux neuromythes (Howard-Jones et al., 2009; Papadatou-Pastou, Haliou et Vlachos, 2017). Inversement, plus les enseignants en exercice possèdent de telles connaissances générales, plus ils adhèrent aux neuromythes (Dekker et al., 2012; Ferrero et al., 2016; Gleichgerricht, Lira Luttgés, Salvarezza et Campos, 2015). Ce patron de résultats semble suggérer que l'exposition aux neurosciences puisse servir de « bouclier » contre les neuromythes, du moins chez les étudiants fréquentant des programmes de formation en enseignement. Toutefois, il s'agit d'une relation corrélative qui, nous le

verrons plus loin, ne résiste pas à la mise à l'épreuve expérimentale.

De plus, toutes les enquêtes sur les neuromythes que nous avons recensées, à une exception près (Hermida, Segretin, García et Lipina, 2016), ont sondé l'adhésion au neuromythe des styles d'apprentissage VAK. L'énoncé le plus fréquemment utilisé est celui de Dekker *et al.* (2012) : « Les individus apprennent mieux quand ils reçoivent l'information dans leur style d'apprentissage préféré (p. ex. visuel, auditif, kinesthésique) ». Le tableau 1 présente la prévalence du neuromythe des styles d'apprentissage VAK dans divers pays. Tous échantillons confondus ( $n = 25$ ), le pourcentage de répondants adhérant au neuromythe des styles d'apprentissage VAK varie de 58 % à 98 %, avec une moyenne de 88 % et un écart-type de 10,6. Chez les échantillons composés uniquement d'enseignants ( $n = 11$ ), la prévalence moyenne est de 90 % (é.-t. = 7,8). Chez les trois échantillons composés uniquement d'apprentis enseignants en formation initiale, la prévalence est de 97 % (Australie), de 94 % (Grèce) et de 82 % (Royaume-Uni). Enfin, chez les trois échantillons composés uniquement d'apprentis enseignants poursuivant une spécialité, la prévalence est de 93 % à 95 % (biologie; Allemagne) et de 77 % (éducation spécialisée; États-Unis). La prévalence la plus forte (98 %) a été observée en Turquie, chez un échantillon hétérogène d'apprentis enseignants en formation initiale ou spécialisée (mathématiques ou sciences).

Parmi les neuromythes sondés, celui des styles d'apprentissage VAK enregistre la prévalence la plus élevée chez 14 des 25 échantillons recensés au tableau 1, ce qui témoigne de son ubiquité. Deux autres fausses croyances se disputent la première place : le neuromythe de la dominance hémisphérique (p. ex. « Des différences dans la dominance cérébrale [cerveau gauche, cerveau droit] peuvent aider à expliquer des différences individuelles entre les apprenants »; Dekker *et al.*, 2012, traduction libre) et le neuromythe de l'environnement enrichi (p. ex. « Les environnements riches en stimulations améliorent le cerveau des jeunes enfants »; *Ibid.*, traduction libre).

Par ailleurs, l'évolution de la prévalence d'adhésion aux neuromythes est difficile à établir, aucun échantillon particulier n'ayant fait l'objet d'un suivi longitudinal. Globalement, pour le neuromythe des styles d'apprentissage VAK (voir tableau 1), chez 13 échantillons de répondants sondés entre 2009 et 2016, la prévalence moyenne était de 90 % (é.-t. = 8,9), tandis que chez 12 échantillons de répondants sondés entre 2017 et 2019, elle était de 85 % (é.-t. = 11,4). Cependant, en raison de l'hétérogénéité des pays, des échantillons et des sondages, il est difficile d'établir un profil évolutif. Ainsi, au Royaume-Uni, si la prévalence d'adhésion au neuromythe des styles d'apprentissage VAK était de 93 % en 2012 chez les enseignants (niveaux primaire et secondaire; Dekker *et al.*, 2012), cinq ans plus tard, elle était de 58 % chez les professeurs (collèges et universités; Newton

et Miah, 2017). Or, les professeurs présentaient déjà, en 2014, une prévalence moindre (64 %), du moins aux États-Unis (Dandy et Bendersky, 2014). Ces données semblent donc indiquer un taux d'adhésion moindre chez les professeurs, plutôt qu'une tendance vers le déclin de l'adhésion aux neuromythes dans le milieu de l'éducation. L'origine de la disparité enseignants/professeurs mériterait par ailleurs d'être approfondie.

De plus, le neuromythe des styles d'apprentissage VAK inspirerait nombre de pratiques pédagogiques. Au Québec, dans l'enquête réalisée par Blanchette Sarrasin *et al.* (2019) aux niveaux préscolaire, primaire et secondaire, près des deux tiers (64,9 %) des enseignants se disant *plutôt en accord* ou *fortement en accord* avec l'énoncé du neuromythe des styles d'apprentissage VAK « Les individus apprennent mieux quand ils reçoivent l'information dans leur style d'apprentissage préféré (p. ex. visuel, auditif, kinesthésique) » ont indiqué utiliser *régulièrement* les styles d'apprentissage VAK dans leur pratique enseignante. Dans des institutions d'enseignement supérieur (collèges et universités), des professeurs britanniques ont indiqué, dans une proportion égale de 33 %, avoir déjà évalué les styles d'apprentissage en classe et avoir utilisé, au cours des douze derniers mois, des méthodes visant à adapter leur enseignement aux styles d'apprentissage de leurs étudiants (Newton et Miah, 2017).

### 1.3 L'influence des biais cognitifs

Dans la littérature scientifique, encore peu de travaux ont été réalisés sur l'influence des biais cognitifs sur l'adhésion aux neuromythes. Pourtant, il est permis de soupçonner qu'il s'agit là d'un facteur important à considérer dans les interventions visant à démystifier ces fausses croyances sur le cerveau et l'apprentissage (Blanchette Sarrasin *et al.*, 2019; Pasquinelli, 2012; Riener et Willingham, 2010).

En effet, l'existence de styles d'apprentissage basés sur la modalité sensorielle préférée d'un élève est une idée intuitivement attrayante. Si de telles intuitions sont confirmées par des observations anecdotiques, elles peuvent se consolider. Selon Riener et Willingham (2010), le *bias de confirmation*, la tendance à privilégier les informations qui confortent nos croyances ou idées préconçues au détriment des informations qui les contredisent (Risen et Gilovich, 2007), contribue au maintien du neuromythe des styles d'apprentissage VAK. Ainsi, une enseignante qui observe chez certains élèves une meilleure compréhension d'un concept, après avoir présenté un schéma illustratif, pourrait être amenée à conclure que ces élèves apprennent mieux lorsque le contenu pédagogique est présenté dans la modalité sensorielle qui correspond à leur propre « style d'apprentissage ». Cependant, tel que mentionné par Riener et Willingham (2010) les situations qui contredisent nos intuitions sont peu considérées. Ainsi, l'élève dite auditive qui excelle en musique apprend-elle mieux la géographie en écoutant plutôt qu'en regardant la leçon?

**Tableau 1.** Prévalence du neuromythe des styles d'apprentissage VAK dans divers pays.

Auteurs	Pays	Échantillon	n	Prévalence
Grospietsch et Mayer (2018)	Allemagne	Apprentis enseignants (biologie)	40	95 % <sup>1,11</sup>
Grospietsch et Mayer (2019)	Allemagne	Apprentis enseignants (biologie)	550	93 % <sup>1,11</sup>
Gleichgerricht et al. (2015)	Argentine	Enseignants	551	86 % <sup>1,7</sup>
Kim et Sankey (2018)	Australie	Apprentis enseignants (formation initiale)	1 144	97 % <sup>1,6</sup>
Blanchette Sarrasin et al. (2019)	Canada (Québec)	Enseignants francophones	972	74 % <sup>1,13</sup>
Gleichgerricht et al. (2015)	Chili	Enseignants	598	95 % <sup>1,7</sup>
Howard-Jones (2014)	Chine	Enseignants	238	97 % <sup>1,7</sup>
Zhang et al. (2019)	Chine	Directeurs d'école	253	93 % <sup>2,10</sup>
Ferrero et al. (2016)	Espagne	Enseignants	284	91 % <sup>1,7</sup>
Dandy et Bendersky (2014)	États-Unis	Étudiants (collège, université)	164	88 % <sup>4</sup>
		Professeurs (collège, université)	81	64 % <sup>4</sup>
Ruhaak et Cook (2018)	États-Unis	Apprentis enseignants (éducation spécialisée)	129	77 % <sup>2,7</sup>
Howard-Jones (2014)	Grèce	Enseignants	174	96 % <sup>1,7</sup>
Papadatou-Pastou et al. (2017)	Grèce	Apprentis enseignants (formation initiale)	573	94 % <sup>1,7</sup>
Dekker et al. (2012)	Hollande	Enseignants	105	96 % <sup>1,7</sup>
Gleichgerricht et al. (2015)	Pérou	Enseignants	2 222	91 % <sup>1,7</sup>
Howard-Jones et al. (2009)	Royaume-Uni	Apprentis enseignants (formation initiale)	158	82 % <sup>1,8</sup>
Dekker et al. (2012)	Royaume-Uni	Enseignants	137	93 % <sup>1,7</sup>
Newton et Miah (2017)	Royaume-Uni	Professeurs (collège, université)	114	58 % <sup>1,12</sup>
Tardif et al. (2015)	Suisse francophone	Enseignants	101	
		Formateurs	22	
		Apprentis enseignants (formation initiale)	160	
		Total	283	87 % <sup>3,9</sup>
Karakus et al. (2015)	Turquie	Enseignants	278	97 % <sup>1,7</sup>
Dündar et Gündüz (2016)	Turquie	Apprentis enseignants (formation initiale)	1 279	
		Mathématiques	826	
		Science	827	
		Total	2 932	98 % <sup>1,7</sup>
Macdonald et al. (2017)	International	Grand public	3 045	93 % <sup>2,5</sup>
		Enseignants	598	76 % <sup>2,5</sup>
		Exposition élevée aux neurosciences <sup>14</sup>	234	78 % <sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> Énoncé (traduction libre) : Les individus apprennent mieux quand ils reçoivent l'information dans leur style d'apprentissage préféré (p. ex. visuel, auditif, kinesthésique).

<sup>2</sup> Énoncé (traduction libre) : Les individus apprennent mieux quand ils reçoivent l'information dans leur style d'apprentissage préféré.

<sup>3</sup> Énoncé : Une approche pédagogique basée sur la distinction entre les élèves visuels et auditifs favorise l'apprentissage.

<sup>4</sup> Énoncé (traduction libre) : Est-ce qu'enseigner selon le style d'apprentissage d'un élève améliore l'apprentissage? La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant répondu Oui parmi les choix de réponses Oui, Non et Incertain.

<sup>5</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué Vrai parmi les choix de réponses Vrai et Faux.

<sup>6</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué Correct parmi les choix de réponses Correct et Incorrect.

<sup>7</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué Correct parmi les choix de réponses Correct, Incorrect et Ne sais pas.

<sup>8</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué En accord parmi les choix de réponses En accord, En désaccord et Ne sais pas.

<sup>9</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué 3 ou 4 sur une échelle de type Likert à quatre niveaux : (1) *Totalement en désaccord*; (2) *Plutôt en désaccord*; (3) *Plutôt en accord*; (4) *Totalement en accord*.

<sup>10</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué 3 ou 4 sur une échelle de type Likert à quatre niveaux : (1) *Fortement en désaccord*; (2) *En désaccord*; (3) *En accord*; (4) *Fortement en accord*.

<sup>11</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué 3 ou 4 sur une échelle de type Likert à quatre niveaux : (1) *Fortement en désaccord*; (2) *Plutôt en désaccord*; (3) *Plutôt en accord*; (4) *Fortement en accord*.

<sup>12</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué 4 ou 5 sur une échelle de type Likert à cinq niveaux : (1) *Totalement en désaccord*; (2) *Plutôt en désaccord*; (3) *Ni en accord ni en désaccord*; (4) *Plutôt en accord*; (5) *Totalement en accord*.

<sup>13</sup> La prévalence correspond au pourcentage de participants ayant indiqué 4 ou 5 sur une échelle de type Likert à cinq niveaux : (1) *Fortement en désaccord*; (2) *Plutôt en désaccord*; (3) *Indécis*; (4) *Plutôt en accord*; (5) *Fortement en accord*.

<sup>14</sup> L'échantillon de participants avec exposition élevée aux neurosciences était constitué de répondants du grand public ayant indiqué avoir suivi plusieurs cours sur le cerveau ou sur les neurosciences au collège ou à l'université. Les 58 enseignants avec exposition élevée aux neurosciences sont demeurés dans l'échantillon des enseignants.

Dans l'étude de Blanchette Sarrasin *et al.* (2019), 42 % des enseignants québécois adhérant au neuromythe des styles d'apprentissage VAK ont coché *Ça m'apparaît logique* (intuition) et 62 % *Je l'ai observé dans ma pratique* (observation anecdotique), parmi les éléments ayant mené à leur niveau d'accord. Pour quatre des cinq neuromythes populaires sondés par Blanchette Sarrasin *et al.* (2019), l'un de ces deux éléments (intuition ou anecdote) a été coché par les adhérents dans une proportion plus grande que *tout autre* élément proposé pour justifier leur niveau d'accord (livres et journaux, médias, entourage, formations). Ce résultat suggère que les biais cognitifs, et en particulier ici le biais de confirmation (la tendance à privilégier les observations anecdotiques qui confirment nos intuitions) joue un rôle de premier plan dans l'adhésion aux neuromythes.

Dans l'étude d'Hermida *et al.* (2016), le neuromythe de la sous-utilisation du potentiel cérébral (*On utilise seulement 10 % de notre cerveau*; voir Larivée, Baribeau et Pflieger, 2008) avait la prévalence la plus élevée : 40 % des enseignants argentins y souscrivaient. Pour justifier leur adhésion à ce neuromythe, les enseignants interviewés par Hermida *et al.* (2016) ont notamment mentionné que les individus très intelligents, les enfants surdoués, ou encore les personnes capables de perception extra-sensorielle, utilisent 100 % de leur cerveau. La nature simpliste des arguments évoqués témoigne de l'influence possible du *biais de simplicité* (Feldman, 2016) sur l'adhésion aux neuromythes. Aux théories élaborées et nuancées sur le processus d'apprentissage semblent se substituer des théories simples et tranchées (angl. "*all or none*" theorising; Howard-Jones *et al.*, 2009). En effet, une conception simpliste du fonctionnement cérébral, à l'origine de plusieurs neuromythes, peut laisser présager des solutions faciles (angl. *quick fix*) pour l'apprentissage scolaire. Ainsi, sous l'influence du biais de simplicité, il pourrait sembler plus facile à un enseignant de diviser sa classe en deux profils d'apprenants : les élèves « cerveau gauche » et les élèves « cerveau droit » (neuromythe de la dominance hémisphérique).

#### 1.4 Les interventions

Les enquêtes internationales ont désormais suffisamment circonscrit l'ampleur du phénomène de la croyance aux neuromythes pour que l'on puisse envisager des tentatives d'interventions pratiques dans le milieu de l'éducation. D'entrée de jeu, comme certains neuromythes constitueraient des distorsions, extrapolations ou simplifications abusives de savoirs neuroscientifiques (Pasquinelli, 2012), exposer les apprentis enseignants aux neurosciences semblerait – du moins à première vue – une stratégie prometteuse pour dissiper les neuromythes. Rappelons que dans certaines enquêtes réalisées auprès d'apprentis enseignants, plus les répondants possédaient de connaissances générales non contestées sur le cerveau et l'apprentissage, moins ils adhéraient aux neuromythes (Howard-Jones *et al.*, 2009; Papadatou-Pastou *et al.*, 2017).

Or, si le fait d'avoir suivi plusieurs cours en neurosciences aux études supérieures est un facteur prédictif de la non-adhésion aux neuromythes chez le grand public (Macdonald *et al.*, 2017), la taille d'effet est, de l'avis même des auteurs, modeste ( $\eta^2$  partiel = 0,035)<sup>2</sup>. De fait, les répondants ayant suivi plusieurs cours en neurosciences n'ont adhéré, en moyenne, qu'à 1,3 neuromythes de moins (sur un total de sept) que les répondants n'ayant suivi aucun cours en neurosciences. D'ailleurs, deux études expérimentales récentes, qui seront maintenant abordées, confirment qu'une simple exposition aux neurosciences s'avère insuffisante pour susciter une baisse de croyance aux neuromythes.

