UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

THÈSE PRÉSENTÉE À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR
ISABELLE DESHAIES

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 PRÉALABLES LIÉS À L'ARITHMÉTIQUE

FÉVRIER 2017

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

Cette thèse a été dirigée par :

Jean-Marie Miron, Ph.D., directeur de recherche	Université du Québec à Trois-Rivières
Steve Masson, Ph.D., codirecteur de recherche	Université du Québec à Montréal

Jury d'évaluation de la thèse :

Jean-Marie Miron, Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Steve Masson, Ph.D.	Université du Québec à Montréal
Carl Lacharité, Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Annie Presseau, Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Manon Boily, Ph.D.	Université du Québec à Montréal

Thèse soutenue le 24 novembre 2016

Ce document est rédigé sous la forme d'articles scientifiques, tels qu'il est stipulé dans les règlements des études de cycles supérieurs (138) de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Le (les) article(s) a (ont) été rédigé(s) selon les normes de publication de revues reconnues et approuvées par le Comité d'études de cycles supérieurs en psychologie. Le nom du directeur de recherche pourrait donc apparaitre comme coauteur de l'article soumis pour publication.

Sommaire

Une visée préventive des difficultés d'apprentissage au préscolaire en mathématique est fort documentée et bien présente dans le contexte scolaire actuel (García Coll et al., 2007; MEQ, 2003). Actuellement, la recherche se soucie de la prévention de cesdites difficultés. En ce sens, les travaux en didactiques des mathématiques combinées à ceux en neurosciences permettent d'envisager l'élaboration d'autres pistes de solutions pour aider ces élèves. À cet égard, la présente étude doctorale, présentée sous forme d'articles, propose de réfléchir sur les prérequis essentiels en mathématiques au préscolaire comme indicateur de réussite scolaire (article 1), puis sur les interventions pédagogiques visant à développer ces prérequis (article 2). Ces analyses permettent de fonder la création et l'expérimentation de deux interventions : la première ciblant le sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et la seconde ciblant le sens des nombres, le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition. La création et l'expérimentation de ces deux interventions permettent de répondre à nos deux objectifs de recherche : 1- mesurer l'impact d'une intervention mathématique (sans et avec inhibition) versus un enseignement régulier pour une clientèle préscolaire; et 2- comparer l'impact d'un enseignement par inhibition versus un enseignement sans inhibition. Les données ont été recueillies auprès de 126 élèves d'âge préscolaire issus de milieux socioéconomiques moyens. L'analyse des résultats révèle que les deux interventions ont un effet significatif sur le développement des préalables visés comparativement à un enseignement régulier. De plus, l'intervention avec inhibition

a permis de développer davantage le comptage et la conservation du nombre chez les élèves comparativement à un enseignement sans inhibition. L'introduction de cette thèse décrit la problématique générale de la recherche et le contexte théorique qui justifie la création et l'expérimentation d'une intervention destinée à l'enseignement des mathématiques au préscolaire. Le premier chapitre (article 1) est consacré à la recension des plus récentes recherches en lien avec les neurosciences et l'enseignement des mathématiques afin de déterminer quels sont les prérequis essentiels à cet apprentissage. Puis, le deuxième chapitre (article 2), fait état des programmes ou outils d'intervention disponibles en mathématiques qui traitent d'un ou l'autre des prérequis détaillés dans l'article un. Ce deuxième chapitre se conclut par la pertinence de créer et d'expérimenter une intervention travaillant cesdits prérequis. Dans le troisième chapitre (article 3) nous discutons des résultats de l'expérimentation de ces interventions. Enfin, une discussion générale est proposée, de même que des recommandations pour la pratique enseignante et pour la mise à jour du programme d'enseignement actuellement disponible.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des tableaux dans la thèse :

Liste des tableaux dans l'article 3 :

Liste des figures

Liste des figures dans la thèse :

Figure

Liste des figures dans l'article 1 :

Figure

Liste des figures dans l'article 3 :

Figure

Remerciements

C'est avec un grand engouement que j'ai entrepris ce projet doctoral et c'est avec enthousiasme, mais surtout avec le sentiment du devoir accompli, que je présente cette thèse.

Par la présente, je tiens avant tout à remercier mon directeur de thèse, Jean-Marie Miron, sans qui ce projet n'aurait été possible. Sa présence, son écoute, ses conseils, ses rétroactions m'ont permis d'avancer et de mener à terme cette recherche. Il a cru en mes idées et m'a permis de les faire vivre concrètement. Merci mille fois!

Merci à Steve Masson, mon codirecteur, pour ces conseils et son expertise qui ont fait en sorte de bien mener à terme ce projet. Sa rigueur et son professionnalisme ont permis un respect éthique de toutes les composantes de cette thèse. Merci mille fois!

Merci également aux classes qui ont bien voulu participer à mon projet de thèse. Sans votre engagement, celui-ci n'aurait pu avoir lieu. De plus, vos précieux conseils vont permettre un ajustement positif de l'intervention. Merci encore!

Merci à Colette Picard pour son expertise, ses commentaires constructifs et sa contribution à la rédaction de mon deuxième article. Tes conseils sont précieux! Merci encore!

En terminant, merci à ma famille. Tout au long de ce projet de recherche, rempli d'embuches, de moments de remise en question et de joie, vous avez toujours été là pour moi, pour m'épauler, me soutenir et surtout, me dire de persévérer. Vous avez cru en moi du début à la fin. Merci de m'accompagner dans tous mes projets. Cette thèse vous est dédiée.

If you can dream it

You can do it!

Walt Disney

Introduction

Apprendre, c'est construire et organiser ses connaissances par son action propre. Apprendre nécessite également de comprendre, de modifier ses représentations et de créer des liens pour retenir les nouvelles informations. Cette action n'est donc pas une chose simple en soi. Que ce soit dans différentes matières ou en mathématiques, cela nécessite plusieurs processus cognitifs qui balisent cet apprentissage. Comme le mentionne Chevallard (1989), l'enseignement général assurerait des « connaissances de base » sur lesquelles s'élèveraient ensuite les compétences professionnelles et sans lesquelles celles-ci ne pourraient guère se construire. En fait, l'école a comme mission de préparer les gens à une vie « réussie » et, à cette fin, les munir du bagage nécessaire pour comprendre le monde dans lequel ils évoluent afin de s'intégrer à la société et de participer, comme citoyens éclairés et autonomes, à son évolution. Les mathématiques contribuent à cette compréhension du monde, apportant une riche panoplie d'outils (organisation, rigueur, stratégies de résolution de problèmes, etc.) et de modèles pour le décrire, mettant les phénomènes en évidence, expliquant les situations et prévoyant leur évolution (Dionne, 2007). Elles permettent même d'expliquer et de justifier des solutions à des problèmes de la vie quotidienne. Elles permettent entre autres d'habiliter la personne à résoudre des problèmes de la vie courante, que ce soit en mathématiques ou dans tout autre domaine. Deblois (2006) soutient également, tant dans les tâches quotidiennes que dans les activités professionnelles, que les connaissances mathématiques sont constamment mobilisées;

pensons notamment aux différentes tâches quotidiennes nécessitant la résolution de problèmes.

Puisque les mathématiques semblent prendre une place importante au sein des différents apprentissages et au sein de notre société, il est intéressant de se questionner quant à la réussite scolaire des élèves dans cette discipline.

En ce sens, depuis 1980, les recherches démontrent que de 6 à 7 % des élèves d'âge scolaire éprouvent de grandes difficultés en mathématiques (Charron, Duquesne, Marchand, & Meljac, 2001; De Vriendt & Van Nieuwenhoven, 2010; Fuchs & Fuchs, 2005).

Certains se trouvent en difficulté d'apprentissage (un élève chez qui on constate un écart de performance entre celle attendue et celle produite selon son âge [Giroux, 2013]) ou en trouble d'apprentissage (un élève qui possède un trouble spécifique d'apprentissage du calcul non lié à des déficiences intellectuelles et qui provient d'un désordre cérébral [Fisher & Charron, 2009]). Plusieurs recherches indiquent également 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, & Bailey, 2012; Gersten, Jordan, & Flojo, 2005). Ce sont 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, & Butterworth, 2004), de même que dans les tâches qui requièrent la manipulation de quantité de nombres (Rousselle & Noel, 2007) et la subitisation[1] de petites quantités numériques (Koontz & Berch, 1996). De plus, ces difficultés sont parfois en lien avec le contrôle de la mémoire de travail (Andersson & Lyxell, 2007; Bull, Johnston, & Roy, 1999; Bull & Scerif, 2001; Inglis, Attridge, Batchelor, & Gilmore, 2011; McLean & Hitch, 1999; Swanson & Jerman, 2006) et de la mémoire visuospatiale (Kyttala, 2008; McLean & Hitch, 1999; Van der Sluis, Van der Leij, & De Jong, 2005). Ces recherches mènent au constat que les notions en jeu sont souvent celles qui sont enseignées dès les premières années de scolarisation des élèves; la recherche et les propositions de solution pour ces élèves demeurent essentielles. De plus, un questionnement en lien avec un dépistage précoce de ces élèves afin de leur fournir les outils nécessaires pour une réussite ultérieure est à penser.

En fait, les études montrent non seulement que les premiers apprentissages en mathématiques jouent un rôle important dans le fait d'éprouver ou non des difficultés dans cette discipline, mais aussi que les habiletés précoces en mathématiques sont un important prédicteur de la réussite scolaire (Clark, Pritchard, & Woodward, 2010; García Coll et al., 2007; Rourke & Conway, 1997). Selon le Ministère de l'Éducation du Québec (MEQ, 2003) :

> La prévention revêt une grande importance dans un contexte de réussite éducative. Bien qu'elle doive se faire de façon particulièrement intensive à

[1] La perception intuitive, rapide et innée des petites quantités (un à quatre), sans avoir recours aux stratégies de comptage.

> l'éducation préscolaire et au premier cycle du primaire, une place de choix doit lui être consacrée tout au long du parcours scolaire de l'élève. (p. 9)

En ce sens, la recherche de García Coll et al. (2007) montre, par exemple, que la réussite en mathématiques au préscolaire prédit les résultats dans cette discipline tout au long de la scolarité. D'autres études indiquent également que les enfants qui commencent la première année avec une faible connaissance du système de numération sont à risque accru d'une faible réussite en numératie fonctionnelle (connaissances et compétences requises pour gérer efficacement les exigences relatives aux notions de calcul dans diverses situations), et ce, même rendus en première année de l'école secondaire (Geary, Hoard, Nugent, Bailey, & Krueger, 2013). De plus, la recherche de Ginsburg, Lin, Ness, et Seo (2003) a démontré que les mathématiques aux cycles préscolaire et primaire jouent un rôle significatif quant à l'éducation future de l'élève. En s'appuyant sur une analyse de six études longitudinales, Duncan et al. (2007) ont découvert que les habiletés mathématiques acquises au préscolaire et au primaire étaient des indicateurs plus puissants d'une réussite scolaire ultérieure en mathématiques et en lecture que les habiletés socioémotionnelles, d'attention ou de lecture.

En somme, en connaissant l'importance des mathématiques au préscolaire, un examen de l'éventuelle contribution des neurosciences pourraient apporter des pistes de solutions novatrices à cette problématique.

L'apport des neurosciences pour l'enseignement des mathématiques au préscolaire

Les 20 dernières années de recherche, grâce à l'imagerie cérébrale, ont apporté une grande quantité de données sur la façon dont les compétences issues d'objets culturels (par exemple, la lecture ou le calcul) sont représentées dans le cerveau de l'enfant et de l'adulte (Dehaene & Cohen, 2007). Selon Dehaene et Cohen (2007), ces recherches permettent de voir les relations entre les représentations culturelles et corticales. Ces relations viennent établir un lien entre le développement du cerveau et l'apprentissage. Grâce à sa plasticité cérébrale, le cerveau humain, plus que celui de toute autre espèce animale, serait capable d'absorber des informations issues de la culture (Dehaene & Cohen, 2007). Ce phénomène se nomme la neuroplasticité et se définit comme la capacité du cerveau à modifier sa structure (ses connexions neuronales plus précisément) grâce à l'apprentissage (Masson & Brault Foisy, 2014). La neuroplasticité est la condition sine qua non pour lier l'éducation et le cerveau (Brault Foisy, Myre-Bisaillon, Riopel, & Masson, 2015). Non seulement celle-ci est une condition nécessaire pour lier l'éducation et le cerveau, mais d'après Geake et Cooper (2003), elle apporte également des implications intéressantes pour l'éducation. Il est essentiel de préciser que ces conclusions prennent racine en grande partie dans le travail de Hebb (1949), qui fut l'un des premiers chercheurs à proposer que les modifications sous-jacentes des connexions neuronales du cerveau soient la cause des changements de comportement. Les recherches de Hebb et Geake et Cooper (2003), entre autres, mettent en perspective certains principes scolaires qui seront développés dans une section ultérieure. En plus des constats issus de ces recherches, comme le précisent Masson et Brault Foisy (2014), l'apprentissage scolaire est influencé par la structure initiale du cerveau des élèves. Non seulement la structure initiale du cerveau influence l'apprentissage scolaire, mais deux mécanismes d'apprentissage influencent l'apprentissage : le recyclage neuronal et l'inhibition.

Le recyclage neuronal

Les progrès récents en neurosciences fournissent des preuves de plus en plus claires que le cerveau n'est pas complètement plastique (Houdé, 2014) et que certaines zones cérébrales semblent davantage prédisposées que d'autres à l'acquisition de nouvelles capacités (Dehaene, 2005; Dehaene & Cohen, 2007; Masson & Brault Foisy, 2014). Selon la théorie du recyclage neuronal formulée par Dehaene (2005), l'organisation préalable du cerveau aurait un impact sur la façon dont l'apprentissage se réalise sur le plan cérébral. En fait, le recyclage neuronal est une reconversion des circuits neuronaux qui étaient autrefois associés à une fonction nécessaire dans le passé, à une nouvelle fonction qui présente une plus grande utilité dans le contexte culturel présent (Dehaene & Cohen, 2007). L'influence de l'architecture cérébrale, en particulier la structure et l'organisation initiales du cerveau, avant l'apprentissage d'un nouvel objet culturel, auraient donc un impact sur la façon dont certains apprentissages pourraient se réaliser au plan cérébral (Brault Foisy et al., 2015; Dehaene & Cohen, 2007; Houdé, 2014). Soulignons que selon Goswami (2008), en raison de leur localisation dans le cerveau, de leurs connexions déjà établies avec d'autres régions cérébrales ou encore parce qu'elles accomplissent déjà une fonction similaire, des régions précises du cerveau seraient possiblement mieux disposées que d'autres à accomplir certaines fonctions cognitives, c'est-à-dire à accueillir certains apprentissages comme ceux liés à la lecture et au calcul par exemple. En somme, la connaissance du mécanisme de recyclage neuronal pourrait permettre une meilleure application des connaissances en mathématiques dans un contexte scolaire.

L'inhibition

Comme vu précédemment, la structure initiale du cerveau aide à l'apprentissage. Par contre, à certains moments, elle s'avère être un obstacle à celui-ci, car elle conduit à des réponses incorrectes qui peuvent être difficiles à modifier (Masson & Brault Foisy, 2014). Dans un tel cas, l'apprentissage exige l'inhibition de l'activation spontanée de certains réseaux non appropriés pour la tâche. Par exemple, la recherche de Houdé et al. (2011), sur la tâche de conservation du nombre de Piaget, a démontré que les jeunes enfants (5 à 6 ans) ont du mal à comprendre que les deux lignes qui contiennent le même nombre de jetons, mais qui ont des longueurs différentes en raison de l'espacement différent entre les deux (par exemple, oooooo et o o o o o o), contiennent en effet le même nombre d'objets. À l'âge de 9 à 10 ans, cette mauvaise réponse spontanée est généralement surmontée : les enfants répondent que les deux lignes contiennent le même nombre d'objets. Parmi les zones du cerveau qui sont activées chez les élèves qui ont réussi la tâche (9 à 10 ans) par rapport à ceux qui ne l'ont pas réussi (5 à 6 ans), il y a activation des zones cérébrales liées à la perception des nombres (par exemple, sillon intrapariétal), mais aussi à l'inhibition, probablement parce que le cerveau doit inhiber la tendance à considérer que plus la longueur de la ligne de jetons est longue, plus il y a de jetons. Ainsi, comme mentionné précédemment, il s'avère parfois essentiel d'inhiber des stratégies inappropriées pour réussir de nouveaux apprentissages.

En résumé, une meilleure connaissance de l'architecture cérébrale des élèves et de l'impact de différents types d'enseignement sur le cerveau peuvent nous apporter des indices pour mieux enseigner et favoriser une réelle construction des savoirs. Le fait de comprendre le mécanisme de recyclage neuronal peut aider les enseignants à bien planifier l'enseignement de certaines notions, pour s'assurer que celles-ci prennent appui sur de bonnes connaissances antérieures. Puis, comprendre le rôle de l'inhibition dans certains apprentissages peut aider les enseignants à identifier les différents pièges dans lesquels les élèves tombent la plupart du temps et les aider, par un enseignement explicite, a non seulement les identifier, mais à les contrer. En ce sens, l'apport des recherches en neurosciences pourrait venir bonifier l'enseignement actuel. Bien que les mécanismes cérébraux ont été identifiés, existe-t-il des prérequis essentiels pour l'enseignement des mathématiques au préscolaire en se basant sur les recherches en neurosciences et en didactique des mathématiques?

Les mathématiques et les neurosciences

Les recherches récentes en neurosciences suggèrent l'existence de processus numériques fondamentaux sur lesquels s'appuient les compétences numériques de l'arithmétique; par exemple, il a été suggéré que la capacité de traiter et de comparer des grandeurs numériques (non symboliques et symboliques) est un précurseur clé du développement mathématique (De Smedt, Verschaffel, & Ghesquiere, 2009; Nieder & Dehaene, 2009). De même, il s'avère y avoir des similitudes dans la façon précoce d'effectuer les associations entre les grandeurs des nombres sous leur forme non symbolique et symbolique (nombre arabe) (Diester, Nieder, & Dehaene, 2007). Les conclusions de ces recherches démontrent la pertinence de développer plus d'interventions spécialisées pour les élèves d'âge préscolaire; autant pour ceux du régulier que pour ceux ayant des difficultés d'apprentissage, afin de soutenir leurs apprentissages mathématiques. En ce sens, afin de rendre ces interventions les plus efficaces possible, elles doivent cibler les prérequis essentiels liés à l'apprentissage des mathématiques au préscolaire.