Im, Cho, Dubinsky et Varma (2018) ont introduit un cours de psychologie de l'éducation auprès d'un échantillon expérimental ( $n = 50$ ) d'apprentis enseignants sud-coréens. Un échantillon d'apprentis enseignants de la même cohorte ( $n = 49$ ), non exposés au cours de psychologie de l'éducation, servait de groupe témoin. Le cours était d'une durée d'un trimestre. Le manuel utilisé dans ce cours abordait la controverse entourant certaines pratiques pédagogiques faussement « basées sur le cerveau » et réfutait deux fausses croyances populaires : le neuromythe de la dominance hémisphérique (cerveau gauche/cerveaux droit) et le neuromythe des périodes critiques de développement (p. ex. « Il y a des périodes critiques au cours de l'enfance, après lesquelles certaines choses ne peuvent plus être apprises »; Dekker *et al.*, 2012, traduction libre). Les deux groupes de répondants ont rempli un sondage à deux occasions : au début et à la fin du trimestre. Ce sondage était composé, en ordre aléatoire, de 28 énoncés généraux faisant référence à des connaissances non contestées sur le cerveau et l'apprentissage et de 31 énoncés faisant référence à des neuromythes. Pour chaque énoncé, les participants répondaient *oui*, *non*, ou *je ne sais pas*. Le score de connaissances en neurosciences était établi par le nombre de réponses correctes aux 59 énoncés (*oui* aux 28 énoncés généraux et *non* aux 31 énoncés faisant référence à des neuromythes). En retour, le score d'adhésion aux neuromythes était établi par le nombre de réponses incorrectes (*oui*) aux 31 énoncés faisant référence à des neuromythes.

Im *et al.* (2018) ont observé un gain significatif, chez le groupe expérimental, de connaissances en neurosciences : leur score post-intervention aux énoncés généraux non contestés sur le cerveau et l'apprentissage ( $M = 33,60$ ) s'est accru par rapport à leur score pré-intervention ( $M = 28,62$ ). Chez le groupe témoin, le score de connaissances en neurosciences est resté inchangé au bout de trois mois ( $M$  pré-test = 27,18;  $M$  post-test = 26,71). Cependant, aucun changement n'a été observé dans le score d'adhésion aux neuromythes à la suite de l'intervention. Au départ, les deux groupes ne présentaient pas un niveau de base équivalent, le groupe expérimental adhérant à plus de neuromythes que le groupe témoin. Or, en

<sup>2</sup> Une fois converti, l'indice de puissance  $\eta^2$  partiel = 0,035 correspond à un  $d$  de Cohen = 0,38 (taille d'effet faible).



dépôt de ce biais d'échantillonnage<sup>3</sup>, seul un effet principal significatif de GROUPE a été observé ( $M_{exp.} = 11,24$  vs.  $M_{témoin} = 8,16$ ), l'interaction GROUPE  $\times$  TEMPS (pré- vs. post-test) ne s'étant pas avérée significative. En effet, un examen de la figure 3b de Im et al. (2018) suggère que le score moyen d'adhésion aux neuromythes est demeuré stable chez les deux groupes, n'ayant ni augmenté, ni diminué. En somme, suivre un cours de psychologie de l'éducation semble augmenter les connaissances en neurosciences, sans pour autant réduire l'adhésion aux neuromythes. Pourquoi des connaissances accrues en neurosciences seraient-elles inefficaces pour démystifier les neuromythes?

Selon Grospietsch et Mayer (2018), puisque les fausses croyances sont profondément ancrées dans l'expérience personnelle, les interventions visant à dissiper les neuromythes doivent chercher à atteindre en profondeur les systèmes de croyance, ce que la simple exposition aux neurosciences ne pourrait accomplir qu'implicitement. Une confrontation plus *explicite* des neuromythes au savoir scientifique serait requise. Ces auteurs se sont inspirés de la littérature sur le changement conceptuel pour proposer une intervention en deux volets. Premièrement, afin que les notions apprises dans un cours de neurosciences cognitives de l'apprentissage soient intégrées en profondeur dans l'expérience personnelle (c'est-à-dire le même niveau d'intégration que les neuromythes), les participants ont été invités à faire des exercices pratiques en classe (p. ex. le traçage d'une forme étoilée en inversion miroir, pour réaliser personnellement que l'apprentissage procédural exige de la pratique).

Deuxièmement, à intervalles réguliers pendant le trimestre, des *textes de changement conceptuel* étaient remis aux participants comme devoirs à réaliser à la maison. Contrairement aux textes de réfutation au sens strict du terme, les textes de changement conceptuel sont interactifs : une réflexion personnelle est faite, avant et après la lecture du texte de réfutation. La première page du texte de changement conceptuel élaboré par Grospietsch et Mayer (2018) contenait un énoncé faisant référence à un neuromythe (à titre d'exemple : « Les individus apprennent mieux quand ils reçoivent l'information dans leur style d'apprentissage préféré [p. ex. visuel, auditif, kinesthésique] »), suivi d'un espace libre pour faire une réflexion personnelle, c'est-à-dire prendre position sur l'énoncé. Cette première réflexion était suivie par un texte de réfutation de quelques pages, dans lequel des arguments scientifiques étaient soulevés, un à un, pour disqualifier la fausse croyance. En particulier, les contradictions entre le savoir scientifique et le neuromythe étaient explicitement présentées, dans un langage accessible, en évitant le jargon et en utilisant des illustrations de la vie de tous les jours. À titre d'exemple, l'un des cinq arguments utilisés pour contrer le neuromythe des styles d'apprentissage VAK était l'absence d'appuis

empiriques, dans la littérature scientifique, envers l'hypothèse d'appariement. Les concepts scientifiques pertinents étaient rehaussés par des caractères gras et les arguments rendus plus mémorables à l'aide de sous-titres. Ainsi, le sous-titre « Les tests de styles d'apprentissage sont invalides » (traduction libre) précédait l'argumentation scientifique basée sur les faibles qualités psychométriques des instruments de mesure des styles d'apprentissage VAK. Le texte était suivi de références scientifiques et de suggestions de lectures. Selon Grospietsch et Mayer (2018), la confrontation d'une fausse croyance personnelle au savoir scientifique, après une réflexion personnelle, est susceptible de créer, chez le participant, un « conflit cognitif pouvant servir à initier un changement conceptuel » (p. 5; traduction libre). En ce sens, la dernière page du texte de changement contextuel reprenait l'énoncé faisant référence au neuromythe, suivi d'un espace libre pour faire une seconde réflexion personnelle, c'est-à-dire prendre à nouveau position sur l'énoncé, à la lumière de l'information scientifique présentée.

Grospietsch et Mayer (2018) ont d'abord administré à un échantillon de 57 apprentis enseignants allemands en formation à l'enseignement spécialisé (biologie) un sondage pré-expérimental contenant 11 énoncés faisant référence à des neuromythes et 11 énoncés faisant référence à des connaissances générales non contestées sur le cerveau et l'apprentissage. Puis, l'échantillon a été divisé en deux groupes : un groupe expérimental ( $n = 40$ ) et un groupe témoin ( $n = 17$ ). Les deux groupes de participants ont suivi un cours de neurosciences cognitives de l'apprentissage, d'une durée de 14 semaines, à raison de 90 minutes par semaine. Lors des leçons, les participants des deux groupes ont été invités à réaliser des exercices pratiques en classe. Cependant, seuls les participants du groupe expérimental ont reçu des textes de changement conceptuel. Neuf textes de changement conceptuel ont été distribués pendant le trimestre : sept portant sur des énoncés faisant référence à des neuromythes et deux portant sur des énoncés faisant référence à des connaissances non contestées en neurosciences. En contrepartie, les participants du groupe témoin ont réalisé neuf devoirs de réflexion : après avoir lu des informations sommaires sur des concepts abordés dans le cours, ils devaient faire une réflexion personnelle sur ce que le cours leur avait apporté sur le plan personnel. Certaines de ces informations pouvaient les inciter – toutefois de manière implicite, selon les auteurs – à interroger leurs propres fausses croyances sur le cerveau et l'apprentissage.

Les résultats de l'intervention réalisée par Grospietsch et Mayer (2018) sont encourageants : à la suite de l'intervention, le taux d'adhésion aux 11 neuromythes sondés au pré-test a diminué davantage chez le groupe expérimental que chez le groupe témoin au post-test. L'ANOVA a révélé une

<sup>3</sup> En effet, puisque le groupe expérimental présentait un taux d'adhésion plus élevé aux neuromythes au pré-test, ce groupe avait, au départ, une plus grande probabilité que le groupe témoin de présenter une diminution de ce taux au post-test, indépendamment de l'intervention.

interaction significative GROUPE  $\times$  TEMPS (pré- vs. post-test), avec une taille d'effet très forte ( $\eta^2$  partiel = 0,524)<sup>4</sup>. Les cotes moyennes suivantes sont des approximations basées sur la figure 1 de Grospietsch et Mayer (2018). De 3,0 sur une échelle de type Likert à quatre niveaux (1 = *fortement en désaccord*; 2 = *plutôt en désaccord*; 3 = *plutôt en accord*; 4 = *fortement en accord*) avant le cours, la cote moyenne d'accord avec les énoncés faisant référence aux 11 neuromythes a décliné à 2,0 après le cours chez le groupe expérimental. Chez le groupe témoin, la cote moyenne d'accord est demeurée relativement stable à 3,0. Par conséquent, la simple exposition à un cours de neurosciences cognitives de l'apprentissage (groupe témoin) n'a pas été suffisante pour susciter une baisse de croyance aux neuromythes. Les auteurs ont aussi rapporté les pourcentages d'adhésion (cotes 3 et 4 combinées sur l'échelle) aux sept neuromythes ayant fait l'objet d'un texte de changement conceptuel (groupe expérimental). Le pourcentage moyen d'adhésion à ces sept neuromythes est passé de 74 % (pré-test) à 22 % (post-test). Pour le neuromythe des styles d'apprentissage VAK en particulier, le pourcentage moyen d'adhésion est passé de 93 % (pré-test) à 38 % (post-test). Des tests de Wilcoxon ont été réalisés séparément pour chacun des sept neuromythes. Ces tests se sont tous avérés significatifs, dont quatre sur sept (y compris pour le neuromythe des styles d'apprentissage VAK) présentant un indice de puissance ( $r$ ) allant de 0,538 à 0,590<sup>5</sup>.

Pour récapituler, la simple exposition aux neurosciences ne semble pas suffire pour susciter une baisse de croyance envers les neuromythes (Im et al., 2018, ainsi que le groupe témoin de Grospietsch et Mayer, 2018). Cependant, il semble qu'une intervention composée d'une exposition aux neurosciences et de textes de changement conceptuel (groupe expérimental de Grospietsch et Mayer, 2018) puisse susciter une adhésion moindre aux neuromythes. Cependant, il demeure possible que cette baisse d'adhésion aux neuromythes, observée par Grospietsch et Mayer (2018) chez le groupe expérimental, relève davantage d'un effet de désirabilité sociale que d'une réelle baisse de croyance. En effet, dans l'étude qui sera maintenant abordée (Newton et Miah, 2017), une baisse d'adhésion au neuromythe des styles d'apprentissage a été observée à la suite de l'intervention. Toutefois, Newton et Miah (2017) ont attribué cette baisse d'adhésion non pas à une réelle baisse de croyance, mais plutôt à un effet de désirabilité sociale, puisqu'un tiers de leurs participants ont indiqué, à la suite de l'intervention, avoir toujours l'intention de tenir compte du concept de styles d'apprentissage dans leur pratique enseignante. Grospietsch et Mayer (2018) n'ayant pas sondé les intentions pratiques de leurs participants à la suite de l'intervention, on

ne peut conclure formellement en une baisse réelle de croyance envers les neuromythes ciblés dans leur étude.

La recherche de Newton et Miah (2017) misait, pour dissiper les neuromythes, non seulement sur la confrontation au manque de preuves scientifiques pour les appuyer, mais également sur la sensibilisation aux torts que peuvent causer les pratiques pédagogiques inspirées de ces fausses croyances. Ces chercheurs ont réalisé une intervention auprès d'un échantillon de professeurs britanniques ( $n = 114$ ) œuvrant dans des institutions d'enseignement supérieur (collèges ou universités). L'intervention était entièrement réalisée en ligne. De manière fort intéressante, non seulement l'adhésion au neuromythe des styles d'apprentissage a été sondée chez les répondants, mais également leur intention d'utiliser ce concept dans leur pratique enseignante. De prime abord, 58 % des répondants ont affirmé être *plutôt d'accord* ou *totalelement d'accord* avec l'énoncé de croyance envers le neuromythe des styles d'apprentissage : « Les individus apprennent mieux lorsqu'ils reçoivent l'information dans leur style d'apprentissage préféré (p. ex. visuel, auditif, kinesthésique) ». Leur degré d'accord était encore plus élevé (64 %) avec l'énoncé pratique « J'essaie d'organiser mon enseignement pour accommoder les différents styles d'apprentissage de mes élèves (p. ex. visuel, auditif, assimilateur/convergent) »<sup>6</sup>.

Par la suite, Newton et Miah (2017) ont informé les répondants qu'il n'existait aucune preuve scientifique pour appuyer l'idée selon laquelle adapter l'enseignement aux styles d'apprentissage des élèves améliore l'apprentissage. Cette étape a été suivie par un nouveau sondage, dans lequel les participants devaient indiquer leur niveau d'accord avec des énoncés soulevant des torts que peut poser la prise en compte des styles d'apprentissage dans la pratique enseignante. Neuf répondants sur dix (90 %) ont alors indiqué être d'accord avec l'énoncé « Nous ne devrions pas utiliser les styles d'apprentissage parce qu'ils sont conceptuellement erronés; cela ne tient pas compte de la complexité du processus d'apprentissage », tandis que 61 % se sont dits d'accord avec l'énoncé « Il s'agit d'une perte de ressources qui devraient être investies ailleurs » (traductions libres). De tels pourcentages laissaient présager que les professeurs allaient être enclins à réviser leurs pratiques pédagogiques inspirées des styles d'apprentissage. Or, de manière plutôt paradoxale, 32 % des répondants ont indiqué être d'accord avec l'énoncé « À la lumière de l'information présentée, je prévois tenir compte des styles d'apprentissage de mes élèves dans mon enseignement » (traduction libre). C'est donc dire qu'en dépit d'un rejet massif (90 %) du bien-fondé conceptuel des styles

<sup>4</sup> Une fois converti, l'indice de puissance  $\eta^2$  partiel = 0,524 correspond à un  $d$  de Cohen = 1,51 (taille d'effet très forte).

<sup>5</sup> Une fois converti, l'indice de puissance  $r = 0,538$  correspond à un  $d$  de Cohen = 1,28 (taille d'effet très forte), tandis que l'indice de puissance  $r = 0,590$  correspond à un  $d$  de Cohen = 1,46 (également une taille d'effet très forte).

<sup>6</sup> À noter que Newton et Miah (2017) ont inclus, parmi les exemples de styles d'apprentissage fournis dans certains de leurs énoncés, non seulement les styles d'apprentissage VAK, mais aussi des styles d'apprentissage proposés dans le modèle de Kolb (1976). Ce modèle combine deux dimensions bipolaires (concret-abstrait; action-réflexion) pour proposer quatre styles d'apprentissage : convergent (abstrait actif), divergent (concret réflexif), assimilateur (abstrait réflexif) et accommodateur (concret actif).

d'apprentissage à la suite de l'intervention, près du tiers des professeurs avaient toujours l'intention d'utiliser ce concept dans leur pratique enseignante.

Newton et Miah (2017) ont attribué la volte-face de ce tiers de répondants (c'est-à-dire le maintien de l'intention de tenir compte des styles d'apprentissage en classe malgré la reconnaissance de l'inutilité pédagogique de ce concept) à deux facteurs. D'une part, les auteurs ont évoqué un *effet de désirabilité sociale* pour expliquer l'adhésion massive des répondants à des énoncés tels que « Nous ne devrions pas utiliser les styles d'apprentissage parce qu'ils sont conceptuellement erronés; cela ne tient pas compte de la complexité du processus d'apprentissage ». Les répondants auraient rejeté l'utilité pédagogique des styles d'apprentissage pour répondre aux attentes des chercheurs, plutôt qu'en raison d'une réelle baisse de croyance. D'autre part, Newton et Miah (2017) ont évoqué, pour expliquer l'intention d'un tiers des répondants de continuer de tenir compte des styles d'apprentissage en classe, un possible *effet de retour de flamme* (angl. *backfire effect*), qui survient quand une tentative de démystification produit un effet antagoniste : l'amplification d'une fausse croyance (Nyhan et Reifler, 2010). Ce phénomène est conçu comme une réaction à forte charge émotionnelle. À la suite de leur intervention, Newton et Miah (2017) ont recueilli les commentaires écrits de leurs répondants. Certains répondants ont affirmé que le sondage manquait de partialité, qu'il affichait un biais à l'encontre des styles d'apprentissage et que certaines questions étaient tendancieuses (angl. *leading*), des commentaires qui semblent laisser transparaître une forte réaction émotionnelle. En somme, en dépit d'une intervention qui semble efficace (rappelons que 90 % des répondants ont rejeté le bien-fondé conceptuel des styles d'apprentissage), une telle intervention pourrait, au contraire, avoir contribué à la *consolidation* de ce neuromythe chez les participants.

De plus, fait particulièrement intéressant, parmi les 32 % de répondants qui avaient toujours l'intention d'adapter leur enseignement aux styles d'apprentissage de leurs élèves, 89 % ont indiqué être d'accord avec l'énoncé « En dépit du fait qu'il n'existe aucune preuve scientifique de leur existence, mon expérience m'a appris qu'utiliser les styles d'apprentissage est bénéfique pour mes élèves » (traduction libre; Newton et Miah, 2017). Les observations anecdotiques des enseignants dans l'exercice de leur profession semblent donc dicter l'adoption de pratiques pédagogiques dans une plus grande mesure que le savoir issu de la recherche scientifique. Pourquoi les anecdotes personnelles semblent-elles déployer une telle puissance face à la confrontation au

savoir scientifique? Pasquinelli (2012) offre quelques pistes intéressantes de réflexion à cet égard.

Pour illustrer la forte résistance des neuromythes à la confrontation au savoir scientifique, Pasquinelli (2012) a utilisé l'exemple suivant : « Un enseignant qui adopte Brain Gym® en classe dispose d'anecdotes personnelles riches en émotions, autrement plus mémorables que les statistiques négatives issues d'une méta-analyse scientifique » (p. 93; traduction libre)<sup>7</sup>. L'auteure a évoqué les biais cognitifs comme des mécanismes psychologiques permettant aux anecdotes personnelles de protéger les fausses croyances de l'assaut du savoir scientifique. Notamment, Pasquinelli (2012) a évoqué l'*heuristique de disponibilité* (angl. *availability heuristic*), soit la tendance à privilégier les souvenirs (ici, les anecdotes) les plus mémorables, c'est-à-dire ceux qui sont les plus vifs, les plus hors du commun, ou encore qui possèdent la plus grande charge émotionnelle (Tversky et Kahneman, 1973), ce qui est cohérent avec l'effet de retour de flamme évoqué par Newton et Miah (2017). Pasquinelli (2012) a également évoqué l'*heuristique de familiarité*, soit la tendance à juger plus crédibles les souvenirs les plus familiers (c'est-à-dire, dans le cas qui nous préoccupe, ceux issus d'anecdotes personnelles), au détriment de d'autres (c'est-à-dire ceux issus de l'exposition au savoir scientifique). Enfin, Pasquinelli (2012) a évoqué le phénomène de l'*amnésie de source* (angl. *source amnesia*), qui consiste à oublier si l'origine d'un souvenir est fiable ou non (Schacter, Harbluk et McLachlan, 1984). La chercheuse suggère que de tels biais cognitifs favorisent la persistance des neuromythes et souligne le besoin de mener des recherches pour découvrir quels sont les biais cognitifs qui favorisent le plus cette persistance.

## 2. La présente étude

Selon Grospietsch et Mayer (2018), les fausses croyances sur le cerveau et l'apprentissage étant profondément ancrées dans l'expérience personnelle, les interventions visant à démystifier les neuromythes devraient chercher à atteindre ce niveau de profondeur. Rappelons qu'une proportion élevée d'enseignants adhérant aux neuromythes, dans l'étude de Blanchette Sarrasin et al. (2019), ont évoqué des intuitions et des observations anecdotiques en classe pour justifier leur niveau d'accord. Ces données suggèrent que les anecdotes personnelles alimentent l'intensité d'une fausse croyance, vraisemblablement via le mécanisme du biais de confirmation (Riener et Willingham, 2010). Par ailleurs, lorsque leurs fausses croyances ont été confrontées au savoir scientifique, près du tiers des répondants de Newton et Miah (2017) ont indiqué vouloir malgré tout continuer d'en tenir compte dans

<sup>7</sup> Brain Gym® est un programme éducatif commercial (Dennison et Dennison, 1994) implanté dans plus de 80 pays (Hyatt, 2007) et qui propose une gamme d'exercices de coordination perceptivo-motrice pour améliorer les fonctions cognitives (p. ex., concentration, mémoire) et favoriser l'apprentissage (p. ex., lecture, écriture, mathématique; Stephenson, 2009). Or, les prétentions pédagogiques de ce programme reposent, selon Hyatt (2007) et Stephenson (2009), sur une conception simpliste du fonctionnement cérébral. Malgré la popularité de ce programme éducatif, jusqu'à présent, aucune étude scientifique n'a démontré que l'usage de Brain Gym® améliore les capacités cognitives ou

favorise l'apprentissage (Cancela et al., 2015; Hyatt, 2007; Spaulding, Mostert et Beam, 2010). C'est la raison pour laquelle plusieurs enquêtes internationales sur les neuromythes incluent, dans leur sondage, des énoncés tels que « De courtes périodes d'exercices de coordination peuvent améliorer l'intégration des hémisphères cérébraux gauche et droit » et « Des exercices répétitifs de coordination perceptivo-motrice peuvent améliorer les habiletés en lecture » (Dekker et al., 2012; traductions libres).



leur pratique enseignante, 89 % d'entre eux justifiant cette intention en évoquant leurs observations anecdotiques en classe. Ce résultat suggère que les anecdotes personnelles contribuent à protéger les neuromythes lorsque ceux-ci sont confrontés au savoir scientifique, vraisemblablement via les mécanismes de l'heuristique de disponibilité, de l'heuristique de familiarité et de l'amnésie de source (Pasquinelli, 2012).

Si les anecdotes personnelles vécues par les enseignants en classe alimentent l'intensité de leurs fausses croyances sur le cerveau et l'apprentissage, comme semblent le suggérer les données de Blanchette Sarrasin *et al.* (2019), et contribuent à protéger leurs fausses croyances de la confrontation avec le savoir scientifique, comme semblent le suggérer les données de Newton et Miah (2017), alors il semble raisonnable de spéculer que la création d'une nouvelle anecdote personnelle qui contredit une fausse croyance puisse servir d'élément perturbateur. C'est du moins la prémisse de la présente étude. Notre hypothèse stipulait qu'après avoir personnellement expérimenté l'inutilité pédagogique des styles d'apprentissage VAK dans le contexte d'une activité didactique, cette nouvelle anecdote personnelle serait susceptible de former, avec le savoir scientifique, une alliance suffisamment puissante pour faire contrepoids aux anecdotes déjà vécues par les répondants et déstabiliser la fausse croyance envers l'efficacité pédagogique des styles d'apprentissage VAK.

### 3. Méthodologie

#### 3.1 Participants

Quarante et un étudiants francophones inscrits au programme de formation initiale à l'enseignement à l'École des sciences de l'éducation de l'Université Laurentienne (Sudbury, Ontario) ont participé à l'étude. Les participants ont été recrutés dans les cours offerts dans le cadre de leur programme de formation. En contrepartie de leur participation volontaire, les participants ont reçu des points bonis dans ces cours. Le seul critère d'inclusion était le bilinguisme, puisque deux questionnaires étaient en langue anglaise. L'échantillon était composé de 32 femmes et de 9 hommes, dont 36 âgés entre 21 et 30 ans, 3 entre 31 et 40 ans et 2 de plus de 40 ans. L'étude s'est déroulée de janvier à mars 2019, lors du second trimestre de la première année de formation des apprentis enseignants. Onze participants étaient inscrits à l'option 1 (cycles primaire et moyen : maternelle à 6<sup>e</sup> année), 13 à l'option 2 (cycles moyen et intermédiaire : 4<sup>e</sup> à 10<sup>e</sup> année) et 17 à l'option 3 (cycles intermédiaire et supérieur : 7<sup>e</sup> à 12<sup>e</sup> année).

#### 3.2 Chronologie de l'intervention

Le protocole expérimental a reçu l'aval d'un comité institutionnel de déontologie de la recherche chez des êtres humains. En janvier 2019, après avoir été informés de la nature de leur participation et avoir signé un formulaire de consentement libre et éclairé, les participants ont rempli un sondage pré-expérimental sur leurs croyances envers les styles d'apprentissage VAK et sur leur intention de les utiliser

dans leur pratique enseignante. Deux semaines plus tard, les répondants ont participé à une activité didactique possédant plusieurs ressemblances méthodologiques avec les mises à l'épreuve empiriques de l'hypothèse d'appariement publiées dans la littérature scientifique. Après l'activité, les participants ont été invités à remplir deux questionnaires mesurant le style d'apprentissage VAK prédominant, ainsi qu'une mesure d'auto-déclaration. Six semaines plus tard, en mars, les participants ont été conviés à une séance d'information au cours de laquelle nous leur avons dévoilé que leurs propres données personnelles (issues de l'activité didactique), tout comme la totalité des recherches scientifiques, disqualifiaient l'hypothèse d'appariement. Au terme de la séance d'information, les participants ont rempli un sondage post-expérimental sur leur intention d'utiliser les styles d'apprentissage VAK dans leur pratique enseignante.

#### 3.3 Sondage pré-expérimental

Le sondage pré-expérimental contenait quatre énoncés sur le neuromythe des styles d'apprentissage VAK. Ces énoncés, étroitement inspirés de ceux de Tardif, Doudin et Meylan (2015), se limitaient à la distinction visuel/auditif. En effet, si plusieurs enseignants peuvent donner des exemples de pratiques pédagogiques destinées spécifiquement aux élèves « visuels » et « auditifs » (p. ex. utiliser un support visuel ou audio), peu d'entre eux peuvent donner des exemples de pratiques destinées spécifiquement aux élèves « kinesthésiques » (Ruhaak et Cook, 2018).

Les participants indiquaient leur niveau d'accord avec chaque énoncé sur une échelle de type Likert à quatre niveaux (1 = *pas du tout d'accord*; 2 = *plutôt en désaccord*; 3 = *plutôt d'accord*; 4 = *tout à fait d'accord*). Le premier énoncé, « Certaines personnes sont visuelles, d'autres sont auditives », visait à sonder l'adhésion à l'idée fautive de l'existence de catégories de personnes définies par la prédominance d'une modalité sensorielle. Le second énoncé, « Des études sur le cerveau ont démontré qu'il existe une distinction entre des personnes visuelles et auditives », visait à sonder la croyance en l'existence de fondements scientifiques à l'idée fautive de profils particuliers de fonctionnement cérébral basés sur une modalité sensorielle donnée. Le troisième énoncé, « Une approche pédagogique basée sur la distinction entre les élèves visuels et auditifs favorise l'apprentissage », visait à sonder directement l'adhésion à l'hypothèse d'appariement, sous-jacente au neuromythe des styles d'apprentissage VAK. Contrairement aux trois premiers énoncés, qui sondaient les croyances, le quatrième énoncé était de nature pratique : « Je prévois tenir compte de la distinction entre les élèves visuels et auditifs dans ma pratique d'enseignant(e) ».

#### 3.4 Activité didactique

L'étude de Cuevas et Dawson (2018), décrite plus haut, a servi de source scientifique comparative à l'exercice didactique lors de la séance d'information. L'exercice didactique ne se voulait pas une reproduction intégrale du protocole expérimental utilisé par Cuevas et Dawson (2018). Cependant,



notre activité didactique présentait plusieurs similitudes avec ce protocole. D'abord, tout comme ces auteurs, nous avons utilisé une tâche de mémorisation de mots dans laquelle les stimuli recevaient un traitement soit visuel, soit auditif. Ensuite, nous avons également utilisé une tâche de rappel indicé. Enfin, le questionnaire utilisé par Cuevas et Dawson (2018) pour déterminer le style VAK prédominant de leurs participants a également été utilisé dans la présente étude.

### 3.4.1 Stimuli

Une liste de 96 mots a été confectionnée. Les mots représentaient des objets concrets (p. ex. chat, klaxon, train) et contenaient d'une à quatre syllabes. Les mots ont été sélectionnés et couplés au hasard, de sorte à obtenir 48 paires de mots. La moitié de ces paires de mots (24 paires) ont été sélectionnées au hasard pour servir de stimuli dans la condition visuelle, tandis que les 24 autres paires de mots ont servi de stimuli dans la condition auditive. Quelle que soit la condition, les deux mots d'une paire étaient présentés côte à côte, séparés par un tiret, au centre d'une diapositive du logiciel Microsoft PowerPoint®, en lettres minuscules, dans la police de caractères Calibri avec une taille de caractères de 44 points.

Nous avons tenu à utiliser des mots accompagnés d'images ou de sons, plutôt qu'uniquement des images et des sons, afin que les stimuli possèdent une certaine validité écologique. En effet, en contexte scolaire, on retrouve rarement des images ou des sons seuls, mais bien aussi des mots à l'écrit. Dans la condition visuelle, de sorte à accentuer l'aspect visuel des stimuli, les lettres formant les mots étaient visuellement rehaussées, à l'aide de coloris divers avec contraste figure-fond. De plus, une image représentant chaque mot était présentée juste sous le mot. Par exemple, pour la paire de mots **parapluie - cadeau**, l'image d'un parapluie apparaissait sous le mot **parapluie**, tandis qu'une image de cadeau apparaissait sous le mot **cadeau**. En retour, dans la condition auditive, de sorte à accentuer l'aspect auditif des stimuli, une voix féminine préenregistrée prononçait les deux mots de la paire, de gauche à droite. La prononciation était lente, de sorte à « découper » chaque syllabe. De plus, juste après la voix enregistrée, un enregistrement de sons typiquement associés aux deux mots de la paire se faisait entendre. Par exemple, pour la paire de mots **chat - cloche**, un miaulement de chat était suivi, une seconde plus tard, par le tintement d'une cloche.

### 3.4.2 Déroulement

L'activité didactique a été introduite comme une autre des activités didactiques réalisées par les étudiants dans le cadre de leur formation et qui visent à les préparer pour les stages d'enseignement pratique. Les participants ont été informés que l'objectif de cette activité didactique particulière était de tester si les mots sont mieux retenus s'ils sont accompagnés d'images ou s'ils sont accompagnés de sons. Aucune mention des styles d'apprentissage « visuel » et « auditif » n'a été faite.

L'activité didactique s'est déroulée dans une salle équipée de postes d'ordinateurs. Comme la salle ne contenait que 32

postes, deux groupes aléatoires d'environ 20 participants ont réalisé l'activité, dans des conditions de passation identiques. Les participants portaient des écouteurs préréglés à un niveau sonore confortable. Les directives, transmises par écrit, étaient les suivantes :

*Vous allez voir 48 paires de mots, une paire à la fois. Vingt-quatre paires de mots sont accompagnées d'images et 24 paires de mots sont accompagnées de sons. Votre tâche consiste à essayer de retenir le deuxième mot de chaque paire. Attention ! Portez aussi attention au premier mot, car il servira plus tard d'indice pour vous souvenir du deuxième mot. Bonne chance!*

La moitié des participants ont d'abord visionné les 24 diapositives de la condition visuelle, suivies des 24 diapositives de la condition auditive. L'ordre des deux conditions était inversé pour l'autre moitié des participants. Dans chaque condition, l'ordre de présentation des 24 diapositives était aléatoire. Le temps d'exposition de chaque diapositive était de 15 secondes, sans possibilité de retour en arrière, ni d'accélération de la vitesse de défilement. Dans la condition visuelle, les deux images étaient présentées pendant toute la durée d'exposition. Dans la condition auditive, les deux enregistrements (voix et sons) étaient présentés en succession, sous les 15 secondes d'exposition et sans répétition. La phase de mémorisation était d'une durée approximative de 12 minutes. Après le visionnement de la présentation Microsoft PowerPoint®, les participants ont été invités à compléter un casse-tête de nombres combinatoires (Sudoku), pendant 15 minutes. Ce jeu servait de tâche distractive.