À propos de ces prérequis, plusieurs auteurs issus des neurosciences ont fait ressortir l'importance du sens des nombres ainsi que du lien qui existe entre le nombre sous sa forme non symbolique et sous sa forme symbolique (Dehaene, 2011; Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003; Deshaies, Miron, & Masson, 2015; De Smedt, Noël, Gilmore, & Ansari, 2013; Nosworthy, Bugden, Archibald, Evans, & Ansari, 2013; Piazza, Pica, Izard, Spelke, & Dehaene, 2014; Vogel, Goffin, & Ansari, 2015). Toutefois, apprendre à l'école nécessite parfois d'apprendre à bloquer des stratégies utilisées spontanément, mais qui peuvent s'avérer inappropriées dans certains contextes. Ainsi, en plus du sens des nombres et du lien qui existe entre le nombre sous sa forme non symbolique et sa forme symbolique, il s'avère essentiel d'enseigner des stratégies d'inhibition aux élèves, et ce, dès le préscolaire (Deshaies et al., 2015; Houdé et al., 2011; Lubin, Lanoë, Pineau, & Rossi, 2012). L'inhibition se définit comme étant une forme de contrôle neurocognitif et comportemental permettant aux enfants de résister aux habitudes, aux tentations, aux distractions, et de s'adapter aux situations complexes (Houdé et al., 2011). Ce contrôle permet notamment aux élèves d'âge préscolaire de ne pas se laisser berner par la stratégie visuospatiale telle que la longueur de la distribution d'un ensemble influence le nombre. Comme vu précédemment, il semble donc essentiel de fournir une intervention en mathématiques au préscolaire axée sur l'apprentissage du sens du nombre, sur le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition.

Ces trois prérequis sont traités et explicités dans le premier article. Lors de la lecture de celui-ci, vous pourrez mieux saisir la définition de chacun d'eux et en comprendre la portée au niveau des apprentissages préscolaires et scolaires mathématiques. Bien que la pertinence des trois prérequis issus des recherches en neurosciences soit démontrée, existe-t-il un programme ou une intervention destinés à des élèves du préscolaire 5 ans permettant de les travailler?

Recension des programmes ou interventions en mathématiques au préscolaire

Afin de répondre à cette question, une recherche bibliographique fut effectuée. Celle-ci visait à répertorier les programmes d'intervention répondant aux trois critères suivants : (a) « le programme s'appuie-t-il sur les recherches en neurosciences? » (b) « est-ce que ce programme vise les trois prérequis essentiels? » et (c) « le programme est-il destiné à une clientèle du préscolaire? ».

Afin de répondre à ces trois critères, une recherche effectuée au moyen des bases de données PsyINFO, ERIC et Pubmeb, en utilisant notamment les mots clés suivants (et leur équivalant anglais) : préscolaire, intervention mathématique, sens des nombres, nombre non symbolique et symbolique et inhibition ou contrôle cognitif, a été effectuée et n'a pas permis d'identifier d'article qui répondait de façon affirmative aux trois critères. Nous avons donc été contraints de modifier ces critères.

Ainsi, la recherche bibliographique a été modifiée afin d'exclure les termes contrôle cognitif et inhibition. Les mots clés sont devenus les suivants (et leur équivalant anglais) : intervention mathématique, arithmétique, préscolaire, sens des nombres, nombre non symbolique et symbolique.

Cette recherche a permis de recenser 22 programmes ou outils d'intervention destinés à une clientèle préscolaire. De ceux-ci, seulement cinq respectaient un ou plusieurs critères de la présente recherche. Une brève présentation de ceux-ci est présentée dans le Tableau 1.

Tableau 1

Programmes ou outils d'intervention en mathématiques destinés à une clientèle préscolaire

Programmes ou outils d'interventions 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	Références
Academy of Math Autoskill		X	X	http://eps.schoolspecialty.com/products/online-programs/academy-of-math/about
AMP Math System		X	X	http://www.pearsonschool.com/index.cfm?locator=PSZ16d&PMDbProgramId=55845
Anywhere Learning System		X	X	http://www.wba.aplusanywhere.com/riverviewsd/
Accelerated Math		X	X	http://www.renaissance.com/products/accelerated-math
Breakaway Math Intervention package		X	X	http://www.triumphlearning.com/what-we-offer/mathematics/breakaway-math-15-student-intervention-kit.html
Corrective Mathematics		X	X	http://www.nifdi.org/programs/mathematics/corrective-math
Destination Math		X	X	http://destination.limestone.on.ca/lms?service=page/PrintActivities

Tableau 1

Programmes ou outils d'intervention en mathématiques destinés à une clientèle préscolaire (suite)

Programmes ou outils d'interventions 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	Références
FASST Math	X	X	X	http://www.scholastic.com/fastt-math/
Fostering at-risk preschoolers number sense	X	X	X	http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10409280802206619?journalCode=heed20#.VX3dsthRH4g
Get Ahead Math		X	X	http://getaheadmath.com/
Graphogame Math	X	X	X	http://www.lukimat.fi/etusivu
I Can Learn			X	http://www.icanlearn.com/
iSucceed Math		X	X	http://highered.mheducation.com/sites/0070973385/student_view0/succeed_in_math.html
Math Intervention Curriculum		X	X	http://www.camelotlearning.com/math-curriculum

Tableau 1

Programmes ou outils d'intervention en mathématiques destinés à une clientèle préscolaire (suite)

Programmes ou outils d'interventions 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	Références
Math Navigator		X	X	http://www.pearsonschool.com/index.cfm?locator=PS1mNe
Math Steps		X	X	http://eduplace.com/math/mathsteps/7/
Math Triumphs		X	X	http://www.mhschool.com/math/mathtriumphs/index.html
Number Power		X	X	https://www.collaborativeclassroom.org/number-power
Number Worlds	X	X	X	http://www.sranumberworlds.com/
Side Streets Math		X	X	http://www.prnewswire.com/news-releases/the-princeton-review-launches-sidestreets-a-reading-and-math-curriculum-for-students-with-academic-difficulties-67310587.html
The Number Race	X	X	X	http://thenumberrace.com/nr/home.php
V math		X	X	http://www.voyagersopris.com/curriculum/subject/math/vmath-third-edition

À la suite de cette première analyse, cinq programmes d'intervention/outils s'adressant à des élèves du préscolaire et se basant sur les recherches en neuroscience ont été sélectionnés. Ceux-ci ont été retenus puisqu'ils portaient sur des interventions applicables au préscolaire qui se basaient sur les neurosciences en visant le développement du sens des nombres et/ou l'établissement de liens entre ce sens des nombres et les nombres symboliques.

Chaque programme d'intervention/outils a été analysé en fonction de son apport concernant les trois prérequis essentiels au préscolaire mentionnés précédemment. Une analyse des données obtenues allant au-delà des trois prérequis sera également exposée (entres autres celles en lien avec la didactique des mathématiques).

Ainsi, *Number Race*, *Graphogame Maths*, *Number Worlds*, *Fostering at-risk preschoolers number sense* et *FASST Math* ont été analysés. L'analyse détaillée de ces différents programmes est présentée dans l'article deux. Lors de la lecture de ce deuxième article, vous pourrez comprendre les composantes de chacun des cinq programmes d'intervention/outils.

En somme, les résultats de cette analyse détaillée des divers programmes/outils d'intervention disponibles en mathématiques se basant sur les recherches en neurosciences montrent qu'aucun ne traite des trois prérequis essentiels en mathématiques. Bien que plusieurs programmes d'intervention en mathématiques au préscolaire touchent le sens des nombres (Clements, Sarama, & DiBiase, 2004; Griffin, 2004; Piazza, Izard, Pinel, Le Bihan, & Dehaene, 2004; Wilson, Revkin, Cohen, Cohen, & Dehaene, 2006) ou le lien entre le sens initial des nombres et la représentation symbolique des nombres (Baroody, Eiland, Purpura, & Reid, 2012; Baroody, Eiland, & Thompson, 2009; Clements & Sarama, 2008; Clements, Sarama, Wolfe, & Splitler, 2013; Griffin, 2004), très peu ciblent le développement des prérequis mathématiques par un enseignement par inhibition et aucun ces trois prérequis à la fois.

Considérant qu'aucun programme/outil examiné ne travaille les trois prérequis essentiels, que l'éducation préscolaire doit fournir une base solide pour les futurs apprentissages des élèves (Jordan, Kaplan, Locuniak, & Ramineni, 2007) et que le niveau de compétences en mathématiques lors de l'entrée à l'école primaire prédit l'éventuelle réussite scolaire des élèves (García Coll et al., 2007), la création d'une intervention au préscolaire visant le sens des nombres, le lien entre le nombre non symbolique et symbolique, et un apprentissage par inhibition s'avèrent de première nécessité. Cette préoccupation est d'autant plus importante qu'en examinant les difficultés en mathématiques, nous constatons qu'elles proviennent habituellement des difficultés liées au développement précoce des processus numériques de base liés au sens des nombres (grandeur des nombres) (Cantlon, Brannon, Carter, & Pelphrey, 2006; Starr, Libertus, & Brannon, 2013). De plus, comme mentionnés précédemment, ajoutés aux connaissances mathématiques présentes dans le Programme de formation de l'école québécoise (PFÉQ), le sens des nombres et l'inhibition s'intégreraient bien dans les activités se vivant actuellement en classe. L'ajout de ces deux prérequis pourrait amener les élèves à consolider leur sens premier de l'approximation des nombres (sens des nombres) et les outiller afin de ne pas tomber dans des pièges mathématiques (inhibition). Une intervention permettant cet ajout pourrait être un avantage considérable pour l'enseignement des mathématiques au préscolaire. Cela viendrait mettre l'emphase sur des notions qui ne sont pas clairement explicitées dans le PFÉQ (voir Figure 1).

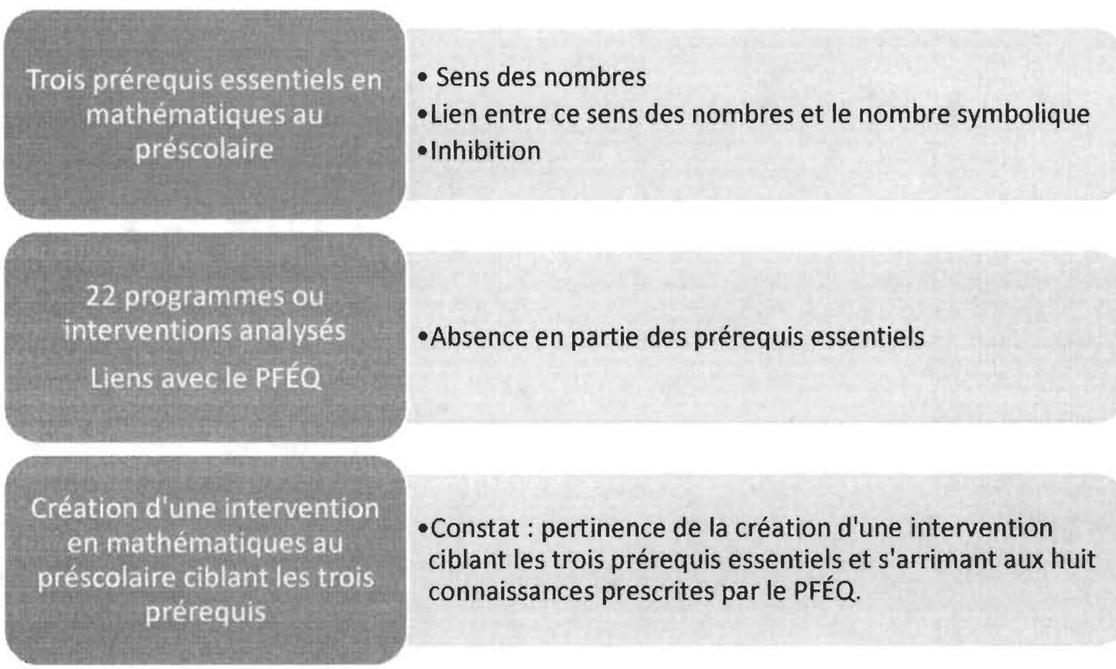


Figure 1. Résumé des écrits actuels concernant l'acquisition des prérequis en mathématiques au préscolaire.

En résumé, puisque les récentes recherches suggèrent l'importance de travailler les trois prérequis essentiels en mathématiques et que ceux-ci ne sont que partiellement présents dans le PFÉQ et dans les différents programmes ou outils d'intervention répertoriés et analysés, la création et la mise en place d'une intervention répondant à ce besoin s'avèrent essentielles.

Présentation de l'intervention

Comme mentionné dans la discussion du deuxième article présent dans cette thèse, 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 aussi le développement de l'inhibition pourrait s'avérer fort pertinente. Comme mentionné dans cet article, ajoutés aux connaissances mathématiques présentes dans le PFÉQ, ces trois prérequis semblent pouvoir s'intégrer facilement dans les activités se vivant actuellement en classe. L'ajout de ceux-ci pourrait notamment amener les élèves à consolider leur sens premier de l'approximation des nombres (sens des nombres) et les outiller afin de ne pas tomber dans des pièges mathématiques (inhibition).

Ainsi, à la suite de ce constat, deux interventions ont été créées. Celles-ci ont été créées afin de voir non seulement les effets liés aux deux prérequis (sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique) sur les apprentissages des élèves, mais également dans le but d'examiner le bénéfice potentiel de la composante inhibition (puisqu'elle est absente des programmes recensés).

L'ensemble de l'intervention est construit autour du thème des détectives. Les élèves doivent aider Mathéo, un détective pas très habile avec les mathématiques, à résoudre 20 missions et cinq ateliers. L'intervention se déroule sur une période de cinq semaines, à raison de quatre activités, ainsi qu'un atelier obligatoire par semaine. Chaque mission a une durée d'environ 15 minutes. L'ensemble des activités proposées se vit sous forme de jeux afin de respecter la philosophie du programme d'éducation préscolaire. Chaque mission et atelier vise un des prérequis essentiels explicités précédemment. Le calendrier détaillé de l'intervention est disponible à l'Appendice A.

Le calendrier global de l'intervention demeure le même pour l'intervention sans et avec inhibition. Ce qui diffère, c'est le type d'enseignement pour contrer les pièges mathématiques; comme nous le verrons plus loin. De plus, puisque nous voulions que l'intervention s'insère bien dans l'enseignement actuel en classe, nous avons privilégié la pédagogie du jeu qui est préconisée dans le Programme d'éducation préscolaire (MELS, 2003). Le jeu faisant partie intégrante de l'univers de l'enfant, celui-ci sert de point de départ pour l'exploration mathématique (Sarama & Clements, 2009). La mathématique au préscolaire se veut une activité d'apprentissage ludique, se vivant à partir de contextes variés issus de la vie quotidienne. L'importance de cet aspect de l'apprentissage des élèves d'âge préscolaire est respectée dans l'intervention proposée.

Les interventions créées et destinées à une clientèle préscolaire sont donc conçues à partir des recherches en neurosciences, en didactique des mathématiques et en pédagogie. Une description détaillée et documentée des principes pédagogiques ainsi que des notions mathématiques est présentée dans la section qui suit.

Principes pédagogiques fondant l'intervention

Afin de permettre cette construction de sens chez les élèves, l'intervention est basée sur des principes fondés sur des données probantes. Ces principes servent non seulement à optimiser l'apprentissage des élèves en regard des trois préalables, mais ils sont aussi utilisés pour s'assurer que les principes d'élaboration des deux interventions (avec et sans inhibition) sont similaires. Ainsi, la planification de l'intervention est basée sur les principes suivants :

a) les notions mathématiques sont présentées du simple au complexe;

b) la planification inclut des rappels sur les connaissances antérieures;

c) l'importance de la rétroaction;

d) la planification inclut des activités qui sont espacées dans le temps.

Puisque ceux-ci font partie de la planification de l'intervention, voici une brève définition de chacun d'eux.

Les notions mathématiques sont présentées du simple au complexe. Tout contenu d'enseignement doit être organisé et aménagé dans un temps ou une séquence didactique plus ou moins longue. Comme le mentionnent Chiss et Boyzon-Fradet (1997), il semble que l'enseignement du simple au complexe puisse favoriser une progression de l'apprentissage. En ce sens, ce principe a été utilisé dans l'intervention comme un moyen pour permettre aux élèves cette progression des apprentissages.

La planification inclut des rappels des connaissances antérieures. Également, comme le démontre le modèle de Hebb (1949), la répétition est nécessaire pour un enseignement efficace. Les recherches de Bliss et Lømo (1973) et de Hebb permettent de comprendre que les neurones qui s'activent ensemble de façon répétée augmentent la force de leurs connexions, ce qui permet de consolider les apprentissages. L'acte d'apprendre devient donc optimal, notamment, lorsque l'enfant alterne apprentissage et test répété de ses connaissances. En ce sens, plusieurs études cognitivistes démontrent les effets bénéfiques de la récupération en mémoire répétée sur la consolidation des apprentissages (« testing effect » ou « practice retrieval »). La recherche de McDaniel et Masson (1985) a démontré que la récupération immédiate des notions apprises, une fois étudiées, augmente la performance lors des tests ultérieurs. Ainsi, le fait de questionner immédiatement l'élève sur ce qu'il a appris l'aide dans la mémorisation de cette notion. Cette stratégie pédagogique fut utilisée dans les écoles primaires et cela a produit un grand effet positif chez ces élèves (Metcalfe, Kornell, & Son, 2007). Notons que cette stratégie pédagogique ne nécessite aucun changement dans le programme ou le style d'enseignement et qu'elle sert à promouvoir l'apprentissage et la rétention chez l'élève (McDaniel, Anderson, Derbish, & Morrissette, 2007). La pratique a pour effet de diminuer l'activité dans des régions cérébrales liées au contrôle cognitif et à la mémoire de travail, signe que la pratique répétée provoque une diminution de l'état de surcharge cognitive (Chein & Schneider, 2005).

L'importance de la rétroaction. De plus, selon David (2015), le retour d'informations est synonyme de signaux d'erreurs et de valorisation individuelle. L'élève, lors de son apprentissage, doit pouvoir bénéficier de rétroactions. Selon Dehaene (2012), le cortex est une sorte de machine à générer des prédictions et à intégrer les erreurs de prédictions : il lance une prédiction, reçois en retour des informations sensorielles, et une comparaison se fait entre les deux. La différence crée un signal d'erreur qui va se propager dans le cerveau et qui va permettre de corriger et d'améliorer la prédiction suivante. Le retour d'information est donc essentiel. Ainsi, lors de l'apprentissage, l'élève fera des prédictions, il bénéficiera d'une rétroaction de la part de l'enseignant, il pourra corriger ses prédictions et il en fera des nouvelles. Ainsi, par cette rétroaction de la part de l'enseignant, l'élève peut se corriger en cours de processus d'apprentissage. Dans ce processus de rétroaction, l'enseignant se doit de prendre en compte la progression de chacun des élèves dans un processus de valorisation et d'encouragement. Ce retour d'information est au cœur de notre intervention; pour qu'il y ait apprentissage, l'élève doit bénéficier d'une rétroaction de la part de l'enseignant, afin de corriger en cours d'apprentissage ses prédictions.