Immédiatement après la tâche distractive, les participants ont reçu un cahier contenant 48 items de rappel indicé, sous la forme **mot - \_\_\_\_\_**. Les 48 indices correspondaient aux 48 premiers mots des paires, présentés dans un ordre aléatoire d'un participant à un autre. Les directives spécifiaient qu'ils devaient tenter de se rappeler du deuxième mot de chaque paire, le premier mot servant d'indice. La consigne additionnelle « Fiez-vous à votre première impression » a été donnée aux participants, afin d'éviter que ceux-ci n'adoptent un critère de rappel trop conservateur, ce qui aurait pu donner lieu à un « effet plancher ». Un maximum de 15 minutes était dévolu au test de rappel indicé. Les participants avaient le loisir de revenir en arrière, advenant que le délai ne soit pas encore écoulé.

## 3.5 Outils de mesure des styles d'apprentissage VAK

Rappelons que le style d'apprentissage VAK prédominant des participants a été mesuré après l'activité didactique. L'ordre de passation des mesures des styles d'apprentissage VAK a été contrebalancé.

### 3.5.1 Questionnaire VARK

Le Visual Aural Read/Write Kinesthetic (VARK) Questionnaire (Fleming et Mills, 1992) est un instrument composé de 16

items à choix multiples. Le répondant peut cocher plus d'une réponse. Voici un exemple d'item : « Vous êtes sur le point de donner des directives à une passante. Elle réside à l'hôtel et désire se rendre à votre maison. Elle a loué une auto. a) Je lui dessinerais une carte; b) Je lui donnerais des directives verbales; c) Je lui écrirais les directives sur un papier; (d) Je passerais la prendre à son hôtel avec ma voiture » (traduction libre). Leite, Svinicki et Shi (2010) ont réalisé une analyse factorielle confirmatoire et conclu que la structure du questionnaire VARK était conforme à l'existence de quatre facteurs sous-jacents, auxquels ces auteurs ont référé en tant que « traits latents » étiquetés *visuel*, *oral*, *lecture/écriture* (angl. *read/write*) et *kinesthésique*. Cependant, Leite et al. (2010) ont précisé que cette conclusion devait être considérée comme préliminaire, étant donné que les poids factoriels des variables étaient faibles à modérés. Leite et al. (2010) ont par ailleurs rapporté des coefficients de consistance interne adéquats, soit de 0,85, 0,82, 0,84 et 0,77 pour les sous-échelles V, A, R et K, respectivement.

### 3.5.2 Inventaire BLSI

Le *Barsch Learning Style Inventory* (BLSI; Barsch, 1991) est un instrument composé de 24 énoncés, suivis d'un choix de réponses (*souvent vrai*, *parfois vrai*, *rarement vrai*). Huit énoncés mesurent le style d'apprentissage *visuel* (p. ex. « J'ai besoin d'explications par des graphiques, des diagrammes et des directives visuelles »), huit énoncés le style *auditif* (p. ex. « Je peux retenir mieux un sujet en écoutant qu'en lisant ») et huit énoncés le style *tactile/kinesthésique* (p. ex. « J'apprécie travailler avec des outils ou sur des modèles »; traductions libres). Aucune étude des qualités psychométriques de l'inventaire BLSI n'a été publiée. Cependant, Krätzig et Arbuthnott (2006) ont rapporté, chez leur échantillon ( $n = 65$ ), des coefficients alpha de Cronbach en-deçà du seuil d'adéquation de 0,70 (Field, 2013) pour les sous-échelles visuelle (0,54), auditive (0,56) et tactile/kinesthésique (0,38) du BLSI.

### 3.5.3 Auto-déclaration

Le style d'apprentissage VAK auto-déclaré a été obtenu à l'aide de la question suivante : « Je me considère comme une personne : a) plutôt visuelle qu'auditive; b) plutôt auditive que visuelle; c) à la fois visuelle et auditive; d) ni visuelle ni auditive ». À noter que le style kinesthésique n'était pas une option, en raison de l'absence de stimuli de nature kinesthésique dans l'activité didactique.

### 3.5.4 Validité psychométrique des instruments

Les deux instruments de mesure des styles VAK utilisés dans la présente étude (questionnaire VARK et inventaire BLSI) sont parmi les plus utilisés dans la littérature scientifique visant à tester l'hypothèse d'appariement (voir Rousseau et al., 2018). La très grande majorité des auteurs de ces tests empiriques reconnaissent d'emblée et soulignent à grands traits l'absence de validité psychométrique de ces instruments, mais les utilisent malgré tout pour classer leurs participants, car ce sont des instruments auxquels réfèrent les tenants de « l'approche VAK » en pédagogie

(p. ex. Othman et Amiruddin, 2010). D'ailleurs, selon certains auteurs (p. ex. Kozhevnikov, Evans et Kosslyn, 2014), l'invalidité des instruments de mesure des styles VAK constitue une limite méthodologique importante dans les mises à l'épreuve empiriques de l'hypothèse d'appariement.

Toutefois, dans le cadre de la présente étude, l'utilisation d'instruments invalides ne constitue pas une limite méthodologique, mais plutôt un avantage. D'une part, le choix de ces instruments permet de comparer directement les résultats de l'activité didactique aux résultats publiés dans la littérature scientifique sur l'hypothèse d'appariement. En effet, le questionnaire VARK a aussi été utilisé dans l'étude de Cuevas et Dawson (2018) ayant servi de source scientifique comparative à l'activité didactique. D'autre part, en raison de leur manque de validité, il était tout à fait prévisible que les scores obtenus aux deux instruments ne convergent pas. Or, cette absence de convergence a servi d'argument, au cours de la séance d'information, pour convaincre les participants que ces instruments (dont plusieurs versions informelles circulent sur internet et sont donc facilement accessibles aux enseignants) n'avaient aucune fiabilité. Cependant, les participants pouvaient être amenés à penser que leur propre évaluation personnelle de leur style d'apprentissage VAK serait plus fiable. C'est la raison pour laquelle nous avons également inclus une mesure d'auto-déclaration.

### 3.6 Séance d'information

La séance d'information à laquelle ont été conviés les apprentis enseignants comportait deux volets. Au cours du premier volet, le concept de style d'apprentissage VAK a été présenté :

*Le « style d'apprentissage » VAK est une manière personnelle d'apprendre avec nos sens : certains élèves seraient davantage « visuels » (V), d'autres « auditifs » (A), et d'autres « kinesthésiques » (K).*

Puis, l'inconsistance entre le style VAK déclaré par les élèves et le style VAK identifié par les enseignants, en milieu scolaire, a été soulignée, à l'aide de l'étude récente de Papadatou-Pastou, Gritzali et Barrable (2018) :

*Dans une recherche de 2018, seulement 30 % des élèves du primaire qui s'identifiaient comme « visuels » ont été identifiés comme « visuels » par leur propre enseignant; pour les élèves « auditifs », c'était seulement 38 % et pour les élèves « kinesthésiques », c'était seulement 52 %.*

L'inconsistance entre les instruments de mesure des styles d'apprentissage VAK a également été soulignée aux apprentis enseignants, à l'aide de leurs propres résultats :

*Les questionnaires officiels pour mesurer le style d'apprentissage VAK, auxquels vous avez répondu au laboratoire didactique, le VARK et le BLSI, ne sont pas plus fiables. Par exemple, 75 % d'entre vous qui avez été identifiés comme « auditifs » par le*

VARK ont été identifiés comme « visuels » par le BLSI. Un autre exemple : 73 % de ceux qui ont été identifiés comme « kinesthésiques » par le VARK ont été identifiés comme « visuels » par le BLSI. En plus, l'inventaire BLSI a réussi à identifier le style d'apprentissage que vous avez coché vous-même dans la question personnelle dans seulement 32 % des cas. Pour le VARK, c'était seulement 37 %.

Le second volet de la séance d'information était consacré à l'hypothèse d'appariement. Le mot anglais *matching* a été utilisé, pour éviter toute incompréhension du terme *appariement* chez cet échantillon d'étudiants franco-ontariens. Le devis expérimental préconisé par Pashler et al. (2008) a servi de canevas :

Pour tester scientifiquement l'hypothèse de 'matching', il faut séparer les élèves en deux, par exemple ceux qui sont « visuels » d'après un questionnaire et ceux qui sont « auditifs ». Après, on présente la moitié du contenu pédagogique avec du support visuel, et l'autre moitié avec du support audio. Si l'hypothèse de 'matching' est valide, les élèves « visuels » devraient mieux apprendre le contenu avec du support visuel qu'avec du support audio. Pour les élèves auditifs, cela devrait être le contraire : ils devraient mieux apprendre le contenu avec du support audio qu'avec du support visuel [la figure 1 a été présentée pour illustrer cette interaction croisée STYLE x SUPPORT]. Si le groupe des « visuels » et le groupe des « auditifs » apprennent mieux tous les deux le contenu avec le support visuel qu'avec le support audio, cela n'appuie pas l'hypothèse de 'matching'; cela veut simplement dire que le support visuel est plus efficace que le support audio, indépendamment du style d'apprentissage [la figure 2 a été présentée pour illustrer cet effet principal du SUPPORT].

Puis, les propres résultats des apprentis enseignants, issus de l'activité didactique, ont été présentés, à l'aide des figures 3, 4 et 5.

Vous voyez, peu importe la façon dont votre « style d'apprentissage » a été mesuré – par le questionnaire VARK, par l'inventaire BLSI ou par la question personnelle – les mots avec images ont toujours été mieux retenus que les mots avec sons, autant pour les « visuels » que pour les « auditifs ». Et même si vous avez coché que vous êtes une personne « à la fois visuelle et auditive », votre mémoire des mots avec images n'est pas égale à votre mémoire des mots avec sons : vous aussi avez mieux retenu les mots avec images.

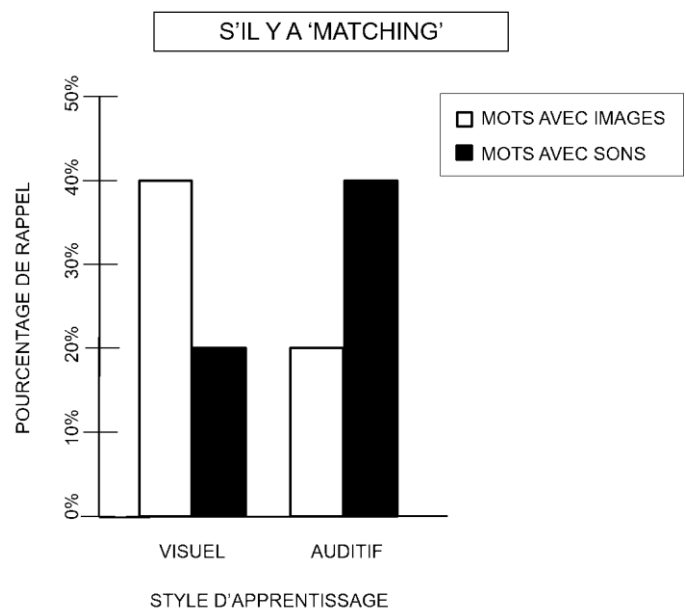
Les résultats de l'étude expérimentale de Cuevas et Dawson (2018) ont alors été présentés, à l'aide de la figure 2 de leur article (non reproduite ici), présentée côte à côte avec la figure 3 :

Dans une vraie recherche scientifique de 2018, les chercheurs ont obtenu des résultats très semblables à vos résultats personnels dans l'activité didactique : une meilleure mémoire pour les mots avec images que pour les mots avec sons. Eux aussi ont mesuré les styles d'apprentissage chez des étudiants universitaires avec le questionnaire VARK. Et eux non plus n'ont pas observé d'effet de 'matching'.

Dans les faits, Cuevas et Dawson (2018) n'ont pas présenté de mots accompagnés d'images et de sons. Leurs participants devaient soit imaginer visuellement l'action exprimée par un énoncé, soit prononcer silencieusement l'énoncé. Cependant, tout comme dans notre activité didactique, les participants de Cuevas et Dawson (2018) devaient effectuer un traitement soit visuel, soit auditif de mots.

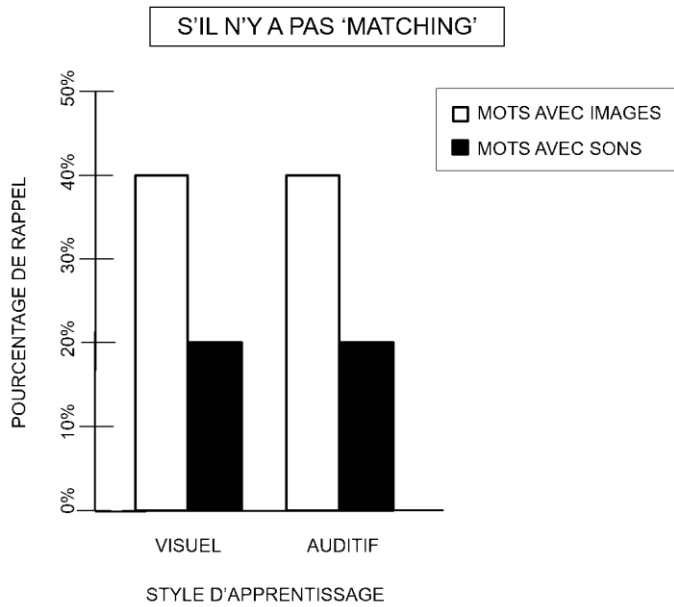
Enfin, une liste de références d'articles publiés dans des revues scientifiques arbitrées a été présentée :

En fait, il n'existe aucune recherche scientifique qui prouve que l'apprentissage est meilleur si on 'match' l'enseignement aux styles d'apprentissage VAK. La recherche montre plutôt que tel contenu pédagogique est mieux appris dans telle modalité sensorielle par la majorité des élèves, alors que tel autre contenu est mieux appris dans une autre modalité par la majorité des élèves.

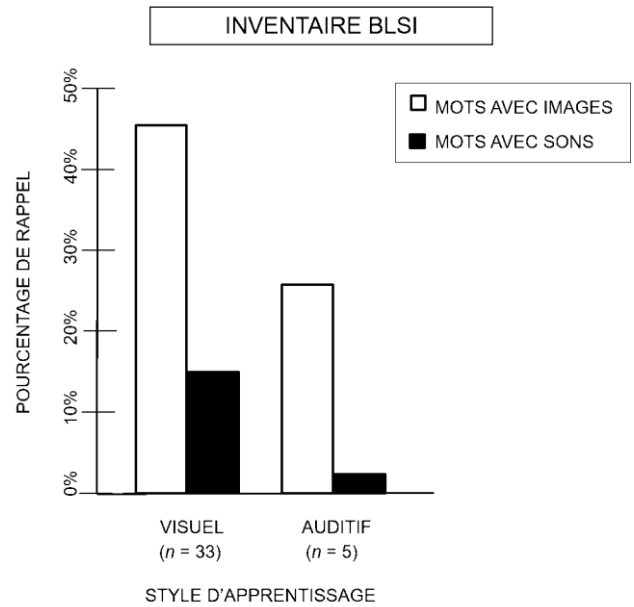


**Figure 1.** Profil de résultats conforme à l'hypothèse d'appariement (angl. *matching hypothesis*) entre les styles d'apprentissage VAK et la modalité sensorielle de présentation du contenu pédagogique.<sup>8</sup>

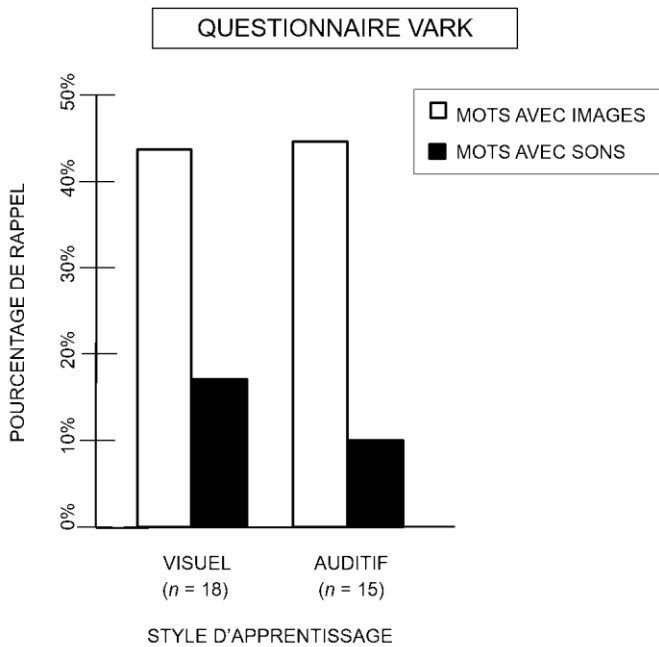
<sup>8</sup> Cette figure a été présentée aux apprentis enseignants lors de la séance d'information (voir texte).



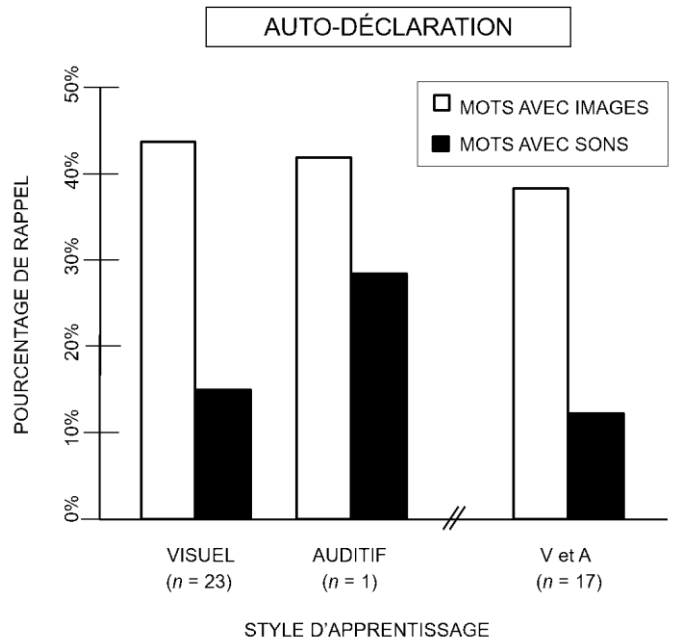
**Figure 2.** Profil de résultats non conforme à l'hypothèse d'appariement (angl. *matching hypothesis*) entre les styles d'apprentissage VAK et la modalité sensorielle de présentation du contenu pédagogique.<sup>9</sup>



**Figure 4.** Profil de résultats issu de l'activité didactique, selon l'inventaire BLSI.<sup>11</sup>



**Figure 3.** Profil de résultats issu de l'activité didactique, selon le questionnaire VARK.<sup>10</sup>



**Figure 5.** Profil de résultats issu de l'activité didactique, selon le style VAK auto-déclaré.<sup>12</sup>

<sup>9</sup> Cette figure a été présentée aux apprentis enseignants lors de la séance d'information (voir texte).

<sup>10</sup> Lors de la séance d'information, cette figure a été présentée côte à côte avec la figure 2 (non reproduite ici) de l'article de Cuevas et Dawson (2018).

<sup>11</sup> Cette figure a été présentée lors de la séance d'information (voir texte).

<sup>12</sup> « V et A » signifie *personne à la fois visuelle et auditive*. Cette figure a été présentée lors de la séance d'information (voir texte).



En effet, tel que suggéré par Kozhevnikov *et al.* (2014), certains contenus pédagogiques sont mieux adaptés à certaines modalités sensorielles qu'à d'autres. Ainsi, enseigner le tango au téléphone serait vraisemblablement moins efficace que de l'enseigner à l'aide de mouvements (modalité kinesthésique). Quand il s'agit de compréhension de textes, une présentation orale (une bande sonore) s'avère meilleure qu'une présentation visuelle (un texte écrit), peu importe le style d'apprentissage prédominant des participants (Rogowsky, Calhoun et Tallal, 2015). Par ailleurs, quand il s'agit d'anatomie, c'est la modalité visuelle (l'utilisation d'un microscope virtuel) qui produit la meilleure note finale dans un cours, peu importe le style VAK prédominant des étudiants (Husmann et O'Loughlin, 2019). En somme, dans plusieurs études scientifiques, les chercheurs ont obtenu un effet principal de l'une ou l'autre modalité sensorielle de présentation du contenu pédagogique, un patron de résultats illustré par la figure 2 et qui correspond à la fois aux résultats obtenus par les participants lors de l'activité didactique (figures 3, 4 et 5) et aux résultats obtenus dans l'étude scientifique comparative de Cuevas et Dawson (2018). C'est la raison pour laquelle nous avons insisté, auprès des répondants, sur une modalité sensorielle à privilégier pour l'ensemble des élèves d'une classe, selon la nature du contenu pédagogique<sup>13</sup>.

### 3.7 Sondage post-expérimental

Le sondage post-expérimental était composé d'un seul énoncé, inspiré de celui de Newton et Miah (2017) :

*Après avoir appris qu'il n'existe aucune preuve scientifique pour appuyer l'hypothèse selon laquelle 'matcher' l'enseignement aux styles d'apprentissage VAK (par exemple, présenter des images et des diagrammes aux apprenants visuels) améliore le rendement scolaire, je prévois tenir compte des styles d'apprentissage VAK dans ma pratique d'enseignant(e).*

Les participants ont indiqué leur niveau d'accord sur une échelle de type Likert à quatre niveaux (1 = pas du tout d'accord; 2 = plutôt en désaccord; 3 = plutôt d'accord; 4 = tout à fait d'accord).

Nous avons fait le choix méthodologique de ne pas sonder à nouveau les répondants, à la suite de la séance d'information, sur les trois énoncés de croyance envers les styles d'apprentissage VAK utilisés lors de la phase pré-expérimentale. Ce faisant, nous voulions éviter qu'un possible effet de désirabilité sociale, soupçonné par Newton et Miah (2017) en ce qui concerne les énoncés de croyance, ne « contamine » l'énoncé d'intention pratique.

## 4. Résultats

### 4.1 Sondage pré-expérimental

Le tableau 2 présente les résultats du sondage pré-expérimental. Comme c'est le cas dans plusieurs sondages, la prévalence d'adhésion aux énoncés correspondait au pourcentage de répondants ayant indiqué être *plutôt d'accord* ou *tout à fait d'accord* avec l'énoncé (c'est-à-dire les cotes 3 et 4 combinées sur l'échelle de type Likert à quatre niveaux). La prévalence d'adhésion à l'énoncé « Certaines personnes sont visuelles, d'autres sont auditives » était de 98 %, ce qui dénote une croyance presque unanime, chez l'échantillon, envers l'idée fautive de l'existence de catégories de personnes définies par une modalité sensorielle dominante. Le pourcentage d'apprentis enseignants adhérant à l'énoncé « Des études sur le cerveau ont démontré qu'il existe une distinction entre des personnes visuelles et auditives » était de 95 %. Cela dénote une forte croyance en l'existence de fondements scientifiques à l'idée fautive de profils particuliers de fonctionnement cérébral basés sur une modalité sensorielle donnée.

L'énoncé « Une approche pédagogique basée sur la distinction entre les élèves visuels et auditifs favorise l'apprentissage », qui contient l'hypothèse d'appariement, a recueilli l'adhésion de 93 % des répondants. Il s'agit d'un énoncé de croyance. Mais tout comme l'ont observé Newton et Miah (2017) dans leur étude, le pendant pratique de cet énoncé a recueilli une adhésion encore plus forte : 100 % des répondants ont indiqué être d'accord avec l'énoncé « Je prévois tenir compte de la distinction entre les élèves visuels et auditifs dans ma pratique d'enseignant(e) », dont 64 % se disant *tout à fait d'accord*.

### 4.2 Résultats aux mesures des styles d'apprentissage VAK

En plus des styles d'apprentissage visuel et auditif, le questionnaire VARK mesure le style kinesthésique et le style « lecture/écriture » (angl. *read/write*), alors que l'inventaire BLSI mesure également le style kinesthésique. L'activité didactique ne comportant ni de condition kinesthésique ni de condition « lecture/écriture », la procédure de reclassement utilisée par Cuevas et Dawson (2018) a été appliquée, afin de déterminer lequel, parmi deux styles d'apprentissage – visuel ou auditif –, était prédominant chez les participants. Ainsi, lorsque le score de classification prédominant était kinesthésique ou « lecture/écriture », le *second* style prédominant (visuel ou auditif) a été retenu. De même, quand le score de classification prédominant au BLSI ou au VARK était bimodal, la modalité collatérale (visuelle ou auditive) a été retenue (p. ex. un répondant classifié comme kinesthésique-visuel au BLSI était reclassifié comme visuel).

<sup>13</sup> La recherche montre aussi que la présentation bimodale (p. ex., auditive et visuelle) du contenu pédagogique mène à un meilleur apprentissage (Shams et Seitz, 2008). Cependant, tenter de convaincre les enseignants que la présentation multisensorielle du contenu pédagogique est efficace

pour une raison *autre* que l'existence de styles d'apprentissage VAK représente un défi considérable. Nous reviendrons sur ce point à la section 5.4.

Au VARK, lorsque le score bimodal ne comportait ni visuel ni auditif (c'est-à-dire lecture/écriture-kinesthésique), le troisième style prédominant (visuel ou auditif) a été retenu. Enfin, lorsque le premier, second ou troisième score prédominant était bimodal (c'est-à-dire visuel-auditif), le répondant a été retiré de l'échantillon pour le calcul des résultats de l'activité didactique. Au total, 66 % de scores au VARK (27 participants) ont été reclassés, tandis que le pourcentage de reclassement des scores au BLSI était de 29 % (12 participants). Par ailleurs, huit participants (20 %) ont été retirés en raison d'un score bimodal visuel-auditif (original ou reclassé) au VARK, tandis que trois participants (7 %) ont été retirés pour cette même raison au BLSI.

**Tableau 2.** Répartition du niveau d'accord et prévalence pour quatre énoncés sur le neuromythe des styles d'apprentissage VAK.

	Niveau d'accord*				Prévalence
	1	2	3	4	
<b>Énoncés de croyance</b>					
Certaines personnes sont visuelles, d'autres sont auditives.	0 %	2 %	44 %	54 %	98 %
Des études sur le cerveau ont démontré qu'il existe une distinction entre des personnes visuelles et auditives.	0 %	5 %	71 %	24 %	95 %
Une approche pédagogique basée sur la distinction entre les élèves visuels et auditifs favorise l'apprentissage.	2 %	5 %	39 %	54 %	93 %
<b>Énoncé pratique</b>					
Je prévois tenir compte de la distinction entre les élèves visuels et auditifs dans ma pratique d'enseignant(e).	0 %	0 %	37 %	63 %	100 %

\* (1) pas du tout d'accord, (2) plutôt en désaccord, (3) plutôt d'accord, (4) tout à fait d'accord

Après reclassement et retraits, 55 % des participants ont été classifiés comme « visuels », tandis que 45 % ont été classifiés comme « auditifs » par le questionnaire VARK. En retour, 87 % des participants ont été classifiés comme « visuels », tandis que 13 % ont été classifiés comme « auditifs » par l'inventaire BLSI.

En ce qui concerne la mesure d'auto-déclaration, 56 % des répondants ont déclaré se considérer comme une personne *plutôt visuelle qu'auditive*. Un seul répondant a déclaré se considérer comme une personne *plutôt auditive que visuelle*. En fait, deux apprentis enseignants sur cinq (41 %) ont déclaré se considérer comme une personne *à la fois visuelle et*

*auditive*. À noter qu'aucun répondant n'a déclaré se considérer comme une personne *ni visuelle ni auditive*.

#### 4.3 Résultats de l'activité didactique

Les figures 3 et 4 illustrent le score de rappel indicé, exprimé en pourcentage, pour les mots accompagnés d'images et les mots accompagnés de sons, en fonction du style d'apprentissage prédominant (visuel ou auditif), après reclassements et retraits, au VARK et au BLSI, respectivement. La figure 5 illustre, quant à elle, le score de rappel indicé en fonction du style auto-déclaré. Pour l'auto-déclaration, en raison du grand nombre de répondants (41 %) ayant déclaré se considérer comme une personne *à la fois visuelle et auditive*, nous avons préservé cette catégorie à des fins démonstratives.

Les résultats de l'activité didactique sont clairs : quel que soit le style d'apprentissage VAK prédominant (visuel ou auditif) d'après le questionnaire VARK ou l'inventaire BLSI, le score de rappel indicé était nettement plus élevé pour les mots accompagnés d'images que pour les mots accompagnés de sons. Le même patron de résultats a été obtenu selon le style d'apprentissage auto-déclaré (y compris pour la catégorie *une personne à la fois visuelle et auditive*). Il est important de mentionner que l'activité didactique ne visait pas à tester de manière formelle l'hypothèse d'appariement. Il ne s'agissait pas d'une expérience scientifique, mais bien d'une activité didactique réalisée dans le seul but de créer une anecdote personnelle chez les apprentis enseignants. C'est pourquoi les données n'ont fait l'objet d'aucune analyse statistique. De telles analyses auraient d'ailleurs nécessité une taille d'échantillon beaucoup plus considérable. Puisque notre objectif consistait à présenter un patron de résultats conforme à l'absence d'effet d'appariement (voir figure 2), la seule illustration des moyennes était suffisante.

#### 4.4 Sondage post-expérimental

Le tableau 3 présente la répartition du niveau d'accord avec l'unique énoncé du sondage post-expérimental :

*Après avoir appris qu'il n'existe aucune preuve scientifique pour appuyer l'hypothèse selon laquelle 'matcher' l'enseignement aux styles d'apprentissage VAK (par exemple, présenter des images et des diagrammes aux apprenants visuels) améliore le rendement scolaire, je prévois tenir compte des styles d'apprentissage VAK dans ma pratique d'enseignant(e).*

À la suite de notre intervention, le pourcentage d'apprentis enseignants ayant l'intention d'utiliser les styles d'apprentissage VAK dans leur pratique enseignante (cotes 3 et 4 combinées) a décliné, passant de 100 % (taux pré-expérimental) à 60 %, soit une baisse d'intention de 40 %. Soulignons que le pourcentage de répondants ayant coché *plutôt en accord* est resté inchangé (37 % au pré-test vs. 38 % au post-test). Cependant, le nombre de répondants ayant coché *tout à fait d'accord* est passé de 63 % à 22 %, une baisse

de 41 %. Finalement, 16 % des répondants ont totalement abandonné cette intention, cochant *pas du tout d'accord*.

Un test de Wilcoxon a révélé une différence significative entre la cote d'accord médiane pré-expérimentale (4.00) et la cote d'accord médiane post-expérimentale (3.00),  $z = -4.03$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,44^{14}$ .

**Tableau 3.** Répartition du niveau d'accord et prévalence pour l'énoncé pratique sur le neuromythe des styles d'apprentissage VAK, à la suite de la séance d'information.

	Niveau d'accord*				Prévalence
	1	2	3	4	3 + 4
Énoncé pratique					
Après avoir appris qu'il n'existe aucune preuve scientifique pour appuyer l'hypothèse selon laquelle 'matcher' l'enseignement aux styles d'apprentissage VAK (par exemple, présenter des images et des diagrammes aux apprenants visuels) améliore le rendement scolaire, je prévois tenir compte des styles d'apprentissage VAK dans ma pratique d'enseignant(e).	16 %	24 %	38 %	22 %	60 %

\* (1) *pas du tout d'accord*, (2) *plutôt en désaccord*, (3) *plutôt d'accord*, (4) *tout à fait d'accord*

## 5. Discussion

### 5.1 Sondage pré-expérimental

À notre connaissance, aucune donnée n'est encore disponible sur la prévalence d'adhésion aux neuromythes (dans leur ensemble) en Ontario. Notre sondage indique un taux d'adhésion de 93 % au neuromythe des styles d'apprentissage VAK chez un échantillon d'apprentis enseignants franco-ontariens en formation initiale ( $n = 41$ ). Un tel taux se compare à la prévalence observée chez des échantillons représentatifs de la même population en Australie (97 %; Kim et Sankey, 2018) et en Grèce (94 %; Papadatou-Pastou *et al.*, 2017) au cours des deux dernières années (la prévalence était de 82 % au Royaume-Uni il y a dix ans; Howard-Jones *et al.*, 2009).