La planification inclut des activités qui sont espacées dans le temps. Le sommeil et les temps de repos s'avèrent très bénéfiques pour l'apprentissage. Ces périodes, liées à l'effet d'espacement, permettent de réactiver les connexions neuronales et de consolider ainsi les apprentissages.

Lorsqu'apprises, les notions sont fragiles et peuvent gagner en stabilité par la consolidation; le sommeil contribue à ce processus (McGaugh, 2000; Rudoy, Voss, Westerberg, & Paller, 2009). De plus, le sommeil entre les périodes d'encodage et de récupération, relativement à l'état de veille, favorise la mise en mémoire par rapport à la réactivation de la mémoire générée lors de l'apprentissage (Born, Rasch, & Gais, 2006). En outre, le rétablissement d'un contexte d'apprentissage (par exemple, une odeur) pendant le sommeil lent améliore la récupération de l'information spatiale apprise dans ce contexte (Rasch, Büchel, Gais, & Born, 2007). De plus, les résultats de la recherche de Rudoy et al. (2009) montrent que les informations présentées pendant le sommeil peuvent influer la suite de la récupération de celles-ci pendant l'éveil. Ainsi, il s'avère pertinent d'espacer les périodes d'apprentissage plutôt que de les regrouper afin de permettre cette réactivation en mémoire des informations.

En somme, chaque notion sera présentée du simple au complexe et sera présentée plusieurs fois (deux, cinq et dix jours suivant l'enseignement de la notion), afin d'amener un retour sur les connaissances antérieures. De plus, lors de l'enseignement, l'enseignant donnera une rétroaction immédiate aux élèves, afin que ces derniers puissent enregistrer rapidement la bonne information.

La didactique des mathématiques au préscolaire

Le sens des nombres, vu sous l'angle des neurosciences, permet de faire la distinction entre deux quantités non symboliques et de déterminer laquelle est supérieure ou inférieure à l'autre sans avoir recours aux stratégies de dénombrement (Dehaene, 2011). D'un point de vue didactique des mathématiques, le sens des nombres est lié à la cardinalité du nombre, à son aspect quantitatif et non seulement approximatif (Meljac, Fischer, & Bideaud, 1991). La contribution de la didactique des mathématiques sera présentée dans la prochaine section de cette thèse, soit celle abordant des notions mathématiques traitées dans l'intervention.

Les notions mathématiques traitées

Comme mentionné précédemment, il sera à présent question des différentes notions mathématiques incluses dans l'intervention ainsi que d'une justification en lien avec les deux premiers prérequis (sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique). Il sera également question de la nécessité d'un enseignement par inhibition (troisième prérequis), au besoin, pour certaines notions.

Activités travaillant le sens des nombres. Comme vu précédemment, le sens des nombres est un prérequis essentiel à travailler dès le préscolaire, et ce prérequis a des répercussions sur l'apprentissage du développement numérique (Dehaene, 2011; Deshaies et al., 2015). Le sens des nombres est en fait la capacité à distinguer, parmi deux ensembles de points ou d'objets, lequel est supérieur ou inférieur à l'autre sans avoir à dénombrer le nombre de points/objets de chacun des ensembles. Le sens des nombres est travaillé à partir de trois activités portant sur celui-ci ainsi que deux en lien avec la subitisation perceptuelle et conceptuelle.

Une activité permet aux élèves de discriminer la grandeur numérique de deux ensembles de points de même grosseur (De Smedt et al., 2013; Nosworthy et al., 2013). Elle invite les participants à choisir lequel des deux ensembles non symboliques est supérieur à l'autre. L'inhibition n'est pas nécessaire dans ce type de tâche.

Deux activités permettent aux élèves de discriminer la grandeur numérique de deux ensembles de points, mais cette fois-ci, en ajoutant l'effet de la distance numérique (EDN) et l'effet du rapport numérique (ERN). L'effet de la distance numérique (EDN) est la facilité à juger plus rapidement deux nombres lorsque ceux-ci sont numériquement éloignés (par exemple : un et neuf) versus ceux qui sont numériquement plus rapprochés (par exemple : six et sept). L'effet du rapport numérique (ERN) est la facilité des participants de comparer plus rapidement et avec plus de précision deux nombres de moindres ampleurs par rapport à deux nombres d'une grande ampleur, et ce, même lorsque la distance entre les nombres demeure constante (par exemple : la comparaison de trois et quatre est plus facile que la comparaison de huit et neuf). De plus, il est plus facile de comparer deux ensembles qui, numériquement, sont placés de la plus petite valeur à la plus grande valeur que l'inverse (par exemple : comparer un ensemble de cinq points à un ensemble de huit points est plus facile que de comparer un ensemble de huit points à un ensemble de cinq points) (Ansari, 2008; Kolkman, Kroesbergen, & Leseman, 2013; Soltész & Szűcs, 2014). Ces deux activités nécessitent l'inhibition pour contrer les pièges liés à la grosseur des points ou à la distance entre les points.

Une activité permet aux élèves de travailler le processus de subitisation perceptuelle, c'est-à-dire la perception intuitive, rapide et innée des petites quantités (un à quatre), sans avoir à recourir aux stratégies de comptage (Butterworth, 2005; Butterworth, & Dehaene, 1999; Piazza, Mechelli, Butterwoth, & Price, 2002). La capacité d'inhibition n'est pas nécessaire dans ce type d'activité.

Une activité permet aux élèves de travailler une deuxième forme de subitisation, cette fois liée à la capacité de comptage, soit la subitisation conceptuelle (Clements, 1999). La subitisation conceptuelle concerne la façon dont un individu identifie « une quantité entière comme le résultat de la reconnaissance de plus petites quantités, qui constituent le même ensemble » (Conderman, Jung, & Hartman, 2014). Plus simplement, il peut être résumé comme la gestion systématique des numérosités perceptives (subitisation perceptuelle) pour faciliter la gestion des numérosités plus grandes (Obersteiner, Reiss, & Ufer, 2013). Une illustration de cela est lorsqu'on présente deux dés à l'élève et qu'il doit déterminer le nombre de points sur ces deux dés, par exemple, un dé de trois et un dé de quatre. Chacun de ces dés étant perceptuel, la somme de ceux-ci amène l'émergence du sept (subitisation conceptuelle). La capacité d'inhibition n'est pas nécessaire dans ce type d'activité.

Activités travaillant le sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique. 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.

Dénombrement. L'acte de dénombrer nécessite à l'élève d'effectuer différents liens avec ses apprentissages. Il prend conscience du langage des nombres qui va l'introduire dans des conduites spécifiques de comptage verbal des nombres ainsi que de la conceptualisation progressive du nombre (Bideaud, Lehalle, & Vilette, 2004). Vers l'âge de 5 ans, l'enfant perçoit les relations entre les mots nombres, ce qui lui permet de dire quel nombre vient avant ou après tel autre nombre. Finalement, le sens numérique des mots nombres est acquis, ainsi que leurs relations avec les opérations arithmétiques simples, vers 6 ans. C'est cette relation qui va lui permettre de comprendre les représentations symboliques des nombres (Noël, 2005).

Selon les recherches de Gelman (1972) et Gelman et Meck (1983), cinq principes préexistants du comptage permettent et favorisent l'apprentissage du nombre :

- le principe de la correspondance terme à terme : à chaque objet compté correspond à une et une seule marque représentative;
- le principe de suite stable : les marques représentatives doivent être engendrées dans le même ordre au cours du comptage;
- le principe de cardinal : la marque représentative qui désigne le dernier élément compté représente le nombre total d'éléments;
- le principe d'abstraction : le comptage s'applique à tout objet ou entité, quelle que soit sa nature ou sa fonction, si bien qu'on peut compter un ensemble d'objets hétérogènes;

- le principe de non-pertinence de l'ordre : l'ordre dans lequel les éléments d'une collection sont énumérés n'affecte pas le comptage à condition que la correspondance terme à terme soit respectée.

Ces principes sont repris dans les différentes activités.

Deux activités permettent aux élèves de travailler les trois premiers principes du comptage par l'entremise d'un jeu de mémoire. Les élèves doivent trouver les deux cartes représentant le même nombre. Une carte est présentée sous la forme symbolique (par exemple : le chiffre quatre) et une autre sous la forme non symbolique (par exemple : un ensemble de quatre chapeaux). L'inhibition n'est pas requise dans ce type d'activité.

Une activité permet aux élèves d'associer deux représentations différentes du nombre (nombre symbolique et non symbolique). L'inhibition n'est pas requise pour ce type d'activité.

Deux activités portent sur le dénombrement de différents ensembles comportant des éléments variant en forme, en grosseur et en couleur. L'inhibition est nécessaire pour permettre aux élèves de faire fi de l'apparence des éléments à dénombrer.

Une activité porte sur l'abstraction lors du dénombrement. Elle s'inspire de la tâche de Shipley et Shepperson (1990). L'enseignant présente des cartes sur lesquelles il y a des images d'objets familiers. Certaines cartes comportent des objets entiers, d'autres des objets brisés. Dans un premier temps, l'enseignant demande aux élèves de compter le nombre d'objets et dans un second temps, de compter le nombre d'objets de « x » (par exemple, le nombre de bâtons de hockey). Ensuite, les élèves doivent associer leur réponse au nombre symbolique. L'inhibition est nécessaire pour permettre aux élèves d'inhiber le nombre de pièces versus le nombre d'illustrations d'objets présents.

Une activité porte sur la non-pertinence de l'ordre lors du dénombrement. Selon ce principe, l'ordre dans lequel les éléments d'une collection sont énumérés n'affecte pas le résultat du comptage. Pour ce faire, les élèves devront placer tous les dominos correspondants aux nombres sur la bande numérique. Ainsi, les élèves doivent dénombrer le nombre de points sur chaque domino, du côté de leur choix. L'inhibition n'est pas requise dans ce type d'activité.

Conservation du nombre. La conservation du nombre fait référence à la conservation de l'équivalence (se réfère à la relation d'équivalence entre deux ensembles qui n'est pas modifiée par transformation) et non de la conservation de l'identité (se réfère à la connaissance du nombre d'objets dans un ensemble unique) (Van Nieuwenhoven, 1999). Selon Piaget (1952), être conservant c'est admettre que le nombre d'objets présents dans une collection ne peut être modifié que par l'addition ou le retrait d'un ou plusieurs éléments : tous les autres changements, par exemple une réorganisation des éléments, n'ont aucun impact sur la cardinalité de la collection.

L'activité présentée aux élèves s'inspire fortement de la tâche de conservation du nombre élaborée par Piaget (1952). Dans le cas de ce type de tâche, les élèves doivent inhiber la fausse stratégie que la longueur de la disposition des objets est égale avec la cardinalité du nombre.

Comparaison du nombre. Afin de comparer deux collections, les élèves ont besoin d'utiliser leurs stratégies de comptage, mais également d'être capable de générer les mots nombres dans une séquence conventionnelle correcte, d'assurer une correspondance terme à terme correct entre la séquence verbale et les objets, d'appliquer la règle du dernier mot nombre suite au comptage des objets de la collection et déterminer soit l'équivalence de deux collections, soit préciser la relation qui lie ces deux collections (plus petite, plus grande) en fonction de la position du mot nombre dans la séquence verbale (Baroody, 1987; Van Nieuwenhoven, 1999).

Une activité permet de travailler la comparaison des nombres non symboliques. Lors de celle-ci, les élèves doivent comparer des collections contenant des objets de différentes grosseurs. Ainsi, ils doivent faire preuve d'abstraction lors de leur comparaison. L'inhibition est nécessaire pour permettre aux élèves d'inhiber la grosseur des objets et de se concentrer sur la cardinalité de l'ensemble.

Une activité permet de travailler la comparaison de nombres arabes. Lors de celle-ci, les élèves doivent comparer des cartes de nombres, sous la forme du jeu de bataille. Les nombres présents sur les cartes sont de trois grosseurs différentes, soit petits, moyens et grands. L'inhibition est nécessaire pour permettre aux les élèves d'inhiber la grosseur des nombres présentés sur les cartes et se concentrer sur la cardinalité du nombre.

L'acquisition du système arabe. En plus de travailler l'acquisition du système arabe par les différentes activités précédentes (comptage, dénombrement, comparaison des nombres), nous avons inséré l'inclusion numérique dans nos activités. L'inclusion numérique permet de voir si l'enfant est capable de réaliser des classifications hiérarchiques, c'est-à-dire qu'il comprend que les classes peuvent s'emboiter les unes dans les autres. Il apprend alors à raisonner sur les relations entre les parties et le tout; deux classes peuvent être incluses l'une dans l'autre. La notion d'inclusion permet de comprendre les relations entre les parties et le tout.

L'activité travaillant l'inclusion numérique permet aux élèves de résoudre de petits problèmes où l'inclusion est présente. Par exemple : *sur un carton, il y a le dessin de dix marguerites et de deux roses. En montrant l'ensemble de fleurs, l'enseignant devra questionner ses élèves* : *y a-t-il plus de marguerites ou plus de fleurs*?

L'enfant jusqu'à 6-7 ans répond plus de marguerites. Il s'agit d'un défaut d'inclusion de la sous-classe des marguerites dans la classe des fleurs. Pour construire le nombre, l'enfant doit retenir des classes leur structure d'inclusion : un est inclus dans deux, deux est inclus dans trois, etc. Les activités présentées aux élèves s'inspirent fortement des tâches élaborées par Piaget (1952). Lors de cette activité, les élèves doivent inhiber la sous-classe de la classe globale (par exemple : les marguerites font partie de la classe des fleurs, donc, il y a plus de fleurs que de marguerites.)

Résolution de problèmes (changement/combinaison/comparaison). Les recherches conduites par Bilsky et Judd (1986) sur la résolution de problèmes additifs font clairement ressortir que les opérations requises, soit l'addition ou la soustraction, ne suffisent pas à déterminer la difficulté relative d'un problème. Ainsi, les caractéristiques sémantiques ou conceptuelles des problèmes joueraient un rôle essentiel dans le niveau de difficulté. Selon Carpenter et Moser (1984), Carpenter, Hiebert et Moser (1981) et Riley, Greeno et Heller (1983), il y aurait trois grandes catégories de problèmes :

- Changement (réunion ou séparation) impliquant la survenue d'au moins une transformation « temporelle » appliquée à un état initial et aboutissant à un état final (par exemple : Mandoline a quatre billes. Xavier lui donne cinq billes. Combien de billes Mandoline a-t-elle maintenant?);
- Combinaison mettant en jeu des situations statiques (par exemple : Mandoline a quatre billes dans sa main gauche et cinq billes dans sa main droite. Combien de billes Mandoline a-t-elle en tout?);
- Comparaison faisant intervenir des quantités statiques, mais avec mise en relation par le biais d'expressions du type « plus que », « moins que » (par exemple : Mandoline a trois billes de plus que Xavier qui en a cinq. Combien de billes Mandoline a-t-elle?).

Selon Fayol (1991), les problèmes de type « changement » sont plus faciles que les autres, en dépit du fait que la transformation demandée soit positive (accroissement) ou négative (diminution); les problèmes de type « comparaison » se révèlent de loin les plus difficiles et l'un des facteurs de difficulté parmi les plus importants est la nature de l'inconnue (plus facile de trouver l'état final, ensuite l'état de transformation et le plus difficile, l'état initial).

Afin de travailler la résolution de problèmes, quatre activités sont présentées aux élèves. Lors de ces résolutions de problèmes, les élèves disposent de tout le matériel de manipulation nécessaire afin que ceux-ci puissent exercer leurs processus personnels. Lors de ces activités, les élèves doivent surtout inhiber leurs stratégies inappropriées concernant les problèmes de comparaison. En fait, ils doivent inhiber que le terme « de plus » signifie parfois un retrait et non un ajout.

En somme, l'ensemble des activités présentes dans l'intervention travaille le sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique. De plus, certaines requièrent un enseignement explicite pour favoriser l'inhibition afin de contrer certains pièges chez les élèves.

Justification de l'équivalence des deux interventions proposées

Comme mentionné précédemment, les deux interventions travaillent les mêmes notions mathématiques et les mêmes principes pédagogiques. Ce qui diffère, c'est l'enseignement avec ou sans inhibition. Une présentation de la séquence d'enseignement de ces deux interventions est présentée au Tableau 2.

Tableau 2

Résumé des deux interventions

Intervention ciblant les deux premiers prérequis (sens des nombres et lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique)	Intervention ciblant les deux premiers prérequis et l'inhibition
Consignes de la tâche	Consignes de la tâche + alerte émotive
Exemples de la tâche	Exemples de la tâche
Attrape-réponse	Attrape-piège
Activités	Activités

Ainsi, la séquence des deux interventions est équivalente en tout point; à part l'ajout d'une alerte émotive et le dispositif didactique expérimental (attrape-piège versus attrape-réponse) dans le cas de l'intervention ciblant les deux premiers prérequis et l'inhibition. D'ailleurs, l'ajout de l'alerte émotive (attention, il y a un piège!) est spécifique à une intervention ciblant l'inhibition; ce qui fait que ce n'est pas un ajout d'intervention en soi, mais plutôt une variante. De plus, il y a une distinction entre le type de dispositif didactique utilisé. L'attrape-piège dans l'intervention avec inhibition permet à l'élève de détecter et d'identifier les pièges, tandis que l'attrape-réponse présente dans l'intervention sans inhibition permet à l'élève d'identifier les bonnes et les mauvaises réponses.

Pour bien saisir les nuances d'un enseignement par inhibition, vous pouvez consulter l'Appendice B.

Un enseignement par inhibition

Puisqu'une intervention ciblant un enseignement par inhibition a été créée et mise en place dans des classes préscolaires, la compréhension de la spécificité de ce type d'enseignement est requise. Selon Kroesbergen, Van Luit, Van Lieshout, Van Loosbroek, et Van de Rijt (2009), les fonctions exécutives sont de bons prédicteurs pour le développement des mathématiques à un âge plus avancé et devraient donc être liées à la numératie précoce. Dans son sens générique, les fonctions exécutives désignent différentes fonctions d'ordre supérieur, telles que la planification, l'organisation et l'inhibition. Celles-ci sont nécessaires pour la bonne exécution des activités dirigées vers un but complexe, tel que des tâches mathématiques (Welsh, 2002). Les fonctions exécutives sont particulièrement importantes lors de nouvelles situations dans lesquelles on ne peut pas compter sur la routine. Miyake et al. (2000) ont proposé, sur la base d'une analyse factorielle, que trois fonctions exécutives se distinguent chez les adultes. Le « shifting » concerne la capacité de basculer entre les différentes tâches et des stratégies différentes, le « updating » concerne la surveillance et le codage de l'information pertinente à la tâche et le remplacement d'informations non pertinentes avec la nouvelle entrée, et « l'inhibition » est liée au contrôle des réponses naturelles inutiles, automatiques, et des préoccupations, en remplacement de ceux-ci par des réponses appropriées. Dans un contexte d'enseignement, ces fonctions exécutives deviennent essentielles afin de contrer les pièges courants liés à l'apprentissage.