Ailleurs au Canada, à notre connaissance, les seules autres données disponibles auprès d'apprentis enseignants sont celles (non publiées) de Loi Zedda (2014), obtenues auprès d'échantillons d'étudiants québécois en formation initiale à l'enseignement préscolaire et primaire ( $n = 59$ ) ou spécialisée

en adaptation scolaire et sociale ( $n = 23$ ). L'énoncé du neuromythe des styles d'apprentissage VAK utilisé par Loi Zedda (2014) était semblable à celui utilisé dans la présente étude : « Adapter son enseignement en fonction du profil de l'élève (auditif, visuel et kinesthésique) favorise ses apprentissages ». Les répondants indiquaient leur degré d'accord avec l'énoncé sur une échelle de type Likert à cinq niveaux, allant de (1) *pas du tout d'accord* à (5) *tout à fait d'accord* (les niveaux 2, 3 et 4 n'étaient pas explicitement qualifiés). Plutôt que le pourcentage de participants ayant coché chacune des cinq catégories de réponses, Loi Zedda (2014) a rapporté la cote moyenne d'accord, sur cinq. La cote moyenne d'accord était de 4,5 et de 4,7/5 chez les apprentis enseignants québécois en formation initiale et spécialisée, respectivement. Bien que notre échelle de type Likert ne contienne que quatre niveaux, la cote moyenne d'accord chez notre échantillon d'apprentis enseignants franco-ontariens à l'énoncé « Une approche pédagogique basée sur la distinction entre les élèves visuels et auditifs favorise l'apprentissage » était de 3,4/4, soit 4,3/5, ce qui pourrait suggérer un taux d'adhésion au neuromythe des styles d'apprentissage VAK relativement comparable entre le Québec et l'Ontario chez les apprentis enseignants.

Cependant, l'enquête récente de Blanchette Sarrasin *et al.* (2019), réalisée auprès d'un vaste échantillon ( $n = 972$ ) d'enseignants québécois francophones (aux niveaux préscolaire, primaire et secondaire), a révélé une prévalence moindre d'adhésion aux neuromythes. Dans cette enquête, la prévalence d'adhésion au neuromythe des styles d'apprentissage VAK était de 74 %. De l'avis même des auteurs, les taux de prévalence observés pour les cinq neuromythes sondés étaient plus bas que ceux rapportés dans des enquêtes précédentes ailleurs dans le monde, bien qu'ils demeurent élevés. Blanchette Sarrasin *et al.* (2019) ont évoqué la possibilité que cette prévalence moindre soit spécifique au Québec, ou encore, que la croyance internationale aux neuromythes soit en déclin. Puisque notre échantillon était constitué d'apprentis enseignants et non d'enseignants en exercice, il serait pertinent de réaliser une vaste enquête provinciale, en Ontario, auprès d'enseignants en exercice (en prenant en considération la langue d'enseignement), pour vérifier si la situation observée dans la profession enseignante au Québec se généralise ailleurs au Canada.

### 5.2 Intervention

L'originalité de notre étude reposait sur la création, chez les répondants, d'une anecdote personnelle dans laquelle l'hypothèse d'appariement était disqualifiée, comme c'est le cas dans la totalité des recherches scientifiques sur les styles d'apprentissage VAK (Rousseau *et al.*, 2018). Notre hypothèse stipulait qu'en raison d'une telle convergence, l'expérience personnelle et le savoir scientifique formeraient une alliance suffisamment puissante pour faire contrepoids aux

<sup>14</sup> Une fois converti, l'indice de puissance  $r = 0,44$  correspond à un  $d$  de Cohen = 0,98 (taille d'effet forte).

anecdotes déjà vécues par les répondants et déstabiliser la fausse croyance envers l'utilité pédagogique des styles d'apprentissages VAK.

Dans la mesure où l'intention de tenir compte des styles d'apprentissage VAK dans leur pratique enseignante reflète possiblement la croyance envers l'utilité pédagogique des styles VAK, la baisse statistiquement significative de ce taux d'intention, chez nos participants, appuie notre hypothèse. Cependant, le taux considérable de résistance à l'intervention (60 %) laisse suggérer que l'anecdote créée n'avait pas une puissance suffisante pour faire contrepoids aux autres anecdotes personnelles vécues dans le passé des participants. Nous reviendrons sur ce point dans la section 5.4.

Nous allons maintenant comparer notre intervention à celle réalisée par Newton et Miah (2017), bien que nos études respectives présentent un certain nombre de différences méthodologiques. L'intervention de Newton et Miah (2017) a été réalisée au Royaume-Uni, chez un échantillon composé de professeurs britanniques aux niveaux collégial et universitaire possédant, en moyenne, 11 ans d'expérience professionnelle en enseignement. Notre échantillon était plutôt composé d'apprentis enseignants canadiens inscrits en première année d'un programme de formation initiale à l'enseignement. En ce qui concerne la nature de l'intervention, celle de Newton et Miah (2017) reposait sur deux éléments : le manque de preuves scientifiques et la présentation d'énoncés sur les torts que peut causer l'utilisation du concept de styles d'apprentissage en classe. Notre propre intervention reposait, quant à elle, sur l'absence de preuves scientifiques et sur l'évocation d'une anecdote personnelle (issue d'une activité didactique) dans laquelle les répondants ont personnellement expérimenté l'absence de telles preuves.

En dépit de différences méthodologiques manifestes, notre intervention n'a pas été aussi efficace, en termes absolus, que celle de Newton et Miah (2017). Dans leur étude, de 64 % avant l'intervention, le pourcentage de professeurs ayant l'intention d'utiliser le concept de styles d'apprentissage dans leur pratique enseignante a décliné à 32 % après l'intervention, une chute de moitié. Dans la présente étude, de 100 % avant l'intervention, le pourcentage d'apprentis enseignants ayant l'intention d'utiliser ce concept dans leur pratique enseignante a décliné à 60 % après l'intervention, une chute qui n'atteint pas la moitié. Pourquoi un taux aussi considérable (60 %) de résistance à l'intervention?

À l'instar de Newton et Miah (2017), nous pourrions évoquer un effet de retour de flamme, possiblement plus accentué chez les apprentis enseignants en première année de formation que chez les professeurs d'expérience au collège ou à l'université. En effet, il se peut que les apprentis enseignants entretiennent des attentes plus idéalistes que les professeurs envers l'efficacité de pratiques pédagogiques inspirées des styles d'apprentissage, ce qui pourrait avoir provoqué une réaction antagoniste plus intense au savoir scientifique. L'effet de retour de flamme pourrait également

avoir été plus accentué, chez notre échantillon, en raison de la nature plus personnelle de notre intervention. En effet, par la création d'une anecdote personnelle, nos répondants ont été confrontés de manière plus directe à leurs croyances profondes que ceux de Newton et Miah (2017), ce qui pourrait avoir engendré une réaction à charge émotionnelle plus élevée. À l'appui de cette spéculation, à la fin de notre séance d'information, un apprenti enseignant, visiblement ébranlé sur le plan émotif, nous a confié qu'il vérifierait nos dires.

Outre un effet de retour de flamme possiblement plus accentué chez les apprentis enseignants que chez les professeurs, le taux considérable de résistance à l'intervention (60 %) observé dans la présente étude pourrait relever de lacunes présentes dans le libellé de l'énoncé utilisé lors du sondage post-expérimental :

*Après avoir appris qu'il n'existe aucune preuve scientifique pour appuyer l'hypothèse selon laquelle 'matcher' l'enseignement aux styles d'apprentissage VAK (par exemple, présenter des images et des diagrammes aux apprenants visuels) améliore le rendement scolaire, je prévois tenir compte des styles d'apprentissage VAK dans ma pratique d'enseignant(e).*

En effet, ce libellé fait mention explicite de l'absence de preuves scientifiques à l'appui de l'utilité pédagogique des styles d'apprentissage VAK, mais n'évoque pas à nouveau l'anecdote personnelle issue de l'activité didactique. Même si cet énoncé a été présenté immédiatement après la présentation conjointe des résultats de l'étude scientifique de Cuevas et Dawson (2018) et des résultats de l'activité didactique, il demeure possible que les répondants n'aient pris en considération, pour évaluer leur intention personnelle d'utiliser les styles d'apprentissage VAK dans leur pratique enseignante, uniquement l'élément scientifique. Par conséquent, un énoncé évoquant à la fois le savoir scientifique et l'anecdote personnelle aurait possiblement pu donner lieu à un taux de résistance plus faible.

### 5.3 Limites de la présente étude

En dépit du caractère original et de l'efficacité potentielle de notre intervention, son application particulière dans la présente étude n'est pas sans présenter certaines limites. Premièrement, le profil de résultats obtenu lors de l'activité didactique (un score moyen de rappel indicé nettement supérieur pour les mots accompagnés d'images plutôt que de sons) pourrait avoir été biaisé par des attentes créées lors du sondage pré-expérimental sur les styles d'apprentissage VAK, administré deux semaines auparavant. En effet, il est possible que les participants aient mis plus d'effort à retenir les mots présentés dans la condition correspondant à leur style VAK préféré. Cependant, dans l'étude de Knoll, Otani, Skeel et Van Horn (2017), les participantes (uniquement des femmes) devaient mémoriser des paires de mots et des paires d'images. Pour chaque paire de mots ou d'images, elles devaient émettre un jugement subjectif sur leur capacité de se souvenir du deuxième item si le premier item était



présenté comme indice. À la suite de la phase de mémorisation et immédiatement avant la phase de rappel indicé, Knoll et al. (2017) ont demandé aux participantes si elles croyaient que le rappel serait meilleur quand le format de présentation des items était apparié à leur style d'apprentissage. Toutes les participantes (100 %) ont répondu par l'affirmative. Elles devaient aussi cocher si leur style d'apprentissage personnel était davantage visuel ou verbal. Or, en dépit de la création *explicite* d'attentes et de l'évocation de leur propre style d'apprentissage immédiatement avant la tâche de rappel indicé, les images ont été mieux rappelées par les participantes, indépendamment de leurs jugements subjectifs (prédictions de rappel) lors de la phase de mémorisation et indépendamment de leur style d'apprentissage (visuel ou verbal) auto-déclaré ou déterminé par leur score à la version révisée du *Verbalizer-Visualizer Questionnaire* (VVQ; Kirby, Moore et Schofield, 1988). Toutefois, il n'est pas exclu que des attentes aient pu être créées dans la présente étude. À noter que la très grande majorité des études expérimentales publiées dans la littérature scientifique visant à tester l'hypothèse d'appariement souffrent potentiellement du même biais, les instruments de mesure des styles d'apprentissage VAK étant administrés en amont de la tâche expérimentale (c'est le cas de sept des huit études recensées par Rousseau et al., 2018). Dans la présente étude, les trois mesures (questionnaire VARK, inventaire BLSI et auto-déclaration) ont, au contraire, été administrées *en aval* de la tâche expérimentale.

Deuxièmement, nous avons délibérément choisi de ne pas sonder à nouveau les répondants, après la séance d'information, sur les trois énoncés de croyance envers les styles d'apprentissage VAK utilisés lors de la phase pré-expérimentale. Nous ignorons donc si la croyance en tant que telle envers ce neuromythe a diminué à la suite de notre intervention. Notre justification pour ce choix méthodologique est toutefois discutable. En effet, nous voulions éviter qu'un possible effet de désirabilité sociale, soupçonné par Newton et Miah (2017) en ce qui concerne les énoncés de croyance, ne « contamine » notre énoncé d'intention pratique. Or, pour éviter une telle contamination, nous aurions pu choisir de présenter, dans le sondage post-expérimental, l'énoncé d'intention pratique *avant* les énoncés de croyance. De plus, en dépit de l'absence d'énoncés de croyance au post-test, l'énoncé d'intention pratique a tout aussi bien pu, *en soi*, être victime d'un effet de désirabilité sociale, de sorte que le taux réel de résistance pourrait s'avérer plus élevé que le taux observé (60 %). Par conséquent, l'absence d'énoncés de croyance au sondage post-expérimental constitue une limite importante de la présente étude.

Troisièmement, la baisse significative de l'intention des apprentis enseignants d'utiliser les styles d'apprentissage VAK dans leur pratique enseignante, observée dans la présente étude, ne peut être formellement attribuée à l'évocation d'une anecdote personnelle disqualifiant leur utilité pédagogique. Toute autre composante de la séance

d'information pourrait avoir causé cet effet. Seul un protocole expérimental rigoureux, comprenant trois échantillons d'apprentis enseignants issus de la même cohorte, serait susceptible de dissocier l'effet relatif de l'exposition au savoir scientifique et de l'évocation d'une anecdote personnelle : un groupe expérimental exposé à la fois au savoir scientifique et à une anecdote personnelle, vs. un groupe témoin exposé uniquement au savoir scientifique, vs. un groupe témoin exposé uniquement à une anecdote personnelle. L'absence de tels groupes témoins constitue une autre limite importante de la présente étude.

#### 5.4 Recherches futures

Dans la présente recherche, nous avons misé sur une intervention axée sur une alliance entre le savoir scientifique et l'évocation d'une anecdote personnelle pour disqualifier l'efficacité pédagogique des styles d'apprentissage VAK. Or, il est possible que nous ayons sous-estimé la puissance des anecdotes personnelles déjà vécues par les participants, puisque l'alliance de notre nouvelle anecdote personnelle et du savoir scientifique n'a pas été suffisante pour susciter, chez 60 % d'entre eux, une baisse de l'intention d'utiliser les styles d'apprentissage VAK dans leur pratique enseignante. Pourquoi un taux aussi considérable (60 %) de résistance à l'intervention?

Un manque de puissance de l'anecdote personnelle créée lors de l'activité didactique pourrait possiblement expliquer le taux élevé de résistance à l'intervention. Rappelons que deux apprentis enseignants sur cinq (41 %), dans notre échantillon, ont déclaré se considérer comme une personne à la fois *visuelle et auditive*. Pourtant, la presque totalité (98 %) des répondants ont indiqué être d'accord avec l'énoncé « Certaines personnes sont visuelles, d'autres sont auditives ». Il se peut que les répondants croient davantage en l'existence d'une modalité sensorielle dominante chez les enfants et moins chez les adultes. Si tel est le cas, de manière à accroître la puissance de notre anecdote, l'activité didactique pourrait être réalisée chez un groupe d'élèves d'une école primaire, plutôt que chez les apprentis enseignants eux-mêmes. Ceux-ci seraient ainsi directement témoins de l'inefficacité des styles d'apprentissage VAK à prédire une performance scolaire (ici, un test de rappel indicé) chez les élèves. De plus, une activité didactique réalisée en milieu éducatif serait susceptible de susciter, chez les répondants, une charge émotionnelle plus élevée (rappelons que l'heuristique de disponibilité implique l'évocation d'un souvenir à forte charge émotionnelle).

Cependant, nos répondants étaient des apprentis enseignants en première année de formation initiale à l'enseignement. Des enseignants en exercice depuis un certain nombre d'années disposent probablement de beaucoup plus d'anecdotes personnelles, vécues dans le passé, qui semblent confirmer l'efficacité pédagogique des styles d'apprentissage VAK. Considérant le taux de résistance déjà élevé observé chez des apprentis enseignants disposant de moins d'expérience d'enseignement, nous pouvons

supposer un taux de résistance encore plus élevé chez des enseignants en exercice. Toutefois, il demeure possible qu'une activité didactique réalisée chez leurs propres élèves puisse s'avérer efficace. En effet, dans un tel protocole expérimental, les anciennes observations anecdotiques favorables au neuromythe des styles d'apprentissage VAK et la nouvelle anecdote défavorable créée lors de l'activité didactique seraient issues de leurs propres élèves, une situation qui pourrait possiblement favoriser, chez les enseignants en exercice, une déstabilisation plus marquée de leurs fausses croyances.

L'étude de Grospietsch et Mayer (2018) suggère une piste de recherche prometteuse sur les interventions à privilégier. Ces auteurs ont misé sur des textes de changement conceptuel pour tenter d'atteindre plus en profondeur les systèmes de croyance de leurs participants. Cependant, tel que mentionné précédemment, si cette intervention semble avoir diminué l'adhésion aux neuromythes, nous ignorons si ce résultat est victime d'un effet de désirabilité sociale, comme cela semble avoir été le cas dans l'étude de Newton et Miah (2017). Conséquemment, l'étude de Grospietsch et Mayer (2018) ne permet ni de conclure en une baisse réelle de croyance aux neuromythes, ni en une diminution de l'intention de tenir compte des neuromythes dans la pratique enseignante, puisque cette intention n'a pas été sondée dans cette recherche. Cependant, puisque l'intervention de Grospietsch et Mayer (2018) permettrait d'atteindre plus en profondeur l'expérience personnelle des participants (en raison des textes de changement conceptuel) que celle de Newton et Miah (2017), il est plausible qu'une telle intervention puisse également avoir un impact sur les intentions pratiques. Une étude reprenant l'intervention en deux composantes (exposition aux neurosciences cognitives de l'apprentissage et textes de changement conceptuel) de Grospietsch et Mayer (2018), avec non seulement une comparaison pré/post de l'adhésion aux neuromythes, mais également de l'intention d'en tenir compte dans la pratique enseignante, serait sans doute la bienvenue.

Si les pratiques pédagogiques inspirées des neuromythes sont si réfractaires aux interventions, comme le suggère l'étude de Newton et Miah (2017), alors il serait pertinent de s'interroger plus avant sur la nature de telles pratiques. À notre connaissance, aucune étude systématique n'a été réalisée, jusqu'à présent, pour connaître les pratiques pédagogiques mises en place par les enseignants pour « respecter » les styles d'apprentissage de leurs élèves. Cependant, nous disposons de quelques données qualitatives. Notamment, Sharp et al. (2008) ont rapporté les propos d'une enseignante du primaire, propos que ces auteurs considèrent représentatifs des réponses recueillies à l'aide de 76 questionnaires distribués au Royaume-Uni : « J'enseigne depuis bientôt 30 ans et j'ai toujours reconnu que les enfants apprennent de manières différentes. J'ai toujours essayé d'inclure un éventail d'expériences dans mon enseignement pour accommoder les différents styles d'apprentissage » (p. 302; traduction libre). De même, dans l'étude de Newton et Miah (2017), les professeurs britanniques aux niveaux

collégial et universitaire pouvaient laisser un commentaire libre. Fait intéressant, le thème dominant de ces commentaires était le besoin d'utiliser une variété de méthodes d'enseignement pour garder actifs (angl. *engaged*) les étudiants et favoriser la réflexion. Parmi les 48 répondants ayant laissé des commentaires, 23 ont mentionné ce besoin de diversité, ajoutant, dans plusieurs cas, « en dépit de l'absence de preuves envers l'efficacité pédagogique des styles d'apprentissage » (traduction libre). D'ailleurs, Riener et Willingham (2010), qui ont pourtant vivement critiqué le concept de styles d'apprentissage VAK, partagent l'idée qu'une variété de modalités sensorielles de présentation du contenu pédagogique (le « multimédia ») contribue à maintenir l'intérêt et l'attention des apprenants. Ces auteurs ont toutefois précisé qu'il n'est pas nécessaire d'apparier le format de présentation du contenu pédagogique aux « styles d'apprentissage » VAK des apprenants.

De fait, varier les supports sensoriels n'est pas une pratique pédagogique dénuée de fondements scientifiques. Plusieurs recherches ont montré que la présentation bimodale de stimuli (p. ex. visuelle et auditive) procure un meilleur apprentissage qu'une présentation unimodale (Shams et Seitz, 2008). Macdonald et al. (2017) soulignent d'ailleurs que l'une des retombées plutôt inattendues de l'adhésion au neuromythe des styles d'apprentissage VAK est l'adoption de pratiques pédagogiques axées sur la présentation multisensorielle du contenu pédagogique. Selon ces auteurs, diversifier les modalités sensorielles de présentation du contenu pédagogique, même pour la mauvaise raison (la croyance envers les styles d'apprentissage VAK), pourrait donc s'avérer une pratique pédagogique efficace, appuyée par la recherche scientifique. Paradoxalement, selon eux, tenter de démystifier le neuromythe des styles d'apprentissage VAK chez les enseignants sans mentionner les travaux scientifiques qui appuient l'efficacité d'une présentation multisensorielle du contenu pédagogique pourrait malencontreusement les dissuader de continuer d'employer de telles méthodes efficaces pour l'ensemble des élèves. Puisque, selon Geake (2008), attribuer l'efficacité de méthodes didactiques multisensorielles à l'existence de styles d'apprentissage VAK pourrait consolider ce neuromythe, il serait nécessaire de trouver un moyen de convaincre les enseignants que de telles méthodes sont efficaces pour une raison *autre* que l'existence de styles d'apprentissage VAK chez leurs élèves.

Une piste intéressante en ce sens a été évoquée au tout début de cet article. La très grande majorité des recherches scientifiques en neuroéducation portent sur le fonctionnement du cerveau de l'apprenant *en général*. Comme l'ont souligné Arbuthnott et Krätzig (2015), les similitudes dans l'architecture cognitive du cerveau éclipsent considérablement les préférences individuelles d'apprentissage. Insister sur ces similitudes pourrait possiblement servir à convaincre les enseignants d'utiliser des pratiques pédagogiques générales, appuyées par la recherche scientifique, qui s'adressent à l'ensemble des élèves de leur classe (Agarwal et Roediger, 2018; Arbuthnott

et Krätzig, 2015; Dunlosky *et al.*, 2013). Or, comme nous l'avons évoqué d'entrée de jeu, le devoir des enseignants de répondre aux besoins individuels de leurs élèves pourrait les inciter à se détourner de pratiques pédagogiques générales probantes, au profit de pratiques inspirées de l'idée fautive de l'existence de profils particuliers de fonctionnement cérébral chez les apprenants. Ainsi, dans l'enquête québécoise récente réalisée par Blanchette Sarrasin *et al.* (2019), parmi les éléments ayant mené à leur niveau d'accord avec des énoncés faisant référence à des neuromythes populaires, les enseignants ont coché *Cela correspond aux besoins de mes élèves* dans une proportion de 38 % (neuromythe des styles d'apprentissage VAK), de 30 % (neuromythe des intelligences multiples) et de 12 % (neuromythe de la dominance hémisphérique). Si l'on parvenait à convaincre les enseignants que des pratiques pédagogiques générales, qui s'adressent à l'ensemble des élèves de leur classe, contribuent également à répondre aux besoins individuels de leurs élèves, l'adoption de pratiques inspirées des neuromythes serait-elle moins fréquente?

Dans cet article, nous avons évoqué plusieurs mécanismes psychologiques qui semblent contribuer à l'adhésion aux neuromythes et à leur résistance face au savoir scientifique. Certains auteurs sont d'avis que l'introduction d'un cours sur la pensée critique dans la formation initiale en enseignement puisse possiblement réduire l'influence de tels mécanismes (Blanchette Sarrasin *et al.*, 2019; Pasquinelli, 2012; Rousseau *et al.*, 2018; Tardif et Doudin, 2011). Ce cours pourrait aborder, notamment, les procédés de validation non scientifiques (voir Larivée, 2001), les biais cognitifs (voir Gilovich, Griffin et Kahneman, 2002), ainsi que les raisonnements logiques fallacieux (voir Rousseau *et al.*, 2018). Comme certains neuromythes seraient issus de découvertes scientifiques disqualifiées par la suite (p.ex. *l'effet Mozart*; voir Latendresse, Larivée et Miranda, 2006), un cours sur la pensée critique pourrait également comprendre des notions d'épistémologie. Enseigner aux apprentis enseignants que les découvertes scientifiques ne sont pas immuables, mais falsifiables (Popper, 1934/1973), de même que le concept de révolution scientifique (Kuhn, 1962/1983), pourrait possiblement contribuer à une conception moins « cristallisée » du savoir scientifique. Enfin, ce cours pourrait fournir des outils aux apprentis enseignants pour mieux distinguer entre savoir scientifique et savoir pseudoscientifique (Larivée, 2001; Lilienfeld, Ammirati et David, 2012).

En dernier lieu, nous aimerions soulever la possibilité que les avancées scientifiques en neuroéducation ne soient pas encore diffusées à une échelle suffisamment grande pour contribuer à l'adoption spontanée, dans la profession enseignante, de pratiques pédagogiques appuyées par la recherche. L'instauration de programmes universitaires en neuroéducation, à laquelle nous assistons depuis quelques années, a le potentiel de favoriser le transfert du savoir de la sphère scientifique à la sphère professionnelle. Pour les enseignants déjà en exercice, des tentatives louables de diffusion sont réalisées par le biais d'articles publiés dans des

revues professionnelles (p. ex. Jenkins, 2017, 2018). Toutefois, une vigilance de tous les instants est requise pour débusquer, dans les revues professionnelles en éducation, des vestiges de neuromythes « classiques », ou encore des distorsions, extrapolations ou simplifications abusives de découvertes récentes en neuroéducation, qui seraient susceptibles de contribuer à la création de nouveaux neuromythes.

## 6. Conclusion

Les enquêtes internationales témoignent d'une adhésion massive aux neuromythes dans le milieu de l'éducation. Or, si certaines de ces fausses croyances sur le cerveau et l'apprentissage seraient issues d'une interprétation inexacte ou abusive de données expérimentales en neurosciences, la simple exposition aux neurosciences semble pourtant insuffisante pour les enrayer (p. ex. Im *et al.*, 2018). Une telle exposition ne permettrait pas d'atteindre les fausses croyances, car celles-ci seraient profondément ancrées dans l'expérience personnelle des participants (Grospietsch et Mayer, 2018). En ce sens, une enquête récente réalisée auprès d'enseignants québécois a révélé que les répondants évoquent, plus que tout autre facteur, leurs intuitions ou leurs observations anecdotiques pour justifier leur adhésion à quatre neuromythes populaires sur cinq, dont celui des styles d'apprentissage VAK (Blanchette Sarrasin *et al.*, 2019). De plus, dans une récente tentative de démystification réalisée auprès de professeurs britanniques, une fois confrontés au savoir scientifique disqualifiant l'utilité pédagogique des styles d'apprentissage, près du tiers des répondants ont manifesté de la résistance à abandonner ce concept dans leur pratique enseignante, dont 89% en raison de leur expérience personnelle (Newton et Miah, 2017).

Puisque les observations anecdotiques semblent alimenter les neuromythes et les protéger de l'assaut du savoir scientifique, dans la présente étude, nous avons proposé une intervention axée sur la création d'une anecdote personnelle disqualifiant l'utilité pédagogique du concept de styles d'apprentissage VAK. Notre hypothèse stipulait qu'une telle anecdote personnelle serait susceptible de former, avec le savoir scientifique, une alliance suffisamment puissante pour faire contrepoids aux anecdotes déjà vécues par les répondants et déstabiliser la fausse croyance envers l'utilité pédagogique de ce concept.

Des apprentis enseignants franco-ontariens inscrits en première année d'un programme de formation initiale à l'enseignement ont participé à une activité didactique démontrant l'absence de gains d'apprentissage lorsque le contenu pédagogique est présenté dans la modalité sensorielle correspondant à leur propre « style d'apprentissage » (préssumé). Ces données personnelles ont ensuite été présentées de concert avec des données semblables issues de la littérature scientifique et démontrant également l'absence de gains d'apprentissage. À la suite de l'intervention, le pourcentage de participants indiquant vouloir malgré tout utiliser les styles d'apprentissage VAK dans leur pratique enseignante a décliné, passant de 100 % à 60 %.



Ce taux considérable de résistance à une intervention pourtant axée sur l'expérience personnelle des participants suggère que l'anecdote créée n'avait pas une puissance suffisante pour faire contrepoids aux anecdotes personnelles déjà vécues par les participants. Des pistes de recherche futures ont été suggérées pour consolider la nouvelle anecdote, dont notamment une intervention visant à réaliser l'activité didactique auprès d'élèves, de sorte que les participants puissent être témoins de contre-exemples directement issus du milieu éducatif.

#### Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une subvention du Fonds des leaders de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI). Nous tenons à remercier les deux arbitres externes anonymes pour leurs critiques constructives de la version initiale de ce texte.

#### Références

- Adey, P. et Dillon, J. (dir.). (2012). *Bad education: Debunking myths in education*. Berkshire, Royaume-Uni : Open University Press.
- Agarwal, P. K. et Roediger, H. L. (2018). Lessons for learning: How cognitive psychology informs classroom practice. *Phi Delta Kappan*, 100(4), 8–12. <https://doi.org/10.1177/0031721718815666>
- Alferink, L. A. (2007). Educational practices, superstitious behavior and mythed opportunities. *Scientific Review of Mental Health Practice*, 5(2), 21–30.
- Álvarez-Montero, F. J., Reyes-Sosa, H., Leyva-Cruz, M. G. et Fragoza-Padilla, V. (soumis 2019). *Learning styles and the human brain: What does the evidence tell us?* Manuscrit soumis pour publication.
- Arbuthnott, K. D. et Krätzig, G. P. (2015). Effective teaching: Sensory learning styles versus general memory processes. *Comprehensive Psychology*, 4. <https://doi.org/10.2466/06.IT.4.2>
- Aslaksen, K. et Lorås, H. (2018). The modality-specific learning style hypothesis: A mini-review. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01538>
- Aslaksen, K. et Lorås, H. (2019). Matching instruction with modality-specific learning style: Effects on immediate recall and working memory performance. *Education Sciences*, 9(1), 32. <https://doi.org/10.3390/educsci9010032>
- Baillargeon, N. (2013). *Légendes pédagogiques : L'autodéfense intellectuelle en éducation*. Montréal, QC : Poètes de Brousse.
- Barsch, J. (1991). *Barsch Learning Style Inventory*. Novato, CA : Academic Therapy.
- Blanchette Sarrasin, J., Riopel, M. et Masson, S. (2019). Neuromyths and their origin among teachers in Quebec. *Mind, Brain, and Education*, 13(2), 100–109. <https://doi.org/10.1111/mbe.12193>
- Calvert, G. A., Campbell, R. et Brammer, M. J. (2000). Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex. *Current Biology*, 10(11), 649–657. [https://doi.org/10.1016/s0960-9822\(00\)00513-3](https://doi.org/10.1016/s0960-9822(00)00513-3)
- Cancela, J. M., Vila Suárez, M. H., Vasconcelos, J., Lima, A. et Ayán, C. (2015). Efficacy of Brain Gym training on the cognitive performance and fitness level of active older adults: A preliminary study. *Journal of Aging and Physical Activity*, 23(4), 653–658. <https://doi.org/10.1123/japa.2014-0044>
- Chevrier, J., Fortin, G., Leblanc, R. et Théberge, M. (2000). Le style d'apprentissage : une perspective historique. *Éducation et francophonie*, 28(1), 20–46.
- Coffield, F., Moseley, D., Hall, E. et Ecclestone, K. (2004a). *Learning styles and pedagogy in post-16 learning: A systematic and critical review*. Londres, Royaume-Uni : Learning and Skills Research Centre. <http://hdl.voced.edu.au/10707/69027>
- Coffield, F., Moseley, D., Hall, E. et Ecclestone, K. (2004b). *Should we be using learning styles? What research has to say to practice*. Londres, Royaume-Uni : Learning and Skills Research Centre. <http://hdl.voced.edu.au/10707/64981>
- Cuevas, J. et Dawson, B. L. (2018). A test of two alternatives cognitive processing models: Learning styles and dual coding. *Theory and Research in Education*, 16(1), 40–64. <https://doi.org/10.1177/1477878517731450>
- Dandy, K. L. et Bendersky, K. (2014). Student and faculty beliefs about learning in higher education: Implications for teaching. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, 26(3), 358–380.
- De Bruyckere, P., Kirschner, P. A. et Hulshof, C. D. (2015). *Urban myths about learning and education*. Amsterdam, Pays-Bas : Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-18621-7>
- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P. et Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00429>
- Dembo, M. H. et Howard, K. (2007). Advice about the use of learning styles: A major myth in education. *Journal of College Reading and Learning*, 37(2), 101–109. <https://doi.org/10.1080/10790195.2007.10850200>