Dans un apprentissage dit traditionnel, l'enseignant focalise l'attention de l'élève sur « ce qu'il faut faire », sur la stratégie adéquate pour réussir le problème. Ce type d'enseignement se nomme enseignement par algorithme, c'est-à-dire un enseignement visant l'acquisition d'une stratégie cognitivement peu couteuse qui fonctionne très bien, très souvent, mais pas toujours (Lubin et al., 2012). Dans les situations d'apprentissage où l'inhibition est présente, l'enseignant indique clairement la stratégie correcte à utiliser, alerte également l'élève, explicitement, sur « ce qu'il ne faut pas faire », soit le piège à éviter. Ce type d'enseignement se nomme enseignement par heuristique, c'est-à-dire un enseignement visant l'apprentissage d'une stratégie qui mène toujours à la bonne réponse, mais qui est souvent cognitivement beaucoup plus couteuse de mettre en œuvre (Lubin et al., 2012). Pour ce faire, comme mentionné précédemment, l'enseignant utilise des alertes émotives et un matériel didactique expérimental à manipuler (Lubin et al., 2012). En fait, au préscolaire, les élèves auraient besoin d'améliorer la fonction exécutive d'inhiber leurs réponses perceptuelles intuitives erronées pour acquérir, par exemple, le principe de conservation du nombre. L'acquisition de la conservation du nombre aide les élèves à faire le lien entre le nombre symbolique et non symbolique, ce qui s'avère être un prérequis essentiel. Les résultats actuels corroborent cette hypothèse en suggérant que l'acquisition de la conservation du nombre repose sur le développement neurocognitif d'un réseau pariétofrontal (Graesser et al., 2013; Houdé et al., 2011). En fait, dans ce cas-ci, l'inhibition aide les élèves à contrer leur fausse stratégie visuospatiale voulant que par exemple, la longueur de la distribution des jetons soit égale à la grandeur du nombre.

Au moment de la mise en place d'un enseignement par inhibition lors de l'intervention, nous nous sommes appuyés sur la méthodologie expérimentale reposant sur la détection d'un conflit entre une bonne et une mauvaise réponse (entre une heuristique et un algorithme) et l'apprentissage du contrôle inhibiteur élaboré par Houdé et al. (2000). L'objectif de cet enseignement est d'amener l'élève à apprendre à corriger ses erreurs à l'aide d'alertes exécutives verbales (par exemple : « Attention, dans ce type de tâche, il y a un piège. Il faut faire très attention! ») et d'un dispositif didactique expérimental (par exemple, un « attrape-piège »). Puisque chez le jeune enfant, entre autres celui du préscolaire, l'action et la manipulation sont importantes dans les processus pédagogiques (l'élève apprend aussi en manipulant) un dispositif didactique manipulable s'avère nécessaire (Goldin-Meadow & Wagner, 2005; Leroux et al., 2009; Lubin et al., 2012). Afin d'apprendre au sujet à inhiber l'heuristique pour activer l'algorithme, il doit manipuler un dispositif didactique (alertes exécutives visuospatiales constituées d'un attrape-piège, de cartes réponses colorées et de cartes de pratique). Un extrait du guide pédagogique de ce type d'enseignement est présent à l'Appendice B. L'extrait présenté est celui de la mission huit, traitant de la conservation du nombre.

En somme, nous avons non seulement utilisé les alertes émotives ainsi qu'une adaptation de l'attrape-piège et les cartes réponses élaborées par l'équipe d'Houdé et al. (2000), mais nous avons également demandé à l'élève, suite à l'enseignement, de nommer si oui ou non il peut y avoir un piège dans cette carte, de l'identifier à l'aide d'une gommette et de placer la carte au bon endroit dans l'attrape-piège. De plus, puisque l'intervention repose sur certains principes pédagogiques, dont l'activité neuronale répétée, l'importance de la rétroaction et le « spacing effect », ceci a permis aux élèves de revoir ces cartes et d'identifier de nouveau les pièges tout au long de l'intervention.

Objectifs de recherche

La création des deux interventions; la première portant sur les deux premiers prérequis en mathématiques au préscolaire : (1) sens des nombres (2) le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique et la deuxième portant sur l'acquisition des trois prérequis mathématiques au préscolaire : (1) sens des nombres (2) le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique et (3) le développement de l'inhibition, a permis de formuler deux objectifs de recherche précis qui ont guidé notre étude :

1. mesurer l'impact d'une intervention mathématique (sans et avec inhibition) pour une clientèle préscolaire qui vise l'acquisition de ces prérequis comparativement à un enseignement régulier;
2. comparer l'impact d'un enseignement avec inhibition versus un enseignement sans inhibition.

À la suite de la création de l'intervention et afin de répondre à ces objectifs de recherche, nous avons dû mettre au point les outils nécessaires pour en mesurer l'impact.

Selon la littérature consultée, aucun test ou outil de validation actuellement présent permet de mesurer l'apport de l'inhibition dans l'enseignement; nous avons donc dû créer ces tests afin de répondre à nos objectifs de recherche. Dans la prochaine section, il sera question du choix des participants, du protocole de recherche utilisé, ainsi que des instruments de mesure utilisés pour l'analyse des résultats.

Méthodologie de la recherche

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 milieu socioéconomiquement moyen, soit coté entre 5 et 8 selon l'indice de défavorisation du MELS[1], d'une même région dans un rayon de 50 km. 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 biaiser les résultats de notre recherche. Les classes ne respectant pas un ou l'autre des critères de sélection n'ont pu participer au projet de recherche.

De plus, pour avoir une puissance statistique de 0,95, nous avons procédé à une analyse G Power[2] afin de connaitre le nombre de participants nécessaire; le résultat de

---

[1] www.mels.gouv.qc.ca/.../stat_**Indices**_defavorisation_2013_**2014**.pdf
[2] http://www.gpower.hhu.de/

cette analyse indique 96 participants. La présente étude a recruté 126 participants, ce qui est au-delà du nombre requis pour l'analyse.

Protocole de recherche utilisée

Afin de mener à terme cette recherche et de s'assurer de l'efficacité de l'intervention, le protocole des quatre groupes expérimentaux de Solomon était tout désigné. La conception des quatre groupes Solomon est l'un des trois modèles primaires recommandés pour une utilisation avec une véritable recherche expérimentale, mais peut également être utilisée dans les études quasi expérimentales, comme dans le cas de cette recherche. Ce design est une combinaison de la conception d'une intervention incluant un prétest et un posttest avec un groupe contrôle, mais également, une intervention incluant uniquement un posttest et un groupe contrôle (McLaughlin & Marascuilo, 1990; Spector, 1981). Le design des quatre groupes de Solomon a les avantages de ces deux modèles, avec l'avantage supplémentaire d'être une mesure permettant de tester et de contrôler la réactivité des participants au prétest (Tingen, 2009). L'utilisation du protocole des quatre groupes de Solomon 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. En utilisant ce protocole de recherche, il est également possible d'examiner l'effet combiné de la maturation de l'élève et de l'enseignement reçu en comparant le posttest de ce groupe au posttest du groupe contrôle ayant fait le prétest (par exemple, le groupe 1 versus le groupe 3, voir la Figure 2 (p. 54) afin d'avoir un aperçu des différentes analyses). Par conséquent, la généralisation des résultats permet d'être étudiée de façon explicite dans ce protocole (Bégin & Ladouceur, 1980). Ce qui n'est pas le cas dans un protocole prétest, intervention et posttest.

L'analyse de l'effet d'une intervention comprenant les deux premiers prérequis au préscolaire (intervention un) et une autre comprenant les trois prérequis au préscolaire (intervention deux), nécessite huit groupes classes. Les Tableaux 3 et 4 présentent les différents groupes selon le protocole choisi.

Tableau 3

Schéma de la conception des quatre groupes de Solomon pour l'intervention sans inhibition

Intervention comprenant deux prérequis : sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique			
	Prétest	Intervention	Posttest
Groupe 1	X		X
Groupe 2	X	X	X
Groupe 3			X
Groupe 4		X	X

Tableau 4

Schéma de la conception des quatre groupes de Solomon pour l'intervention avec inhibition

Intervention comprenant trois prérequis : sens des nombres, le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et un enseignement avec inhibition			
	Pré test	Intervention	Post test
Groupe 5	X		X
Groupe 6	X	X	X
Groupe 7			X
Groupe 8		X	X

Deux des groupes vivent l'intervention et deux ne la vivent pas, et ce, pour chacune des interventions (intervention un et deux). Seul l'un des groupes effectuant l'intervention (un ou deux) et un des groupes contrôles (de l'intervention un ou deux) se voit administrer le prétest. Par contre, tous les groupes (intervention et contrôle des interventions un et deux) répondent au posttest. Ce protocole est le seul qui permet d'évaluer la présence de sensibilisation (Fain, 2013; Spector, 1981). En d'autres termes, la mesure posttest peut être affectée non seulement par l'intervention, mais pourrait aussi être faussée par l'exposition au prétest. Le protocole des quatre groupes de Solomon permet de séparer les effets du prétest par rapport à l'intervention (Tingen, 2009). L'utilisation de ce protocole permet d'établir des relations causales, car le modèle expérimental a un haut degré de validité interne par rapport aux autres méthodes (Brink & Wood, 1989). De plus, il y a également une réduction de la variation entre les sujets, ce qui augmente la puissance de l'étude afin d'en déterminer les véritables effets (Tingen, 2009).

Bien que certains groupes ne fassent pas l'objet d'une intervention, il est important de spécifier que ceux-ci ont suivi le programme prescrit par le Ministère de l'Éducation du Québec et ont bénéficié d'un enseignement régulier des mathématiques.

La discipline des mathématiques est présente tout au long du cursus scolaire de l'enfant, et ce, dès le préscolaire. Bien qu'enseigner de façon plutôt organisée lors du parcours primaire, les mathématiques doivent être vues sous une forme plutôt ludique lors du préscolaire.

Le programme actuellement en vigueur offre des orientations générales pour mettre en œuvre différentes activités en lien avec les nombres, sans toutefois préciser quels sont explicitement les apprentissages visés, laissant ainsi une grande marge de manœuvre aux enseignantes et enseignants. Le Programme de formation de l'école québécoise (PFÉQ) (MELS, 2003) au préscolaire amène les élèves 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.

Ainsi, par des activités ludiques et quotidiennes, l'élève développe sa compétence mathématique tant dans les situations ordinaires que dans celles qui présentent des problèmes devant être résolus tout en travaillant les huit connaissances prescrites par le PFÉQ. De plus, le matériel utilisé en classe est varié et utilisé différemment selon les classes. En somme, les mathématiques abordées dans l'enseignement régulier ne sont pas présentées de façon structurée et systématique.

Répartition des groupes faisant partie de la recherche

Puisqu'il s'agit d'une recherche quasi expérimentale, il est impossible de répartir de façon aléatoire les élèves dans les groupes expérimentaux. Ainsi, les groupes expérimentaux et les groupes contrôles ne peuvent être vraiment équivalents, puisque l'appartenance à un ou l'autre groupe n'est pas le fruit du hasard dû à l'organisation scolaire actuelle (Savoie-Zajc & Karsenti, 2000). Cependant, un tirage au sort a été effectué pour déterminer les groupes inclus dans l'intervention un, l'intervention deux et ceux qui continuent leur enseignement régulier. Puisque nous utilisons le protocole des quatre groupes de Solomon (celui-ci a été explicité précédemment), nous avons procédé à un second tirage au sort pour déterminer quels groupes sont assignés à la passation des prétests et des posttests et quels groupes sont assignés à la passation des posttests seulement. Bien que le protocole utilisé nécessite une assignation aléatoire aux différents groupes, comme dans le cas de cette recherche, il est impossible d'attribuer au hasard des sujets individuels à des groupes, mais il peut être possible d'assigner au hasard des groupes de sujets à l'intervention (Tingen, 2009). McGahee et Tingen (2000) ont procédé de cette façon pour obtenir un échantillon de commodité des écoles, puis procédé par la suite à l'assignation aléatoire des écoles à chacun des quatre groupes. Nous avons procédé de la même façon pour assigner aléatoirement les groupes classes aux différents groupes du protocole d'intervention.

Instruments de mesure utilisés

Puisque l'intervention vise un apprentissage des deux ou trois prérequis essentiels en mathématiques (sens des nombres, lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et symbolique et l'inhibition), l'ensemble des tests utilisés doit permettre de mesurer ces apprentissages. En ce sens, plusieurs tests ont été utilisés. D'abord, la section préscolaire du test *Tedi-Math* (Van Nieuwenhoven, Grégoire, & Noël, 2005) puis les deux tests du *Numeracy Screener* (Nosworthy et al., 2013) ont été utilisés. Cependant, la mesure de l'effet de l'inhibition n'était pas présente et du lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique était peu présent à l'intérieur de ces tests. Ainsi, nous avons créé des tâches d'évaluation mesurant de façon explicite ces deux prérequis.

Dans cette partie, une description détaillée de chacun des tests ainsi que des prérequis ciblés est présentée.

Tedi-Math. Le *Tedi-Math* (Van Nieuwenhoven et al., 2005) permet de mesurer les compétences de base en mathématique. Il est un outil diagnostique des troubles d'apprentissage en mathématiques qui permet, selon les auteurs, de détecter les difficultés qui surviennent au cours des premiers apprentissages du nombre et du calcul chez les enfants de 5 à 8 ans. Bien que ciblant une clientèle en trouble d'apprentissage, le *Tedi-Math* vise une clientèle préscolaire et l'ensemble des questions permet de mesurer les acquis de la théorie piagétienne du nombre et les connaissances les plus récentes de neuropsychologie et de la psychologie cognitive. Les épreuves ont été conçues pour permettre une évaluation aisée et précise des divers troubles qui peuvent apparaitre au cours des premiers apprentissages de la notion de nombre et du calcul :

- Six domaines de compétences numériques sont examinés;
- Les épreuves de comptage évaluent le degré de maitrise de la séquence verbale numérique;
- Les épreuves de dénombrement évaluent les cinq principes décrits par Gelman et Gallistel (1986);

- La compréhension du système numérique est évaluée par quatre groupes d'épreuves qui étudient le système numérique arabe, le système numérique oral, le système en base dix et le transcodage;
- Les opérations logiques piagétiennes (sériation, classification, conservation, inclusion et décomposition additive) sont évaluées dans des situations spécifiquement numériques;
- Les opérations d'addition, de soustraction et de multiplication sont évaluées avec des items imagés, verbaux et arithmétiques. La taille des nombres et l'ordre des opérations varient systématiquement. Par ailleurs, une épreuve évalue la compréhension des propriétés des opérations arithmétiques;
- L'estimation de la grandeur est évaluée par une épreuve de comparaison de modèles de points et une épreuve d'appréciation de l'écart relatif de deux nombres par rapport à une cible.

Afin de vérifier le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, les épreuves de comptage, de dénombrement, de système numérique, d'opérations logiques et d'estimation furent utilisées. Seules les tâches en lien avec les opérations ne furent pas utilisées, puisque celles-ci visent l'acquisition des faits numériques, ce qui ne fait pas partie de nos objectifs de recherche.

Numeracy Screener. Une multitude de preuves montre que la capacité des enfants à comprendre la grandeur numérique (quantité) est une composante essentielle des premières compétences en mathématiques (De Smedt et al., 2013). De nombreuses études ont démontré que les enfants qui sont plus rapides et plus précis à comparer lequel des deux nombres est le plus grand, sont aussi ceux qui ont un rendement mathématique supérieur, surtout lors de tests de rendement en arithmétique (De Smedt et al., 2013). De plus, la recension des écrits effectuée lors de la recherche de De Smedt et al. (2013) démontre que la capacité des élèves à comparer des nombres sous la forme non symbolique (par exemple, des nuages de points) et symbolique (des nombres arabes) est liée aux compétences mathématiques dans le présent, mais également lors des futurs apprentissages. Le test du *Numeracy Screener* permet de mesurer ces acquis.

Le test du *Numeracy Screener* non symbolique mesure le sens des nombres. Le test du *Numeracy Screener* symbolique mesure l'habileté des élèves à comparer des nombres symboliques qui fait partie d'un aspect entre le sens des nombres et le nombre symbolique.

Test mesurant le lien entre le nombre symbolique et non symbolique. Puisque nous voulions mesurer spécifiquement le lien entre le nombre symbolique et non symbolique et qu'aucun test ne le permettait, nous en avons créé un. Celui-ci est construit à partir du canevas du test *Numeracy Screener* (pour exemple, voir article 3).

Test mesurant la capacité d'inhiber dans un contexte numérique. Puisque l'un des objectifs de cette recherche est de mesurer l'impact d'un enseignement par inhibition versus un enseignement sans inhibition, et qu'aucun test actuellement disponible ne cible cet objectif de recherche, il y avait nécessité de créer ce test.

Trois tâches mesurant la capacité d'inhiber dans un contexte numérique ont été créées. La première tâche est une comparaison de points de différentes grosseurs, la deuxième est une comparaison de chiffres de différentes grosseurs et la troisième s'inspire fortement de la tâche de conservation du nombre de Piaget (pour exemple, voir article 3).

Toutes ces tâches sont construites à partir du canevas du test *Numeracy Screener*. Ainsi, il y a 14 items par page et 56 items en tout. Le temps de passation demeure le même que pour le test *Numeracy Screener*, soit une minute par question pour réaliser le plus grand nombre d'items possibles. De plus, nous avons créé autant d'items de type intuitif (sans inhibition; par exemple : l'ensemble des gros points a plus de points que celui des petits points) que d'items contre-intuitifs (avec inhibition; par exemple : l'ensemble des petits points a plus de points que celui des gros points) lors de ces tâches. Ces tests permettent de mesurer la capacité d'inhibition dans un contexte numérique.

En résumé, bien que le nombre de tests utilisés soit élevé, il permet de mesurer l'acquisition des trois prérequis; soit le sens des nombres, le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition (autant en contexte numérique que non).

Analyse des résultats

Une fois les tests administrés aux élèves, nous avons procédé à l'analyse des résultats. Les analyses statistiques du design des quatre groupes de Solomon ont été utilisées afin de valider le rendement des élèves lors de chacune des interventions. La Figure 2 présente l'ensemble des analyses comme présentées dans la recherche de McGahee et Tingen (2000) et est suivie d'une brève explication de celles-ci.

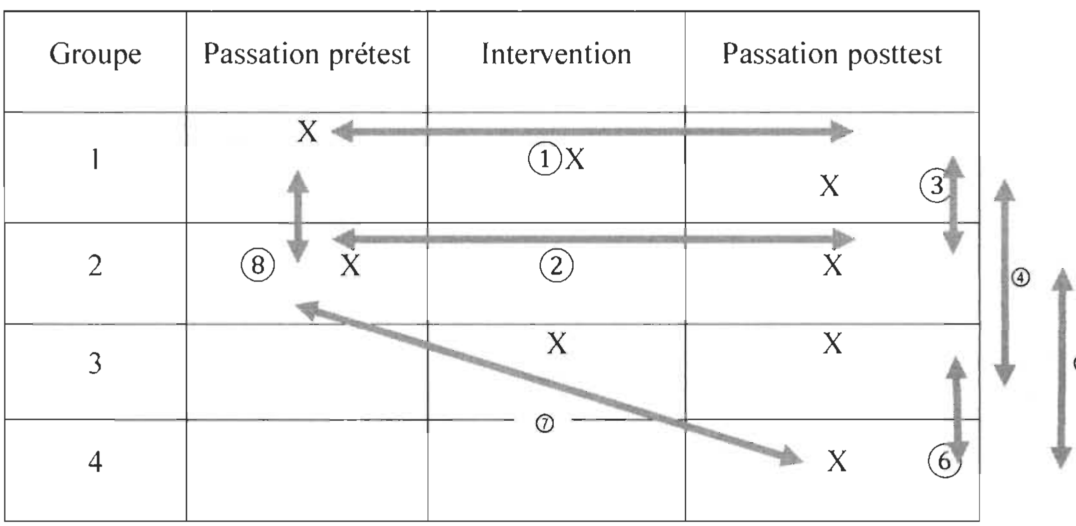


Figure 2. Les analyses statistiques du design de Solomon.

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 la différence entre les résultats posttests des groupes 3 et 4, marqués par la ligne « 6 », est différente de la différence des groupes 1 et 2, marqués par la ligne « 3 », le chercheur 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 au chercheur d'établir si des facteurs externes ont provoqué une distorsion temporelle. Par exemple, il indique si rien d'autre ne pourrait avoir causé les résultats présentés et est un frein à la causalité.

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 est viciée.

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 l'acte de prétester a influencé les résultats globaux.

Ainsi, ces analyses sont effectuées 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 l'inhibition. En terminant, il y a eu comparaison des deux interventions mentionnées précédemment.

Afin d'analyser les données recueillies, nous avons utilisé le logiciel SPSS (version 20). Une présentation détaillée des différents résultats est disponible dans l'article trois de cette thèse.

Présentation des articles

Dans le présent document, chacun des trois articles respecte les critères de rédaction de la revue où il a été soumis (voir Appendice C). Comme il est mentionné précédemment, le premier chapitre de cette thèse présente l'analyse des recherches en lien avec les prérequis essentiels en mathématiques au préscolaire. Celui-ci permet de comprendre l'importance des neurosciences pour l'enseignement des mathématiques au préscolaire. Le deuxième chapitre fait état d'une recension des programmes ou outils d'intervention en mathématiques pour les élèves du préscolaire, en lien avec les trois prérequis essentiels. Celui-ci mène au constat de la nécessité de créer une intervention visant ces prérequis. Le troisième chapitre se veut une analyse des résultats à la suite de la mise en place de deux interventions en mathématiques chez les élèves du préscolaire. Les résultats de l'analyse des données répondent aux deux objectifs de cette recherche, soit de mesurer l'impact d'une intervention visant l'acquisition des prérequis en ayant recours à un enseignement avec inhibition ou sans comparativement à un enseignement régulier et de comparer l'impact d'un enseignement avec inhibition versus sans inhibition. Finalement, une discussion présente les résultats du premier objectif de cette recherche et propose de réfléchir à l'ensemble de la thèse. Celle-ci formule également des recommandations à l'égard de la pratique enseignante ainsi que des précisions au niveau du programme de formation.

En terminant, il est à noter que la présente étude n'a pas nécessité de certificat d'éthique, bien que la demande fut effectuée (voir Appendice D). Par contre, une rigueur scientifique et éthique fut présente tout au long du projet.

Chapitre 1

Comprendre le cerveau des élèves pour mieux les préparer aux apprentissages en arithmétique dès le préscolaire

Comprendre le cerveau des élèves pour mieux les préparer aux apprentissages en arithmétique dès le préscolaire

Noms des auteurs et affiliations :

Isabelle Deshaies*
Doctorante, Université du Québec à Trois-Rivières, Département des sciences de l'éducation, 3351, boul. des Forges, C.P. 500, Trois-Rivières (Québec), Canada, G9A 5H7
Isabelle.deshaies2@uqtr.ca

Jean-Marie Miron
Professeur, Université du Québec à Trois-Rivières, Département des sciences de l'éducation, 3351, boul. des Forges, C.P. 500, Trois-Rivières (Québec), Canada, G9A 5H7
jean-marie.miron@uqtr.ca

Steve Masson
Professeur, Laboratoire de recherche en neuroéducation, Département de didactique, Université du Québec à Montréal, Case postale 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8
masson.steve@uqam.ca

*Auteure pour la correspondance :

Isabelle Deshaies
Université du Québec à Trois-Rivières
Département des sciences de l'éducation,
3351, boul. des Forges, C.P. 500,
Trois-Rivières (Québec), Canada
G9A 5H7
Téléphone : 819 376-5011
Fax : 819 376-5127
Adresse courriel : isabelle.deshaies2@uqtr.ca

Article publié : Deshaies, I., Miron, J.-M. & 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).

RÉSUMÉ :

Certains prérequis s'avèrent essentiels à la réussite des élèves en mathématiques. En s'appuyant sur des études neuroscientifiques et cognitivistes portant sur les nombres et le calcul, cet article propose trois prérequis susceptibles de préparer le cerveau de l'élève du préscolaire à l'arithmétique : le développement du sens des nombres, l'établissement du lien entre le sens des nombres et le système numérique symbolique, et le développement de l'inhibition.

Mots-clés : apprentissage de l'arithmétique, sens du nombre, nombre non symbolique et symbolique, recyclage neuronal, inhibition

ABSTRACT:

Some prerequisites are essential to succeed in mathematics. Based on neuroscience and cognitive studies about numbers and arithmetic, this paper proposes three prerequisites that may prepare the brain of the preschool student to learn arithmetic: the development of number sense, establishing a link between number sense and symbolic number system, and the development of inhibition.

Keywords: learning arithmetic, number sense, non-symbolic and symbolic number, neuronal recycling, inhibition

INTRODUCTION

L'école a pour mission de munir les enfants du bagage nécessaire pour comprendre le monde, s'intégrer à la société et participer à son évolution. Les mathématiques constituent une part essentielle à cette préparation : ils apportent une riche panoplie d'outils (organisation, rigueur, stratégies de résolution de problème, etc.) et de modèles pour décrire, mettre en évidence des phénomènes, expliquer des situations et prévoir leur évolution (Dionne, 2007). Elles permettent aussi d'expliquer et de justifier des solutions à des problèmes de la vie quotidienne. De plus, les mathématiques sont présentes tout au long du cursus scolaire de l'enfant, et ce, dès le préscolaire. Selon Chevallard (1989), l'enseignement général assurerait les « connaissances de base » en mathématiques, sur lesquelles s'élèveraient ensuite les compétences professionnelles. Deblois (2006) soutient également que, tant dans les tâches quotidiennes que dans les activités professionnelles, les connaissances mathématiques sont constamment mobilisées.

Malgré l'importance de cette discipline, tant pour l'individu que pour la société, plusieurs élèves éprouvent des difficultés à s'approprier et à utiliser les concepts mathématiques. Plus précisément, depuis 1980, les recherches montrent que de 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). Des études indiquent également 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). Ce sont 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 (Rousselle et Noel, 2007) et la subitisation de petites quantités numériques (Koontz et Berch, 1996). De plus, ces difficultés sont parfois en lien avec le contrôle de la mémoire de travail (Andersson et Lyxell, 2007; Bull, Johnston et Roy, 1999; Bull et Scerif, 2001; Inglis, Attridge, Batchelor et Gilmore, 2011; McLean et Hitch, 1999; Swanson et Jerman, 2006) et de la mémoire visuospatiale (Kyttala, 2008; McLean et Hitch, 1999; Van der Sluis, Van der Leij et De Jong, 2005). On peut constater que les notions en jeu sont souvent celles qui sont enseignées dès les premières années de scolarisation des élèves et qui concernent même parfois des prérequis mathématiques.

En fait, les études montrent non seulement que les premiers apprentissages en mathématiques jouent un rôle important dans le fait d'éprouver ou non des difficultés en mathématiques, mais aussi que les habiletés précoces en mathématiques sont un important prédicteur de la réussite éducative (Clark, Pritchard et Woodward, 2010; García Coll et al., 2007; Rourke et Conway, 1997). La recherche de García Coll et al. (2007) montre, par exemple, que la réussite en mathématiques au préscolaire prédit les résultats dans cette discipline tout au long de la scolarité. D'autres études indiquent également que les enfants qui commencent la première année avec une faible connaissance du système de numération sont à risque accru d'une faible réussite en numératie fonctionnelle (connaissances et compétences requises pour gérer efficacement les exigences relatives aux notions de calcul dans diverses situations), et ce, même rendus en première année de l'école secondaire (Geary, Hoard, Nugent, Bailey et Krueger, 2013).

Étant donné l'importance des premières habiletés liées aux nombres, il apparait pertinent de mieux comprendre comment elles se développent et comment elles servent de points d'appui au développement des compétences en mathématiques et, plus particulièrement, en arithmétique. Les études portant sur le fonctionnement du cerveau sont éclairantes à ce sujet.

En effet, au cours des dernières années, les connaissances sur le fonctionnement du cerveau ont beaucoup progressé. Nous connaissons de mieux en mieux les mécanismes cérébraux liés au traitement des nombres et à l'apprentissage de l'arithmétique. Cet article propose de prendre appui sur ces recherches afin d'identifier et de discuter de trois prérequis sur lesquels l'apprentissage de l'arithmétique s'appuie et dont le développement pourrait aider les élèves à apprendre les mathématiques et l'arithmétique plus efficacement. Ces prérequis sont le développement du sens des nombres, l'établissement de liens entre le sens initial des nombres et la représentation symbolique des nombres qui se développe au cours de l'enfance et, finalement, le développement de l'inhibition nécessaire au contrôle de certaines intuitions pouvant nuire à l'acquisition d'une représentation adéquate des nombres symboliques.

LE DÉVELOPPEMENT DU SENS DU NOMBRE

Selon Dehaene (2011), le sens du nombre est l'un des principaux domaines de compétence partagée par les humains et les animaux. Il s'impose en général immédiatement, automatiquement et sans contrôle conscient (Dehaene, 2011) et permet de faire la distinction entre deux quantités non symboliques et de déterminer laquelle est supérieure ou inférieure à l'autre (voir *figure 1*) (Fuhs et McNeil, 2013). Selon Dehaene (2011), le sens de l'approximation des nombres serait la base de la construction des compétences en mathématiques.

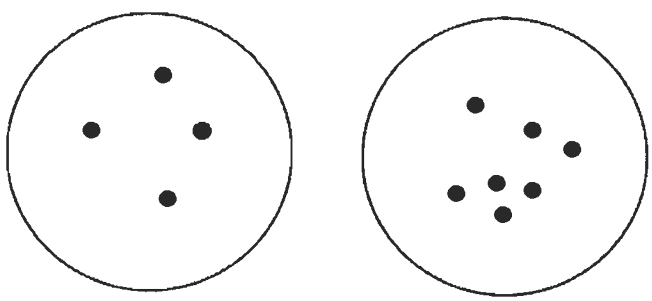


Figure 1. Deux quantités non symboliques pouvant être distinguées par le sens des nombres.

L'idée du sens des nombres est notamment issue d'analyses de l'activité cérébrale. La recherche de Piazza, Izard, Pinel, Le Bihan et Dehaene (2004), par exemple, a permis d'observer l'activité cérébrale de douze participants exposés à des ensembles de points présentées pendant seulement 150 ms. Lors de cette tâche, les participants regardaient passivement les ensembles de points. La plupart du temps, les ensembles présentés contenaient 16 points, mais parfois ils en contenaient un peu moins (8, 10 ou 13) ou un peu plus (20, 24 et 32). Lorsque le nombre de points changeait, l'activité cérébrale des participants changeait également. Ainsi, grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), il a été possible d'identifier les régions cérébrales associées au sens des nombres : ce sont les sillons intrapriétaux gauche et droit situés dans la partie supérieure postérieure du cerveau, dans le lobe pariétal. D'autres études similaires ont également permis de détecter l'activation des sillons intrapariétaux lors de tâche nécessitant des habiletés mathématiques issues du sens des nombres (Pinel, Dehaene, Rivière et LeBihan, 2001; Pinel, Piazza, Le Bihan et Dehaene, 2004).

Puisque, l'activation du sillon intrapariétal semble être une zone cérébrale importante lors de tâches nécessitant des habiletés mathématiques liées au sens des nombres, il est intéressant de savoir si cette zone joue le même rôle dès les premiers mois de vie de l'élève. Une étude menée par Izard, Dehaene et Dehaene-Lambertz (2008) a abordé cette question. Ces chercheurs ont placé des nourrissons de 3 mois devant des images d'objets et ont procédé à des enregistrements de potentiels évoqués à l'aide de l'électroencéphalogramme. Lors de l'expérience, la plupart des stimuli (images) représentaient les mêmes objets et le même nombre d'objets, mais au cours de la séance, il arrivait que le nombre ou le type d'objets diffère. Comme indiqué par l'électroencéphalogramme, les cerveaux des nourrissons ont réagi soit à l'identification de l'objet, soit au changement du nombre d'objets. Un modèle tridimensionnel de la tête du bébé a permis d'identifier que les zones du cerveau répondant au changement d'objet ou au changement de nombre d'objets étaient différentes. Comme chez les adultes et les enfants, le nombre différent d'objets a activé un réseau pariétofrontal impliquant notamment le sillon intrapariétal. Des expériences comportementales confirment également que, dès l'âge de 4 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 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. Cependant, à ce moment, le nombre sous sa forme non symbolique ne serait pas associé à une valeur quantitative précise.

L'ÉTABLISSEMENT DE LIENS ENTRE LE SENS DES NOMBRES ET LE SYSTÈME SYMBOLIQUE DES NOMBRES

Comme discuté dans la section précédente, avant l'apprentissage formel des mathématiques et avant d'apprendre les nombres sous leur forme symbolique, les élèves possèdent un sens intuitif des nombres. Ce sens des nombres implique des neurones des sillons intrapariétaux gauche et droit. Puis, au cours de son apprentissage du langage oral, l'élève acquiert progressivement les nombres sous leur forme symbolique. Cette nouvelle acquisition serait possible grâce au mécanisme de recyclage neuronal.

Proposé par Dehaene (2007), ce mécanisme cérébral permet d'expliquer pourquoi il est possible d'apprendre certaines notions issues de la culture et de l'éducation, comme les lettres et les nombres, alors que le cerveau ne possède pas de façon intrinsèque la capacité de lire ou de compter. En effet, comme les systèmes d'écriture et de comptage ont été inventés trop récemment au cours de l'histoire de l'humanité, le cerveau n'a pas pu évoluer pour avoir des régions cérébrales prédéterminées à la lecture et au calcul. Apprendre les nombres symboliques et le calcul implique donc un recyclage, c'est-à-dire une reconversion de certaines régions cérébrales qui ne sont pas, au départ, liées aux nombres symboliques et au calcul, mais qui ont tout de même une certaine parenté par rapport aux habiletés à développer. Ainsi, selon la théorie du recyclage neuronal, l'apprentissage des nombres arabes nécessiterait le recyclage des régions cérébrales associées au sens des nombres, c'est-à-dire un recyclage des réseaux neuronaux des sillons intrapariétaux (Dehaene et Cohen (2007). Autrement dit, le système symbolique des nombres (un prérequis essentiel au calcul exact) se développerait donc à partir des neurones associés au sens des nombres situés dans les sillons intrapariétaux, probablement par un processus de recyclage neuronal (Piazza, Pinel, Le Bihan et Dehaene, 2007).

Des études appuient d'ailleurs cette idée que le système symbolique des nombres se développerait en prenant appui sur le système non symbolique déjà existant. Par exemple, la recherche de Piazza et al. (2007) a permis de mesurer l'activité cérébrale de 14 sujets. Lors de cette étude, les sujets étaient placés devant des tâches utilisant à la fois le nombre sous sa forme non symbolique (nuage de points) et sous sa forme symbolique (nombres arabes). L'analyse des données d'IRMf a permis de démontrer qu'il y avait activation du sillon intrapariétal lors de ces deux types de tâches. Le traitement des nombres arables impliquerait donc les régions cérébrales liées au sens des nombres. Dans un même ordre d'idée, il est intéressant de citer la recherche de Thioux, Pesenti, Costes, De Volder et Seron (2005) qui a analysé l'activité cérébrale des participants lors d'une tâche portant sur la comparaison et la classification de nombres symboliques et d'animaux. Le but de cette recherche était de déterminer si le même type de tâche (comparaison et classification) activait les mêmes zones cérébrales lorsqu'il s'agissait de nombres ou d'animaux. Les résultats de cette étude montrent que le sillon intrapariétal serait impliqué dans les tâches nécessitant un traitement numérique symbolique indépendamment du type de tâche accomplie par le sujet (comparaison ou classification) et que cette zone cérébrale ne serait pas mobilisée lors de la tâche sur les noms des animaux, et ce, même s'il s'agissait du même type de tâche (comparaison et classification).

En résumé, ces recherches mettent donc en évidence une zone cérébrale qui serait attribuée aux nombres. De plus, puisque le système symbolique était absent de l'organisation corticale du cerveau de l'enfant à sa naissance, il a dû se développer à partir de neurones associés au sens des nombres situés dans le sillon intrapariétal, probablement par un processus de recyclage neuronal. Conséquemment, il apparait plausible que l'établissement de liens entre les nombres non symboliques (associés au sens des nombres) et les nombres symboliques puissent faciliter le mécanisme de recyclage neuronal et l'acquisition du concept de nombre. Ces liens pourraient être établis de différentes façons, notamment à l'aide d'activités associant systématiquement des nuages de points et des nombres symboliques.