- Dennison, P. E. et Dennison, G. E. (1994). *Brain Gym® teacher's edition* (éd. révisée). Ventura, CA : Edu-Kinesthetics.
- Doudin, P.-A., Tardif, E. et Meylan, N. (2016). De l'utilité ambiguë des styles d'apprentissage et des neuromythes. Dans E. Tardif et P.-A. Doudin (dir.), *Neurosciences et cognition : Perspectives pour les sciences de l'éducation* (p. 81-102). Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Dündar, S. et Gündüz, N. (2016). Misconceptions regarding the brain: The neuromyths of preservice teachers. *Mind, Brain, and Education*, 10(4), 212-232. <https://doi.org/10.1111/mbe.12119>
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J. et Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4-58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>
- Feldman, J. (2016). The simplicity principle in perception and cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 7(5), 330-340. <https://doi.org/10.1002/wcs.1406>
- Ferrero, M., Garaizar, P. et Vadillo, M. A. (2016). Neuromyths in education: Prevalence among Spanish teachers and an exploration of cross-cultural variation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00496>
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (4<sup>e</sup> éd.). Thousand Oaks, CA : Sage.
- Fleming, N. D. et Mills, C. (1992). Not another inventory, rather a catalyst for reflection. *To Improve the Academy*, 11(1), 137-155. <https://doi.org/10.1002/j.2334-4822.1992.tb00213.x>
- Furnham, A. (2009). The validity of a new, self-report measure of multiple intelligence. *Current Psychology*, 28(4), 225-239. <https://doi.org/10.1007/s12144-009-9064-z>
- Gardner, H. (1983/1997). *Frames of mind: A theory of multiple intelligences*. New York, NY : Basic Books (traduit en 1997 sous le titre *Les formes de l'intelligence*. Paris, France : Odile Jacob).
- Gardner, H. (2016). Multiple intelligences: Prelude, theory, and aftermath. Dans R. J. Sternberg, S. T. Fiske et D. J. Foss (dir.), *Scientists making a difference* (p. 167-170). New York, NY : Cambridge University Press.
- Gazzaniga, M. S. (2005). Forty-five years of split-brain research and still going strong. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(8), 653-659. <https://doi.org/10.1038/nrn1723>
- Gazzaniga, M. S., Bogen, J. E. et Sperry, R. W. (1965). Observations on visual perception after disconnection of the cerebral hemispheres in man. *Brain*, 88(2), 221-236. <https://doi.org/10.1093/brain/88.2.221>
- Geake, J. (2008). Neuromythologies in education. *Educational Research*, 50(2), 123-133. <https://doi.org/10.1080/00131880802082518>
- Gilovich, T., Griffin, D. et Kahneman, D. (dir.). (2002). *Heuristics and biases - The psychology of intuitive judgment*. Cambridge, UK : Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808098>
- Gleichgerrcht, E., Lira Luttgés, B., Salvarezza, F. et Campos, A. L. (2015). Educational neuromyths among teachers in Latin America. *Mind, Brain, and Education*, 9(3), 170-178. <https://doi.org/10.1111/mbe.12086>
- Grospietsch, F. et Mayer, J. (2018). Professionalizing pre-service biology teachers' misconceptions about learning and the brain through conceptual change. *Education Sciences*, 8(3), 120. <https://doi.org/10.3390/educsci8030120>
- Grospietsch, F. et Mayer, J. (2019). Pre-service science teachers' neuroscience literacy: Neuromyths and a professional understanding of learning and memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00020>
- Hermida, M. J., Segretin, M. S., García, A. S. et Lipina, S. J. (2016). Conceptions and misconceptions in preschool teachers: A study from Argentina. *Educational Research*, 58(4), 457-472. <https://doi.org/10.1080/00131881.2016.1238585>
- Holland, S. K., Vannest, J., Mecoli, M., Jacola, L. M., Tillema, J.-M., Karunanayaka, P. R., ... et Byars, A. W. (2007). Functional MRI of language lateralization during development in children. *International Journal of Audiology*, 46(9), 533-551. <https://doi.org/10.1080/14992020701448994>
- Hood, B., Howard-Jones, P. A., Laurillard, D., Bishop, D., Coffield, F., Frith, U., ... et Foulsham, T. (2017, 12 mars). No evidence to back idea of learning styles. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/education/2017/mar/12/no-evidence-to-back-idea-of-learning-styles>
- Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), 817-824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
- Howard-Jones, P. A., Franey, L., Mashmouhi, R. et Liao, Y.-C. (2009, septembre). The neuroscience literacy of trainee teachers. Dans *British Educational Research Association Annual Conference* (p. 1-39). Manchester, Royaume-Uni : University of Manchester.
- Husmann, P. R. et O'Loughlin, V. D. (2019). Another nail in the coffin for learning styles? Disparities among undergraduate anatomy students' study strategies, class performance, and reported VARK learning styles. *Anatomical Sciences Education*, 12(1), 6-19. <https://doi.org/10.1002/ase.1777>

- Hyatt, K. J. (2007). *Brain Gym*<sup>®</sup>: Building stronger brains or wishful thinking? *Remedial and Special Education*, 28(2), 117-124. <https://doi.org/10.1177/07419325070280020201>
- Im, S.-h., Cho, J.-Y., Dubinsky, J. M. et Varma, S. (2018). Taking an educational psychology course improves neuroscience literacy but does not reduce belief in neuromyths. *PLoS ONE*, 13(2), e0192163. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192163>
- Jenkins, R. T. (2017). Using educational neuroscience and psychology to teach science. Part 1 : A case study review of Cognitive Load Theory (CLT) and Cognitive Acceleration through Science Education (CASE). *School Science Review*, 99(367), 93-103.
- Jenkins, R. T. (2018). Using educational neuroscience and psychology to teach science. Part 2. A case study review of 'The Brain-Targeted Teaching Model' and 'Research-Based Strategies to Ignite Student Learning'. *School Science Review*, 100(371), 66-75.
- Karakus, O., Howard-Jones, P. A. et Jay, T. (2015). Primary and secondary school teachers' knowledge and misconceptions about the brain in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 1933-1940. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.858>
- Kim, M. et Sankey, D. (2018). Philosophy, neuroscience, and pre-service teachers' beliefs in neuromyths: A call for remedial action. *Educational Philosophy and Theory*, 50(13), 1214-1227. <https://doi.org/10.1080/00131857.2017.1395736>
- Kirby, J. R., Moore, P. J. et Schofield, N. J. (1988). Verbal and visual learning styles. *Contemporary Educational Psychology*, 13(2), 169-184. [https://doi.org/10.1016/0361-476X\(88\)90017-3](https://doi.org/10.1016/0361-476X(88)90017-3)
- Kirschner, P. A. (2017). Stop propagating the learning styles myth. *Computers and Education*, 106, 166-171. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.006>
- Knoll, A. R., Otani, H., Skeel, R. L. et Van Horn, K. R. (2017). Learning style, judgements of learning, and learning of verbal and visual information. *British Journal of Psychology*, 108(3), 544-563. <https://doi.org/10.1111/bjop.12214>
- Kolb, D. A. (1976). *LSI - The Learning Style Inventory: Technical manual*. Boston, MA : McBer.
- Kozhevnikov, M., Evans, C. et Kosslyn, S. M. (2014). Cognitive style as environmentally sensitive individual differences in cognition: A modern synthesis and applications in education, business, and management. *Psychological Science in the Public Interest*, 15(1), 3-33. <https://doi.org/10.1177/1529100614525555>
- Krätzig, G. P. et Arbuthnott, K. D. (2006). Perceptual learning style and learning proficiency: A test of the hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 238-246. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.98.1.238>
- Kuhn, T. S. (1962/1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, France : Flammarion.
- Larivée, S. (2001). Science contre pseudosciences : un combat inégal. *Revue canadienne de psycho-éducation*, 30(1), 1-25.
- Larivée, S., Baribeau, J. et Pflieger, J.-F. (2008). Qui utilise 10 % de son cerveau? *Revue de psychoéducation*, 37(1), 117-142.
- Larivée, S. et Sénéchal, C. (2012). Que dit la science à propos des intelligences multiples? *Revue québécoise de psychologie*, 33(1), 23-45.
- Latendresse, C., Larivée, S. et Miranda, D. (2006). La portée de l'effet Mozart : Succès souvenirs, fausses notes et reprises. *Psychologie canadienne*, 47(2), 125-142. <https://doi.org/10.1037/cp2006004>
- Leite, W. L., Svinicki, M. et Shi, Y. (2010). Attempted validation of the scores of the VARK: Learning Styles Inventory with multitrait-multimethod confirmatory factor analysis models. *Educational and Psychological Measurement*, 70(2), 323-339. <https://doi.org/10.1177/0013164409344507>
- Lilienfeld, S. O., Ammirati, R. et David, M. (2012). Distinguishing science from pseudoscience in school psychology: Science and scientific thinking as safeguards against human error. *Journal of School Psychology*, 50(1), 7-36. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2011.09.006>
- Lindell, A. K. et Kidd, E. (2011). Why right-brain teaching is half-witted: A critique of the misapplication of neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education*, 5(3), 121-127. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228x.2011.01120.x>
- Loi Zedda, M. (2014). *Croyances chez les enseignants du primaire et du spécialisé à l'égard des neuromythes. Étude comparée entre la Suisse Romande et le Québec*. Mémoire de master inédit, Haute École Pédagogique, Lausanne, Suisse.
- Macdonald, K., Germine, L., Anderson, A., Christodoulou, J. et McGrath, L. M. (2017). Dispelling the myth: Training in education or neuroscience decreases but does not eliminate beliefs in neuromyths. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01314>
- Masson, S. (2015). Les apports de la neuroéducation à l'enseignement : des neuromythes aux découvertes actuelles. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 134, 11-22.

- Newton, P. M. (2015). The learning styles myth is thriving in higher education. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01908>
- Newton, P. M. et Miah, M. (2017). Evidence-based higher education: Is the learning styles 'myth' important? *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00444>
- Nielsen, J. A., Zielinski, B. A., Ferguson, M. A., Lainhart, J. E. et Anderson, J. S. (2013). An evaluation of the left-brain vs. right-brain hypothesis with resting state functional connectivity magnetic resonance imaging. *PLoS ONE*, 8(8), e71275. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071275>
- Nyhan, B. et Reifler, J. (2010). When corrections fail: The persistence of political misperceptions. *Political Behavior*, 32(2), 303–330. <https://doi.org/10.1007/s11109-010-9112-2>
- Othman, N. et Amiruddin, M. H. (2010). Different perspectives of learning styles from VARK model. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 7, 652–660. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.10.088>
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York, NY : Holt, Rinehart, and Winston.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford, Royaume-Uni : Oxford University Press.
- Papadatou-Pastou, M., Gritzali, M. et Barrable, A. (2018). The learning styles educational neuromyth: Lack of agreement between teachers' judgments, self-assessment, and students' intelligence. *Frontiers in Education*, 3. <https://doi.org/10.3389/educ.2018.00105>
- Papadatou-Pastou, M., Haliou, E. et Vlachos, F. (2017). Brain knowledge and prevalence of neuromyths among prospective teachers in Greece. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00804>
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D. et Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest*, 9(3), 105–119. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6053.2009.01038.x>
- Pasquinelli, E. (2012). Neuromyths: Why do they exist and persist? *Brain, Mind, and Education*, 6(2), 89–96. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228x.2012.01141.x>
- Pasquinelli, E. (2015). *Mon cerveau, ce héros : Mythes et réalités*. Paris, France : Le Pommier.
- Popper, K. R. (1934/1973). *La logique de la découverte scientifique*. Lausanne, Suisse : Payot.
- Riener, C. et Willingham, D. (2010). The myth of learning styles. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 42(5), 32–35. <https://doi.org/10.1080/00091383.2010.503139>
- Risen, J. et Gilovich, T. (2007). Informal logical fallacies. Dans R. J. Sternberg, H. L. Roediger III et D. F. Halpern (dir.), *Critical thinking in psychology* (p. 110–130). New York, NY : Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511804632.008>
- Rogowsky, B. A., Calhoun, B. M. et Tallal, P. (2015). Matching learning style to instructional method: Effects on comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 107(1), 64–78. <https://doi.org/10.1037/a0037478>
- Rogowsky, B. A., Calhoun, B. M. et Tallal, P. (2020). Providing instruction based on students' learning style preferences does not improve learning. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00164>
- Rohrer, D. et Pashler, H. (2012). Learning styles: Where's the evidence? *Medical Education*, 46(7), 634–635. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2012.04273.x>
- Rousseau, L., Gauthier, Y. et Caron, J. (2018). L'utilité des « styles d'apprentissage » VAK (auditif, visuel, kinesthésique) en éducation : entre l'hypothèse de recherche et le mythe scientifique. *Revue de psychoéducation*, 47(2), 409–448. <https://doi.org/10.7202/1054067ar>
- Ruhaak, A. E. et Cook, B. G. (2018). The prevalence of educational neuromyths among pre-service special education teachers. *Mind, Brain, and Education*, 12(3), 155–161. <https://doi.org/10.1111/mbe.12181>
- Schacter, D. L., Harbluk, J. L. et McLachlan, D. R. (1984). Retrieval without recollection: An experimental analysis of source amnesia. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23(5), 593–611. [https://doi.org/10.1016/s0022-5371\(84\)90373-6](https://doi.org/10.1016/s0022-5371(84)90373-6)
- Scott, C. (2010). The enduring appeal of 'learning styles'. *Australian Journal of Education*, 54(1), 5–17. <https://doi.org/10.1177/000494411005400102>
- Shams, L. et Seitz, A. R. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(11), 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.006>
- Sharp, J. G., Bowker, R. et Byrne, J. (2008). VAK or VAK-uous? Towards the trivialisation of learning and the death of scholarship. *Research Papers in Education*, 23(3), 293–314. <https://doi.org/10.1080/02671520701755416>
- Spaulding, L. S., Mostert, M. P. et Beam, A. P. (2010). Is Brain Gym® an effective educational intervention? *Exceptionality*, 18(1), 18–30. <https://doi.org/10.1080/09362830903462508>
- Sperry, R. (1982). Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres. *Science*, 217(4566), 1223–1226. <https://doi.org/10.1126/science.7112125>
- Stahl, S. A. (1999). Different strokes for different folks? A critique of learning styles. *American Educator*, 23(3), 27–31.

- Stephenson, J. (2009). Best practice? Advice provided to teachers about the use of Brain Gym® in Australian schools. *Australian Journal of Education*, 53(2), 109–124. <https://doi.org/10.1177/000494410905300202>
- Tardif, E. et Doudin, P.-A. (2010). Neurosciences, neuromythes et sciences de l'éducation. *Prismes : revue pédagogique HEP Vaud*, 12, 11–14. <http://hdl.handle.net/20.500.12162/1013>
- Tardif, E. et Doudin, P.-A. (2011). Neurosciences cognitives et éducation : le début d'une collaboration. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 12, 95–116.
- Tardif, E., Doudin, P.-A. et Meylan, N. (2015). Neuromyths among teachers and student teachers. *Mind, Brain, and Education*, 9(1), 50–59. <https://doi.org/10.1111/mbe.12070>
- Tversky, A. et Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive Psychology*, 5(2), 207–232. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90033-9)
- Visser, B. A., Ashton, M. C. et Vernon, P. A. (2006). Beyond g: Putting multiple intelligences theory to the test. *Intelligence*, 34(5), 487–502. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.02.004>
- Waterhouse, L. (2006). Multiple intelligences, the Mozart effect, and emotional intelligence: A critical review. *Educational Psychologist*, 41(4), 207–225. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4104\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4104_1)
- Willingham, D. T. (2004). Reframing the mind – Howard Gardner became a hero among educators simply by redefining talents as “intelligences”. *Education Next*, 4(3), 19–24.
- Willingham, D. T., Hughes, E. M. et Dobolyi, D. G. (2015). The scientific status of learning styles theories. *Teaching of Psychology*, 42(3), 266–271. <https://doi.org/10.1177/0098628315589505>
- Zhang, R., Jiang, Y., Dang, B. et Zhou, A. (2019). Neuromyths in Chinese classrooms: Evidence from headmasters in an underdeveloped region in China. *Frontiers in Education*, 4. <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00008>