Des recherches appuient l'existence de ce lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques. Grâce à Mussolin, Mejias et Noël (2010) et à Piazza et al. (2010), on sait que l'acquisition des nombres symboliques peut améliorer le sens de l'approximation des nombres. Dehaene (2011) soutient également que, pendant les années préscolaires, l'établissement d'un dialogue bidirectionnel entre notre sens du nombre et notre système de comptage 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 aussi un prérequis pour un passage réussi vers le 1[er] cycle du primaire. Les recherches de Mazzocco, Feigenson et Halberda (2011) viennent appuyer cette idée et suggèrent que la compréhension de la grandeur des collections d'objets peut également contribuer à la réussite en mathématiques.

LE DÉVELOPPEMENT DE L'INHIBITION

Apprendre à l'école n'implique pas seulement d'acquérir de nouvelles connaissances comme l'ont démontré Houdé et al. (2000), mais aussi d'apprendre à bloquer certaines stratégies surapprises ou automatisées (Lubin, Lanoë, Pineau et Rossi, 2012). Ainsi, en plus de développer le sens des nombres et l'établissement de liens entre les représentations symboliques et non symboliques du nombre, il semblerait que le développement du contrôle cognitif et de l'inhibition soit également un préalable au développement de la notion de nombre et de l'arithmétique.

En effet, quelquefois, la structure initiale du cerveau peut être un obstacle à l'apprentissage d'une nouvelle notion, puisqu'elle peut biaiser le raisonnement des élèves et peut même amener ceux-ci à produire des réponses inappropriées qui, dans certains cas, peuvent même être difficiles à modifier. Dans un tel cas, l'apprentissage nécessite l'inhibition de l'activation spontanée de certains réseaux neuronaux qui sont inappropriés pour la tâche. L'inhibition se définit comme étant une forme de contrôle cognitif et comportemental qui permet aux sujets de résister aux habitudes, aux automatismes, aux tentations, aux distractions ou aux interférences, et de s'adapter à des situations complexes par la flexibilité (Houdé et al., 2000). Plusieurs recherches ont démontré l'importance du contrôle inhibiteur lors de l'apprentissage des nombres et du raisonnement (Houdé, 2007; Houdé et al., 2011; Houdé et al., 2000; Moutier, Angeard et Houdé, 2002).

Examinons plus en détail l'une de ces études, celle de Houdé et al. (2011). L'objectif de cette recherche était de découvrir le réseau neurologique qui permet à des élèves d'effectuer la tâche de conservation du nombre de Piaget (1952) avec succès. Dans cette tâche, on demande aux élèves de dire s'il y a (ou non) autant de jetons dans la ligne de jetons du haut que dans celle du bas. Lorsque l'espace entre les jetons de la ligne du haut et de celle du bas est similaire, la tâche est plutôt facile. Par contre, lorsque l'espace entre les jetons est plus grande sur une ligne que sur l'autre (ex. ooooooo vs o o o o o o o), les élèves ont tendance à dire que la ligne la plus longue (celle dont les jetons sont plus espacés) contient plus de jetons. En se basant sur les études de Joliot et al. (2009), Leroux et al. (2006) et Leroux et al. (2009) réalisées avec des adultes, Houdé et al. (2011) ont fait l'hypothèse que la compréhension du principe de conservation du nombre chez les enfants pourrait être lié au développement d'un réseau neuronal au niveau des fonctions exécutives du cerveau, c'est-à-dire à l'inhibition (Bull, Espy, Wiebe, Sheffield et Nelson, 2011). Selon cette hypothèse, il y aurait davantage d'activation des régions cérébrales liées à l'inhibition chez les enfants qui réussissent la tâche que chez les élèves qui ne la réussissent pas. Ceci viendrait appuyer l'idée qu'il est important d'inhiber la stratégie « longueur est égale à nombre » pour arriver à une réponse correcte.

Les résultats obtenus confirment que les élèves qui réussissent la tâche activent davantage (que des élèves ne la réussissant pas) des zones cérébrales associées à l'inhibition, dont le cortex ventrolatéral droit. Un autre résultat est particulièrement intéressant dans cette étude : l'activation plus grande des sillons intrapariétaux chez les élèves qui réussissent la tâche. Comme nous l'avons vu, cette région est associée au sens des nombres et au traitement symbolique des nombres. Ainsi, il semblerait que la réussite de la tâche classique de conservation du nombre de Piaget repose à la fois sur le développement de la compréhension des nombres (d'où l'activation dans les sillons intrapariétaux), mais aussi sur le développement de l'inhibition (d'où l'activation du cortex préfrontal ventrolatéral). Ces résultats corroborent donc les thèses néo-piagétiennes voulant que les élèves aient besoin d'améliorer leur capacité à inhiber leurs réponses perceptuelles, intuitives et erronées pour acquérir le principe de conservation du nombre (Bjorklund et Harnishfeger, 1990; Dempster et Brainerd, 1995; Houdé, 2000).

D'autres études en lien avec le contrôle inhibiteur ont été effectuées. Entres autres, l'étude de Fuhs et McNeil (2013) a démontré que la performance des élèves dans les tâches conçues pour mesurer l'acuité du système d'approximation des nombres représente non seulement la capacité des élèves à discriminer les numérosités, mais aussi leur capacité à reconnaitre l'information numérique et à filtrer les informations inutiles. En d'autres mots, le sens de l'approximation des nombres chez les élèves pourrait être révélateur à la fois de la capacité de faire une approximation, mais également, de leur contrôle inhibiteur (Fuhs et McNeil, 2013). Cette même recherche a démontré que, pour certains élèves, il y a un écart d'acquisition entre le système de l'approximation des nombres et l'apprentissage symbolique des mathématiques au préscolaire, et qu'il est possible de remédier à cet écart par le contrôle inhibiteur. La recherche de Wagner et Johnson (2011) a également démontré que le contrôle inhibiteur joue un rôle clef dans la relation entre le sens de l'approximation des nombres et les habiletés mathématiques des élèves. Ainsi, en l'absence d'un enseignement mathématique symbolique important, le contrôle inhibiteur peut stimuler la performance du sens de l'approximation des nombres chez les jeunes élèves.

Puisque l'inhibition semble être essentielle à l'apprentissage de certains savoirs scolaires, il s'avère pertinent de s'intéresser aux études portant sur le développement de cette capacité chez les jeunes enfants. À titre d'exemple, Lubin et al. (2012) se sont intéressés aux outils visant le développement de l'inhibition pour les mathématiques et l'orthographe chez des élèves de 6 à 11 ans. L'objectif de cette recherche était d'enseigner aux élèves une méthodologie de travail centrée sur le contrôle cognitif des erreurs récurrentes observées chez les élèves en lien avec une notion particulière (mathématique et orthographe). Les résultats de la recherche de Lubin et al. (2012) ont permis de faire ressortir l'avantage d'un apprentissage avec inhibition plutôt qu'un apprentissage classique.

Un apprentissage par inhibition permettrait de surmonter les erreurs récurrentes en apprenant aux élèves à éviter de tomber dans certains pièges et à résister à certaines stratégies ou réponses (Lubin et al., 2012).

CONCLUSION

L'objectif de cet article était de mieux comprendre le développement du cerveau des élèves afin de mieux les préparer aux apprentissages en arithmétique. Grâce aux études menées sur une meilleure compréhension du cerveau des élèves, cette recension a permis de faire ressortir trois prérequis (voir *figure 2*) qui semblent essentiels pour un apprentissage des mathématiques réussi (le développement du sens des nombres, l'établissement de liens entre le sens des nombres et le système symbolique des nombres et le développement de l'inhibition). Ces prérequis devraient faire partie de l'enseignement au préscolaire et, comme mentionnés plus haut, ceux-ci permettraient probablement un meilleur passage au 1er cycle du primaire.

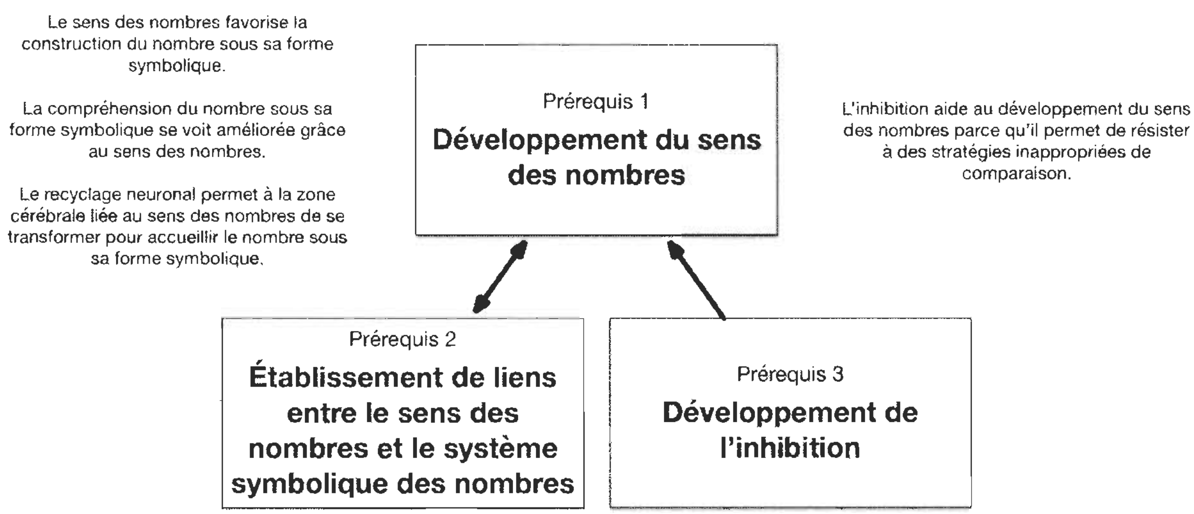


Figure 2. Trois prérequis susceptibles de préparer le cerveau de l'élève du préscolaire à l'arithmétique.

Dans de futures recherches, il serait pertinent de vérifier si les programmes pédagogiques actuels proposent des interventions au niveau de ces prérequis et, plus spécifiquement, au niveau de l'inhibition. Plus précisément, il serait utile de tracer un portrait des programmes actuels en enseignement des mathématiques au préscolaire afin de vérifier si ceux-ci travaillent l'ensemble des prérequis discutés, ou seulement quelques-uns. Il serait également pertinent d'étudier les pratiques enseignantes actuelles au préscolaire et d'examiner les liens entre ces pratiques et les prérequis identifiés. Cette recension des écrits, combinée à de futures études, pourrait donc mener à des recommandations pédagogiques sur le type de programme ou de pratiques d'enseignement à privilégier ou à concevoir, dans le cas où aucun ne travaillerait les trois prérequis identifiés de façon simultanée.

RÉFÉRENCES

ANDERSSON, U. & LYXELL, B. (2007). Working memory deficit in children with mathematical difficulties: A general or specific deficit? *Journal of Experimental Child Psychology, 96* (3), 197-228. doi: 10.1016/j.jecp.2006.10.001

BJORKLUND, D. F. & HARNISHFEGER, K. K. (1990). The resources construct in cognitive development: Diverse sources of evidence and a theory of inefficient inhibition. *Developmental Review, 10* (1), 48-71. doi: 10.1016/0273-2297(90)90004-N

BULL, R., ESPY, K. A., WIEBE, S. A., SHEFFIELD, T. D. & NELSON, J. M. (2011). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: Sources of variation in emergent mathematic achievement. *Developmental Science, 14* (4), 679-692. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.01012.x

BULL, R., JOHNSTON, R. & ROY, J. (1999). Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology, 15* (3), 421-442. doi: 10.1080/87565649909540759

BULL, R. & SCERIF, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology, 19* (3), 273-293. doi: 10.1207/S15326942DN1903_3

CHARRON, C., DUQUESNE, F., MARCHAND, M. & MELJAC, C. (2001). L'évaluation des conduites numériques des enfants en grande difficulté. *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, 336-346.

CHEVALLARD, Y. (1989). *Pourquoi enseigne-t-on les mathématiques?* Communication présentée à l'Actes du colloque « Finalités des enseignements scientifique » (Marseille, 10-12 janvier 1989).

CLARK, C. A. C., PRITCHARD, V. E. & WOODWARD, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology, 46* (5), 1176-1191. doi: 10.1037/a0019672

DE VRIENDT, S. & VAN NIEUWENHOVEN, C. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques: pistes de diagnostic et supports d'intervention*: Groupe de Boeck.

DEBLOIS, L. (2006). Influence des interprétations des productions des élèves sur les stratégies d'intervention en classe de mathématiques. *Educational Studies in Mathematics, 62* (3), 307-329.

DEHAENE, S. (2011). *The number sense how the mind creates mathematics* (Rev. and updated ed.). New York.

DEHAENE, S. & COHEN, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron, 56* (2), 384-398. doi: 10.1016/j.neuron.2007.10.004

DEMPSTER, F. N. & BRAINERD, C. J. (1995). *New perspectives on interference and inhibition in cognition-12: Final comments.*

DIONNE, J. (2007). L'enseignement des mathématiques face aux défis de l'école au Québec : Une cohérence à vivre dans une nécessaire cohésion. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, 7* (1), 6-27. doi: 10.1080/14926150709556717

DRAGANSKI, B., GASER, C., BUSCH, V., SCHUIERER, G., BOGDAHN, U. & MAY, A. (2004). Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. *Nature, 427* (6972), 311.

FEIGENSON, L., DEHAENE, S. & SPELKE, E. (2004). Core systems of number *TRENDS COGN. SCI.* (Vol. 8, pp. 307-314).

FUCHS, L. S. & FUCHS, D. (2005). Enhancing mathematical problem solving for students with disabilities. *The Journal of Special Education, 39* (1), 45-57.

FUHS, M. W. & MCNEIL, N. M. (2013). ANS acuity and mathematics ability in preschoolers from low-income homes: Contributions of inhibitory control. *Developmental Science, 16* (1), 136. doi: 10.1111/desc.12013

GARCÍA COLL, C., DUNCAN, G. J., DOWSETT, C. J., CLAESSENS, A., MAGNUSON, K., HUSTON, A. C., . . . JAPEL, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology, 43* (6), 1428-1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428

GEARY, D. C., HOARD, M. K. & 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. doi: 10.1177/0022219410392046

GEARY, D. C., HOARD, M. K., NUGENT, L., BAILEY, D. H. & KRUEGER, F. (2013). Adolescents' functional numeracy is predicted by their school entry number system knowledge. *PLoS ONE, 8* (1). doi: 10.1371/journal.pone.0054651

GERSTEN, R., JORDAN, N. C. & FLOJO, J. R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities, 38* (4), 293-304.

HOUDÉ, O. (2000). Inhibition and cognitive development: object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development, 15* (1), 63-73. doi: 10.1016/S0885-2014(00)00015-0

HOUDÉ, O. (2007). First insights on "neuropedagogy of reasoning". *Thinking & Reasoning, 13* (2), 81-89. doi: 10.1080/13546780500450599

HOUDÉ, O. (2011). Imagerie cérébrale, cognition et pédagogie. *M/S-Medecine Sciences, 27* (5), 535.

HOUDÉ, O., PINEAU, A., LEROUX, G., POIREL, N., PERCHEY, G., LANOE, 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. doi: 10.1016/j.jecp.2011.04.008

HOUDÉ, O., ZAGO, L., MELLET, E., MOUTIER, S., PINEAU, A., MAZOYER, B. & 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. doi: 10.1162/089892900562525

INGLIS, M., ATTRIDGE, N., BATCHELOR, S. & GILMORE, C. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: But only in children. *Psychonomic Bulletin and Review, 18* (6), 1222-1229. doi: 10.3758/s13423-011-0154-1

IZARD, V., DEHAENE, S. & DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2008). Distinct cerebral pathways for object identity and number in human infants. *PLoS Biol 6* (2): e11. doi: 10.1371/journal.pbio.0060011

JOLIOT, M., LEROUX, G., DUBAL, S., TZOURIO-MAZOYER, N., HOUDÉ, O., MAZOYER, B. & PETIT, L. (2009). Cognitive inhibition of number/length interference in a Piaget-like task: Evidence by combining ERP and MEG. *Clinical Neurophysiology, 120* (8), 1501-1513. doi: 10.1016/j.clinph.2009.06.003

KOONTZ, K. L. & BERCH, D. B. (1996). Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children. *Mathematical Cognition, 2* (1), 1-23.

KWOK, V., NIU, Z., KAY, P., ZHOU, K., MO, L., JIN, Z., ... TAN, L. H. (2011). Learning new color names produces rapid increase in gray matter in the intact adult human cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108* (16), 6686-6688. doi: 10.1073/pnas.1103217108

KYTTALA, M. (2008). Visuospatial working memory in adolescents with poor performance in mathematics: Variation depending on reading skills. *Educational Psychology, 28* (3), 273-289. doi: 10.1080/01443410701532305

LANDERL, K., BEVAN, A. & BUTTERWORTH, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition, 93* (2), 99-125. doi: 10.1016/j.cognition.2003.11.004

LEROUX, G., JOLIOT, M., DUBAL, S., MAZOYER, B., TZOURIO-MAZOYER, N. & HOUDÉ, O. (2006). Cognitive inhibition of number/length interference in a Piaget-like task in young adults: Evidence from ERPs and fMRI. *Human Brain Mapping, 27* (6), 498-509. doi: 10.1002/hbm.20194

LEROUX, G., SPIESS, J., ZAGO, L., ROSSI, S., LUBIN, A., TURBELIN, M.-R., ... JOLIOT, M. (2009). Adult brains don't fully overcome biases that lead to incorrect performance during cognitive development: An fMRI study in young adults completing a Piaget-like task. *Developmental Science, 12* (2), 326-338. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00785.x

LUBIN, A., LANOË, C., PINEAU, A. & 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. *Neuroeducation, 1* (1), 55-84.

MAZZOCCO, M. M. M., FEIGENSON, L. & HALBERDA, J. (2011). Preschoolers' precision of the Approximate Number System predicts later school mathematics performance. *PLoS ONE, 6* (9), ArtID e23749. doi: 10.1371/journal.pone.0023749

MCLEAN, J. F. & HITCH, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology, 74* (3), 240-260. doi: 10.1006/jecp.1999.2516

MOUTIER, S., ANGEARD, N. & HOUDÉ, O. (2002). Deductive reasoning and matching-bias inhibition training: Evidence from a debiasing paradigm. *Thinking & Reasoning, 8* (3), 205-224. doi: 10.1080/13546780244000033

MUSSOLIN, C., MEJIAS, S. & NOËL, M.-P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition, 115* (1), 10-25. doi: 10.1016/j.cognition.2009.10.006

PIAGET, J. (1952). *Jean Piaget*, Clark University Press.

PIAZZA, M., FACOETTI, A., TRUSSARDI, A. N., BERTELETTI, I., CONTE, S., LUCANGELI, D., ... ZORZI, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition, 116* (1), 33-41. doi: 10.1016/j.cognition.2010.03.012

PIAZZA, M., IZARD, V., PINEL, P., LE BIHAN, D. & DEHAENE, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron, 44* (3), 547-555. doi: 10.1016/j.neuron.2004.10.014

PIAZZA, M., PINEL, P., LE BIHAN, D. & DEHAENE, S. (2007). A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron, 53* (2), 293-305. doi: 10.1016/j.neuron.2006.11.022

PINEL, P., DEHAENE, S., RIVIÈRE, D. & LE BIHAN, D. (2001). Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *NeuroImage, 14* (5), 1013-1026. doi: 10.1006/nimg.2001.0913

PINEL, P., PIAZZA, M., LE BIHAN, D. & DEHAENE, S. (2004). Distributed and overlapping cerebral representations of number, size, and luminance during comparative judgments. *Neuron, 41* (6), 983-993. doi: 10.1016/S0896-6273(04)00107-2

PRAET, M. & DESOETE, A. (2014). Enhancing young children's arithmetic skills through non-intensive, computerised kindergarten interventions: A randomised controlled study. *Teaching and Teacher Education, 39* (0), 56-65. doi: 10.1016/j.tate.2013.12.003

ROURKE, B. P. & CONWAY, J. A. (1997). Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning: perspectives from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning Disabilities, 30* (1), 34.

ROUSSELLE, L. & NOEL, 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. doi: 10.1016/j.cognition.2006.01.005

SWANSON, H. L. & JERMAN, O. (2006). Math disabilities: A selective meta-analysis of the literature. *Review of Educational Research, 76* (2), 249-274.

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. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.02.009

VAN DER SLUIS, S., VAN DER LEIJ, A. & DE JONG, P. F. (2005). Working memory in Dutch children with reading- and arithmetic-related LD. *Journal of Learning Disabilities, 38* (3), 207.

WAGNER, J. B. & JOHNSON, S. C. (2011). An association between understanding cardinality and analog magnitude representations in preschoolers. *Cognition, 119* (1), 10-22. doi: 10.1016/j.cognition.2010.11.014

XU, F. & SPELKE, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74* (1), B1-B11. doi: 10.1016/S0010-0277(99)00066-9

Chapitre 2

Intervenir en mathématiques au préscolaire avec une visée neuroéducative : l'état des lieux

INTERVENIR EN MATHÉMATIQUES AU PRÉSCOLAIRE AVEC UNE VISÉE NEUROÉDUCATIVE : L'ÉTAT DES LIEUX[1]

Deshaies, Isabelle*, Miron, Jean-Marie**, Picard, Colette***, Masson, Steve****

RESUME

Des études en neurosciences suggèrent qu'au moins trois prérequis sont essentiels à l'apprentissage de l'arithmétique : 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 répertoriés, seulement cinq s'appuient 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.

Mots-Clés : ENSEIGNEMENT DE L'ARITHMÉTIQUE, SENS DES NOMBRES, NEUROÉDUCATION, INHIBITION, PRÉSCOLAIRE

---

1 Article en cours d'évaluation pour la revue Recherches en Didactique des Mathématiques.

* Université du Québec à Trois-Rivières, isabelle.deshaies2@uqtr.ca
** Université du Québec à Trois-Rivières, jean-marie.miron@uqtr.ca
*** Université du Québec en Abitibi Témiscamingue, Colette.Picard@uqat.ca
**** Université du Québec à Montréal, masson.steve@uqam.ca

1. INTRODUCTION

L'éducation préscolaire fournit une base pour les futurs apprentissages des élèves (Jordan, Kaplan, Locuniak, & Ramineni, 2007). Parmi ces apprentissages, notons que ceux concernant les mathématiques sont prédictifs d'une éventuelle réussite scolaire des élèves (Duncan et al., 2007). Harris, Aunola, Leskinen, Lerkkanen et Nurmi (2004) ont aussi démontré que du début de l'entrée au préscolaire à la deuxième année du primaire, le développement 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.

Bien que plusieurs facteurs puissent contribuer à la réussite en mathématiques, des études en neurosciences suggèrent que trois prérequis seraient particulièrement importants à l'apprentissage des mathématiques et, plus spécifiquement, de l'arithmétique (Deshaies, Miron, & Masson, 2015). Il s'agit du développement du sens des nombres, l'établissement de liens entre le sens des nombres et les nombres symboliques, ainsi que le développement du contrôle cognitif et de l'inhibition. Ces trois prérequis seront décrits plus en détail dans la prochaine section de cet article.

Actuellement, le Programme de formation de l'école québécoise (PFÉQ) (MELS, 2003) amène les élèves 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 ces connaissances et habiletés constituent des éléments importants qu'il faut développer chez les élèves du préscolaire, il s'avère que le sens des nombres, vu sous l'angle des neurosciences comme étant un sens approximatif des nombres (Dehaene, 2011), et le développement du contrôle cognitif et l'inhibition ne sont pas présents.

En plus de développer les connaissances mathématiques présentes dans le PFÉQ, il serait intéressant de travailler également les trois prérequis proposés par les recherches en neurosciences, puisque ces études vont dans le sens que le développement de ceux-ci aiderait à mieux préparer les élèves en mathématiques pour leur entrée au primaire.

Dans le but d'identifier les pistes d'intervention pouvant contribuer, chez les élèves du préscolaire, au développement du sens des nombres, à l'établissement de liens entre le sens des nombres et les nombres symboliques, ainsi qu'au développement de l'inhibition, cet article présente une recension des écrits portant sur les programmes d'intervention visant explicitement à travailler l'un ou plusieurs de ces prérequis. Après avoir présenté les liens entre le développement du cerveau et ces trois prérequis, la méthodologie de cette recension est présentée. Ensuite, une description des études liées à cinq programmes visant à travailler les prérequis identifiés est proposée. Finalement, l'article se termine par une discussion qui met en lumière le fait qu'aucun programme d'intervention, analysé selon nos critères, tient compte de ces trois prérequis simultanément.

2. LES PREREQUIS ESSENTIELS EN MATHEMATIQUES AU PRESCOLAIRE

L'étude du fonctionnement et du développement du cerveau a permis d'identifier au moins trois prérequis pouvant être associés à la réussite des élèves en mathématiques au préscolaire, plus précisément, en arithmétique (Dehaene, 2011; Deshaies et al., 2015; De Smedt, Noël, Gilmore, & Ansari, 2013; Houdé, 2014). Ces prérequis sont décrits en détail dans un autre article (Deshaies et al., 2015). Dans cette section, seulement une brève description de chacun est présentée.

2.1 Le développement du sens des nombres

Selon Dehaene (2011), le sens des nombres s'impose immédiatement, automatiquement et sans contrôle conscient; il permet de faire la distinction entre deux quantités non symboliques, ainsi que de déterminer laquelle est supérieure ou inférieure à l'autre (Fuhs & McNeil, 2013). Le sens des nombres permet de comprendre la magnitude des nombres et serait la base de la construction des compétences en mathématiques (Dehaene, 2011). Les recherches en neuroscience ont permis de déterminer que, lors d'activités en relation avec le sens des nombres, ce sont des neurones des sillons intrapariétaux droit et gauche qui sont activés (Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003).

Afin de démontrer l'existence de ce sens des nombres dès les premiers mois de vie du nourrisson, Izard, Dehaene et Dehaene-Lambertz (2008) ont placé des nourrissons de trois mois devant des images d'objets et ont procédé à des enregistrements de potentiels évoqués à l'aide de l'électroencéphalogramme. Tout comme chez les adultes et les enfants, le nombre différent d'objets a activé un réseau pariétofrontal impliquant notamment les sillons intrapariétaux. Des expériences comportementales confirment également que, dès l'âge de 4 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, & Spelke, 2004; Xu & Spelke, 2000).

En somme, cette sensibilité à la quantité qui est nécessaire au développement du sens des nombres serait présente dès les premiers mois de vie dans le cerveau des enfants et leur permettrait d'avoir une idée de 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.

2.2 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 déjà présentes dans son cerveau et leur représentation symbolique.

Au niveau cérébral, cette nouvelle acquisition est possible grâce au recyclage neuronal, c'est-à-dire à la capacité du cerveau à modifier la structure de certaines régions cérébrales afin de changer leurs fonctions initiales (Dehaene & Cohen, 2007). La zone cérébrale associée au sens des nombres (sillons intrapariétaux droit et gauche) se reconvertirait pour accueillir le nombre sous sa forme symbolique. D'ailleurs, plusieurs études montrent que les sillons intrapariétaux s'activent non seulement lors de la comparaison de deux nombres non symboliques, mais aussi lors de la comparaison de deux nombres symboliques (Thioux, Pesenti, Costes, De Volder, & Serron, 2005). Ainsi, le système symbolique se développerait à partir des neurones associés au sens des nombres et tout cela serait possible grâce à un processus de recyclage neuronal (Piazza, Pinel, Le Bihan, & Dehaene, 2007). En somme, nous sommes aptes à accueillir le nombre sous sa forme symbolique puisque, de prime abord, nous détenons le sens des nombres. Il s'avère donc possiblement important, pour favoriser le recyclage des sillons intrapariétaux, que les élèves établissent des liens entre le sens des nombres et la représentation non symbolique des nombres.

2.3 Le développement de l'inhibition

Comme discuté précédemment, plusieurs auteurs issus des neurosciences ont fait ressortir l'importance de deux préalables : le développement du sens des nombres ainsi que l'établissement de liens entre le nombre sous sa forme non symbolique et symbolique (Dehaene, 2011; Dehaene et al., 2003; Deshaies et al., 2015; De Smedt et al., 2013; Nosworthy, Bugden, Archibald, Evans, & Ansari, 2013; Piazza, Pica, Izard, Spelke, & Dehaene, 2014; Vogel, Goffin, & Ansari, 2015).

En plus de ces deux préalables, des études suggèrent qu'il faut parfois développer la capacité à résister à certains automatismes de la pensée pour apprendre (Houdé, 2014). Cette capacité se nomme l'inhibition. Elle 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 par la flexibilité (Houdé, 2000). Plusieurs études ont déjà fait ressortir l'importance de ce contrôle inhibiteur dans certains apprentissages scolaires (Lubin, Lanoë, Pineau, & Rossi, 2012; Moutier, Angeard, & Houdé, 2002; Moutier & Houdé, 2003; Rossi, Cassotti, Moutier, Delcroix, & Houdé, 2015).

Au préscolaire, les élèves auraient besoin de la capacité d'inhibition du cerveau afin de bloquer leurs réponses perceptuelles intuitives erronées pour acquérir, par exemple, le principe de conservation du nombre (Houdé et al., 2011). L'inhibition permettrait notamment aux élèves d'âge préscolaire de ne pas se laisser berner par une stratégie visuospatiale telle que la longueur de la distribution d'un ensemble influence le nombre. Selon cet exemple, pour les élèves du préscolaire, plus les objets prennent de place, plus le nombre est élevé. Il s'avère donc possiblement bénéfique d'offrir aux élèves une intervention en mathématiques qui tient 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 aussi une augmentation de l'activé du cortex préfrontal ventrolatéral, une région reconnue comme jouant un rôle clé dans le contrôle inhibiteur (Graesser et al., 2013; Houdé et al., 2011). En fait, dans ce cas-ci, il semblerait que l'inhibition aide les élèves à contrer leur stratégie 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 influence le nombre.

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 pour 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).

3. METHODOLOGIE

Dans cette section, les critères et la procédure ayant permis d'identifier et sélectionner les études analysées dans cet article sont présentés. Trois critères ont guidé la recherche bibliographique : (a) le programme s'appuie-t-il sur les recherches en neurosciences?, (b) est-ce que ce programme vise les trois prérequis essentiels? et (c) le programme est-il destiné à une clientèle du préscolaire?

Dans un premier temps, notre recherche s'est concentrée sur les programmes d'intervention répondant de façon affirmative aux trois critères. Une recherche au moyen des bases de données PsyINFO, ERIC et Pubmeb, en utilisant notamment les mots clés suivants (et leur équivalant anglais) : préscolaire, intervention mathématique, sens des nombres, nombre non symbolique et symbolique et inhibition ou contrôle cognitif, 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 visait 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 (et leur équivalant anglais) : intervention mathématique, arithmétique, préscolaire, sens des nombres, nombre non symbolique et symbolique.

Bien que 22 programmes et outils ont été analysés, seulement cinq pouvaient être retenus puisqu'ils portaient sur des interventions applicables au préscolaire qui se basaient sur les neurosciences en visant le développement du sens des nombres et/ou l'établissement de liens entre ce sens des nombres et les nombres symboliques. Comme mentionné précédemment, aucun programme d'intervention ne visait explicitement le développement de l'inhibition.

Chaque programme a été analysé en fonction de son apport concernant les prérequis mentionnés précédemment, mais également, les données obtenues autres que celles concernant ceux-ci seront exposées. Ainsi, les programmes d'intervention *Number Race*, *Graphogame Maths*, *Number Worlds*, *Fostering At-Risk Preschoolers Number Sense* et *FASST Math* font l'objet d'une analyse dans cet article.

4. PROGRAMMES D'INTERVENTION EN MATHEMATIQUES VISANT LE DEVELOPPEMENT D'UN OU PLUSIEURS DES TROIS PREREQUIS IDENTIFIES

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

4.1 Number Race

Le programme *Number Race* se présente sous la forme d'un logiciel gratuit et conçu dans un premier temps pour les élèves dyscalculiques (Wilson, Revkin, Cohen, Cohen, & Dehaene, 2006). Ce logiciel est 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. Le logiciel permet d'entrainer les élèves dans des tâches de comparaisons numériques divertissantes, en présentant des problèmes adaptés en lien avec le 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 et en fournissant ainsi un double niveau de stimulation cognitive nécessaire pour un progrès optimal.

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. 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 7 et 9 ans et ayant des difficultés en mathématique (élèves dyscalculiques). L'intervention réalisée auprès des élèves était de 30 minutes par jour, quatre fois 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, & Noël, 2005) et 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.

Les élèves ont présenté des augmentations spécifiques de leur performance sur les tâches en lien avec le sens des nombres. La vitesse de la capacité à subitiser et la comparaison numérique ont augmenté de plusieurs centaines de millisecondes. La précision de la soustraction a augmenté de 23 %. 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 sont 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 demeure dans le temps. Un suivi des résultats pourrait répondre à cette question et aurait été de mise. De plus, la présence d'un groupe contrôle aurait permis de comparer l'amélioration des élèves ayant suivi l'intervention versus ceux qui ne l'ont pas suivi. Un nombre d'élèves plus grand ainsi qu'un groupe contrôle auraient donc été souhaitables.

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). Notons que les élèves participants à cette recherche sont souvent issus de familles d'immigrants et ont une langue maternelle autre que 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.

Les élèves ont d'abord répondu à un prétest. Puis, l'intervention a débuté. 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 la recherche, les logiciels ont été échangés entre les deux groupes. Puis, un posttest 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 dits, 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 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.

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.

4.2 Graphogame Maths

Graphogame Maths est un programme d'intervention informatisé qui travaille les ensembles de nombres exacts par la correspondance orale des motifs visuels et symboliques. Ce programme vise le développement du sens des nombres ainsi que du lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques (Räsänen, Salminen, Wilson, Aunio, & Dehaene, 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 maitrise de l'arithmétique constitue un obstacle commun chez les enfants avec des difficultés au niveau de la langue (Zhang et al., 2014). *Graphogame Maths* est un jeu qui travaille les nombres, entres autres 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 équivalant 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, la comparaison de nombre, le dénombrement, l'arithmétique et la dénomination rapide d'un nombre de points ont été mesurés avant et après l'intervention. Les résultats des deux interventions montrent une amélioration des compétences des élèves pour ce qui est de la comparaison des nombres, par rapport à un groupe témoin ($n = 30$), mais non pour d'autres domaines de compétences numériques.

Cette étude démontre l'impact 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 de vivre des activités où la comparaison de nombres est présentée sous sa forme non symbolique et/ou la comparaison de nombres présentés sous leurs formes symbolique et orale permet 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.

En résumé, 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 par inhibition.

4.3 Number Worlds

Selon Griffin (2004a), auteure du programme *Number Worlds*, les sciences cognitives offrent un aperçu de la façon dont les jeunes élèves peuvent mieux apprendre les mathématiques. Ainsi, dans le programme *Number Worlds* créé par Griffin (2004b), le sens des nombres est défini en termes de connaissances primaires, et prend assise auprès des recherches en neurosciences. Ce programme met fortement l'accent sur l'aide aux élèves afin que ceux-ci intègrent les connaissances implicites et explicites. Les activités proposées encouragent les élèves à construire des représentations qui les amènent à exprimer leur intuition à l'aide de représentations explicites 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, 2004b), 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 connait 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 4 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 aux plus grands nombres 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 et Case (1996), 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 montré des gains importants sur la connaissance des nombres et une augmentation de la moyenne de la performance en mathématiques lors d'une étude de suivis lors de la 1re année (Case et al., 1996; Griffin, Case & Siegler, 1994). Par contre, les groupes contrôle 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 1re année, le retard de développement qui avait été présent au début du préscolaire était encore évident face aux mesures d'apprentissage et de réussite en mathématiques à la fin de la 1re année.

En résumé, le programme *Number Worlds* a lui aussi permis des gains positifs au niveau du sens des nombres et du lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques. Par contre, ce programme n'inclut pas l'inhibition et la clientèle cible est celle des élèves à risque et non ceux du régulier.

4.4 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, & Mix, 2006; Baroody & Rosu, 2006; Howell & 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, & 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 en utilisant des faits numériques connus et 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, ce programme est renforcé par la pratique répétée, une stratégie souvent soutenue par les recherches en neurosciences (Dehaene, 1997; Siegler & 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.

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 initiale des élèves, l'équipe de Baroody, Eiland et Thompson (2009) a utilisé le TEMA-3 (Ginsburg & 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 d'en 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 maitrise 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 & 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 maitrise 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 posttest ($z = 6{,}222$; $p < 0{,}001$). De plus, la moyenne des élèves au prétest a plus que doublé lors du posttest.

En somme, le programme *Fostering At-Risk Preschoolers Number Sense* créé par Baroody et al. (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 l'apprentissage par inhibition, ainsi qu'une clientèle préscolaire régulière.

4.5 FASST Math

FASTT Math est un programme 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 maitrisés 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. 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. *FASST Maths* 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, Delazer, Pohl, Semenza, & Dowker, 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 & Dehaene, 1999; Chochon, Cohen, Moortele & 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 & Dehaene, 1995; Dehaene, 2011; Dehaene et al., 2003). De plus, *FASST 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 ainsi que 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 travaillés, 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 & Bransford (1988) auprès de plus de 400 élèves utilisant le programme *FASTT Math* pour développer la maitrise des faits numériques de base. Un prétest et un posttest a été utilisés pour mesurer le niveau de maitrise des faits numériques d'un échantillon de 160 élèves (7-14 ans). Les chercheurs ont réparti les élèves en difficulté d'apprentissage au groupe d'intervention ou au groupe contrôle. Le groupe expérimental a reçu une intervention quotidienne informatisée sur l'apprentissage des faits numériques, alors que le groupe contrôle a reçu seulement l'enseignement mathématique prévue dans leurs activités typiques de la 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 maitrise 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 maitrise de faits numériques, et les élèves dits réguliers ont augmenté en moyenne la maitrise de seulement huit faits numériques supplémentaires. Ainsi, les élèves en difficulté d'apprentissage ont acquis le double de celui de leurs pairs qui ne sont pas en difficulté d'apprentissage. Bien que cette recherche n'indique que des résultats positifs pour *FASTT Math*, certaines limites sont présentes, entres 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 *FASST 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 maitrise des faits numériques de base.

5. DISCUSSION

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 des trois prérequis essentiels en mathématiques, soit le sens des nombres, le lien entre le sens des nombres et les nombres symboliques et l'inhibition. En effet, bien que plusieurs programmes d'intervention en mathématiques au préscolaire touchent le sens des nombres (Clements, Sarama, & DiBiase, 2004; Griffin, 2004b; Piazza, Izard, Pinel, Le Bihan, & Dehaene, 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, & Reid, 2012; Clements & Sarama, 2008; Clements, Sarama, Wolfe, & Spitler, 2013; Griffin, 2004b), aucun ne cible, en même temps que les deux autres, le développement de l'inhibition.

Considérant qu'aucun des programmes examinés ne travaille 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 (García Coll 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 aussi le développement de l'inhibition pourrait s'avérer pertinente. Comme mentionné précédemment, ajoutés aux connaissances mathématiques présentes dans le PFÉQ, ces trois prérequis semblent pouvoir s'intégrer facilement dans les activités se vivant actuellement en classe. L'ajout de ceux-ci pourrait notamment amener les élèves à consolider leur sens premier de l'approximation des nombres (sens des nombres) et les outiller afin de ne pas tomber dans des pièges mathématiques (inhibition). Une intervention permettant cet ajout pourrait représenter un avantage considérable pour l'enseignement de la mathématique au préscolaire. De plus, cet ajout pourrait possiblement mettre l'emphase sur des notions qui ne sont pas clairement explicitées dans le PFÉQ.

6. CONCLUSION

En étudiant les changements qui se déroulent dans le cerveau lors de l'acquisition des compétences arithmétiques, les chercheurs en neurosciences mettent de l'avant l'idée qu'au moins trois préalables 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 des deux premiers prérequis. Parmi 22 programmes d'intervention identifiés, seulement cinq s'appuient sur les recherches en neurosciences et visent le développement du sens nombre et/ou du lien entre le sens du nombre et les nombres symboliques.

Un fait saillant de cette recension des écrits scientifiques est qu'aucun des programmes identifiés ne vise, en plus des deux préalables discutés précédemment, le développement de l'inhibition, c'est-à-dire la capacité à contrôler ou 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 aussi le développement de l'inhibition.

RÉFÉRENCES

Baroody, A. J. (1985). Mastery of basic number combinations: Internalization of relationships or facts? *Journal for Research in Mathematics Education, 16*(2), 83-98.

Baroody, A. J., Eiland, M. D., Purpura, D. J., & Reid, E. E. (2012). Fostering at-risk kindergarten children's number sense. *Cognition and Instruction, 30*(4), 435-470. doi: 10.1080/07370008.2012.720152

Baroody, A. J., Eiland, M. D., & Thompson, B. (2009). Fostering at-risk preschoolers number sense. *Early Education and Development, 20*(1), 80-128. doi: 10.1080/10409280802206619

Baroody, A. J., Lai, M.-L., & Mix, K. S. (2006). The development of young children's number and operation sense and its implications for early childhood education. Dans B. Spodek & O. Saracho (Éds), *Handbook of research on the education of young children* (pp. 187-221). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Baroody, A. J., & Rosu, L. (2006). Adaptive expertise with basic addition and subtraction combinations: The number sense view. Dans A. J. Baroody & J. Torbeyns (Éds), Developing adaptive expertise in elementary school arithmetic. Symposium conducted at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.

Butterworth, B., & Dehaene, S. (1999). *The mathematical brain* (Vol. 2). London: Macmillan.

Case, R., Okamoto, Y., Griffin, S., McKeough, A., Bleiker, C., Henderson, B., . . . 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. doi: 10.2307/1166077

Chochon, F., Cohen, L., Moortele, P. F., & Dehaene, S. (1999). Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*(6), 617-630. doi: 10.1162/089892999563689

Clements, D. H., & Sarama, J. (2008). Experimental evaluation of the effects of a research-based preschool mathematics curriculum. *American Educational Research Journal, 45*(2), 443-494. doi: 10.3102/0002831207312908

Clements, D. H., Sarama, J., & DiBiase, A.-M. (Éds). (2004). *Engaging young children in mathematics: Standards for early childhood mathematics*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Clements, D. H., Sarama, J., Wolfe, C. B., & 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. doi: 10.3102/0002831212469270

Cohen, L., & Dehaene, S. (1995). Number processing in pure alexia: The effect of hemispheric asymmetries and task demands. *Neurocase, 1*(2), 121-137. doi: 10.1080/13554799508402356

Dehaene, S. (1997). *The number sense: How the mind creates mathematics.* New York: Oxford University Press

Dehaene, S. (2011). The number sense: How the mind creates mathematics (Rev. and updated ed.). New York, NY: Oxford University Press.

Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron, 56*(2), 384-398. doi: 10.1016/j.neuron.2007.10.004

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology, 20*(3), 487-506. doi: 10.1080/02643290244000239

Deshaies, I., Miron, J.-M., & 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.

De Smedt, B., Noël, M.-P., Gilmore, C., & 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. doi: doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.001

Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., . . . Brooks-Gunn, J. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology, 43*(6), 1428-1456.

Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number *Trends Cognitive Science*, *8*, 307-314.

Fuhs, M. W., & 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. doi: 10.1111/desc.12013

García Coll, C., Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., . . . Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology, 43*(6), 1428-1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428

Ginsburg, H. P., & Baroody, A. J. (2003). *Test of Early Mathematics Ability–Third edition (TEMA-3)* Austin, TX: Pro-Ed.

Graesser, A. C., Lubin, A., Vidal, J., Lanoë, C., Houdé, O., & 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. doi: 10.1037/a0032625

Griffin, S. (2004a). Teaching number sense. *Educational Leadership, 61*(5), 39-42.

Griffin, S. (2004b). Building number sense with number worlds: A mathematics program for young children. *Early Childhood Research Quarterly, 19*(1), 173-180. doi: 10.1016/j.ecresq.2004.01.012

Griffin, S., & Case, R. (1996). Evaluating the breadth and depth of training effects when central conceptual structures are taught. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 61*(1-2), 83-102. doi: 10.1111/j.1540-5834.1996.tb00538.x

Griffin, S. A., Case, R., & 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 (Éd.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 24-49). Cambridge, MA: Bradford Books MIT Press.

Harris, K. R., Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M.-K., & Nurmi, J.-E. (2004). Developmental dynamics of math performance from preschool to grade 2. *Journal of Educational Psychology, 96*(4), 699-713. doi: 10.1037/0022-0663.96.4.699

Hasselbring, T. S., Goin, L., & 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.

Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development, 15*(1), 63-73. doi: 10.1016/S0885-2014(00)00015-0

Houdé, O. (2014). *Apprendre à résister*. Paris : Éditions Le Pommier.

Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoe, 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. doi: 10.1016/j.jecp.2011.04.008

Howell, S., & 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.

Izard, V., Dehaene, S., & Dehaene-Lambertz, G. (2008). *Distinct cerebral pathways for object identity and number in human infants.* Repéré à file:///C:/Users/Christiane/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/UHKXD62X/IzardDehaeneDehaene_NbObject_PlosBiology2008.pdf

Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., & Ramineni, C. (2007). Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice, 22*(1), 36-46.

Kaufmann, L., Delazer, M., Pohl, R., Semenza, C., & Dowker, A. (2005). Effects of a specific numeracy educational program in kindergarten children: A pilot study. *Educational Research and Evaluation, 11*(5), 405-431. doi: 10.1080/13803610500110497

Kilpatrick, J., Swafford, J., & Findell, B. (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. Mathematics Learning Study Committee, Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academy Press

Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A., & 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. *Neuroeducation, 1*(1), 55-84.

MELS. (2003). *Programme de formation à l'école québécoise. Éducation préscolaire. Enseignement primaire.* Repéré à http://www1.education.gouv.qc.ca/sections/programmeFormation/primaire/pdf/prform2001/prform2001-040.pdf.

Moutier, S., Angeard, N., & Houdé, O. (2002). Deductive reasoning and matching-bias inhibition training: Evidence from a debiasing paradigm. *Thinking & Reasoning, 8*(3), 205-224. doi: 10.1080/13546780244000033

Moutier, S., & Houdé, O. (2003). Judgement under uncertainty and conjunction fallacy inhibition training. *Thinking & Reasoning, 9*(3), 185-201. doi: 10.1080/13546780343000213

Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B., & 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. doi: 10.1371/journal.pone.0067918

Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron, 44*(3), 547-555. doi: doi.org/10.1016/j.neuron.2004.10.014

Piazza, M., Pica, P., Izard, V., Spelke, E. S., & Dehaene, S. (2014). Education enhances the acuity of the nonverbal approximate number system. *Psychological Science, 24*(6), 1037-1043. doi: 10.1177/0956797612464057

Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2007). A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron, 53*(2), 293-305. doi: 10.1016/j.neuron.2006.11.022

Räsänen, P., Salminen, J., Wilson, A. J., Aunio, P., & Dehaene, S. (2009). Computer-assisted intervention for children with low numeracy skills. *Cognitive Development, 24*(4), 450-472.

Rossi, S., Cassotti, M., Moutier, S., Delcroix, N., & 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. doi: 10.1371/journal.pone.0123024

Siegler, R. S., & Perlmutter, M. (1986). *Minnesota symposium of child psychology* (Vol. 19). Hillsdale, NJ: Erlbaum

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. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.02.009

Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2005). *Tedi-Math test diagnostique des compétences de base en mathématiques.* Paris, Cédex : Les éditions du centre de psychologie appliquée.

Vogel, S. E., Goffin, C., & 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*(0), 61-73. doi: doi.org/10.1016/j.dcn.2014.12.001

Wilson, A. J., Dehaene, S., Dubois, O., & 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.

Wilson, A. J., Revkin, S., Cohen, D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions, 2*(1), 19-30.

Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74*(1), B1-B11. doi: 10.1016/S0010-0277(99)00066-9

Zhang, X., Koponen, T., Räsänen, P., Aunola, K., Lerkkanen, M.-K., & Nurmi, J.-E. (2014). Linguistic and spatial skills predict early arithmetic development via counting sequence knowledge. *Child Development, 85*(3), 1091-1107. doi: 10.1111/cdev.12173

Chapitre 3

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 5 ans

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 5 ans[1]

Isabelle DESHAIES*, Jean-Marie MIRON**, Steve MASSON ***

**Doctorante, Université du Québec à Trois-Rivières*

Téléphone : 819 376-5011.

Adresse courriel : isabelle.deshaies2@uqtr.ca

***Professeur, Université du Québec à Trois-Rivières*

Adresse courriel : jean-marie.miron@uqtr.ca

****Professeur, Laboratoire de recherche en neuroéducation, Département de didactique, Université du Québec à Montréal*

Adresse courriel : masson.steve@uqam.ca

[1] Cet article sera traduit et soumis à la revue *ZDM Mahematics Education*.

Résumé

Les recherches en neuroscience cognitive et en didactique des mathématiques incitent 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'a évalué les effets d'une intervention visant les trois prérequis, ni les effets spécifiques du développement du contrôle inhibiteur sur les deux premiers prérequis. 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 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 l'inhibition, 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.

Mots clés : *intervention, neuroéducation, enseignement de l'arithmétique, sens des nombres, inhibition, préscolaire*

1. Introduction

Depuis 1980, les recherches montrent que de 6 à 7 % des élèves d'âge scolaire éprouvent de grandes difficultés en mathématiques (Charron et al. 2001; De Vriendt and Van Nieuwenhoven 2010; Fuchs and 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 et al. 2012; Gersten et al. 2005). D'autres études montrent non seulement que les premiers apprentissages en mathématiques jouent un rôle important dans le fait d'éprouver ou non des difficultés en mathématiques, mais aussi que les habiletés précoces en mathématiques constituent un important prérequis à la réussite éducative (Clark et al. 2010; García Coll et al. 2007; Rourke and Conway 1997). Le caractère prédictif des habiletés précoces en mathématiques met en évidence l'importance que l'on devrait accorder à la prévention des difficultés des élèves. Comme le mentionnent d'ailleurs Potvin et Lapointe (2010), la prévention ainsi que le dépistage et l'intervention précoce constituent les premières actions à entreprendre pour soutenir la réussite des élèves. Ces actions devraient se vivre dès les premières années du parcours scolaire de l'élève, soit dès le préscolaire. En ce sens, chercher à mieux comprendre les prérequis essentiels en mathématiques afin d'intervenir de manière efficace et préventive, et ainsi favoriser la réussite éducative des élèves, demeure essentielle.

Bon nombre de recherches associent les difficultés d'apprentissage des élèves en mathématiques à des notions issues du champ de l'arithmétique. Comme le mentionnent les recherches de Geary et al. (2012) et de Gersten et al. (2005), 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. Ce sont 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 et al. 2004), de même que dans les tâches qui requièrent la manipulation de quantité de nombres (Rousselle & Noel 2007) et la subitisation de petites quantités numériques (Koontz and Berch 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 neuroscience cognitive et en didactique des mathématiques ayant étudié cette question. Deshaies et al. (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, l'établissement de liens entre ce sens des nombres et les nombres symboliques et le développement de l'inhibition.

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; il serait la base de la construction des compétences en mathématiques. De plus, les recherches de Mussolin et al. (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. 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 aussi un prérequis pour un passage réussi vers le 1er cycle du primaire. De plus, comme l'ont démontré les recherches de Houdé et al. (2011) et de Lubin et al. (2012), apprendre des nouvelles notions n'implique pas seulement d'acquérir de nouvelles connaissances, mais aussi d'apprendre à bloquer certaines stratégies inefficaces grâce au contrôle inhibiteur. Une étude en neuroimagerie montre d'ailleurs que le contrôle inhibiteur serait central à certains apprentissages en mathématiques (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'a tenté jusqu'à présent d'évaluer les effets d'une intervention pédagogique visant le développement de ces trois prérequis. En effet, l'étude de Deshaies et al. (soumis) 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 et al. 2004; Griffin 2004; 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, 2012; Clements and Sarama 2008; Clements et al. 2013; Griffin 2004), aucun ne cible en même temps que les deux autres prérequis, le développement explicite de l'inhibition, c'est-à-dire la capacité à contrôler ou bloquer certains automatismes de la pensée pouvant nuire au raisonnement numérique.

Pour 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, 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 l'inhibition). 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. D'autre part, elle vise également 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.

2. Méthodologie

2.1 Participants

Au total, 126 élèves francophones et québécois du préscolaire 5 ans provenant d'écoles de statut socioéconomique équivalent ont participé à cette recherche. Pour choisir les écoles et les classes participantes au projet, les critères de sélection suivants ont été utilisés : les enseignants devaient être en poste, et non en remplacement, à 80 % et plus de leur tâche, et ne devaient pas participer à un programme pédagogique particulier en mathématiques. 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 (cinq semaines), 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; (3) une rétroaction est systématique donnée aux participants, et (4) les activités proposées sont espacées dans le temps. 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.

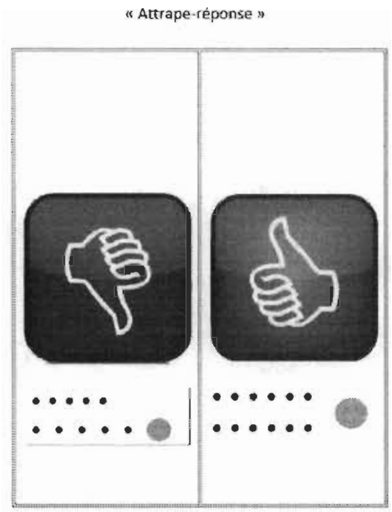
Afin de travailler les deux premiers prérequis, les deux interventions incluent plusieurs notions issues de la didactique des mathématiques. Le sens des nombres est travaillé à partir de trois activités portant sur celui-ci

(Ansari 2008; Ansari et al. 2006; Nosworthy et al. 2013) et deux en lien avec la subitisation perceptuelle et conceptuelle (Clements 2007; Gallistel and Gelman 1992; Kaufman et al. 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 and Lehalle 2002; Gelman 1978; Grégoire and Van Nieuwenhoven 1995; Noël 2005; Sophian 1998).

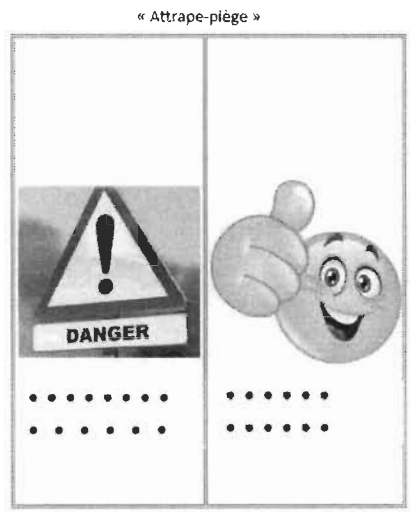
Le développement du contrôle inhibiteur est développé dans la deuxième intervention non pas à partir d'activités supplémentaires, mais à l'aide de dispositifs pédagogiques légèrement différents pour certaines activités (Houdé et al. 2011). En effet, dans les activités liées à la conservation du nombre, alors que l'intervention 1 (sans inhibition) 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 inhibition) 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 (disant de faire attention, car il y a un piège dans l'activité) a été incluse dans l'intervention 2 (avec inhibition).

Figure 1. Dispositifs pédagogiques utilisés dans les deux interventions.

a. Dispositif pédagogique pour l'intervention 1 (sans inhibition)



b. Dispositif pédagogique pour l'intervention 2 (avec inhibition)



a. « L'attrape-réponse » est séparé en deux parties. Lors de cette activité, les élèves pigent des cartes sur lesquelles les réponses sont déjà identifiées par un cercle bleu. Le cercle peut être placé vis-à-vis la ligne de jeton, pour indiquer qu'il y a plus de jetons dans celle-ci ou le jeton peut être placé au centre des deux lignes, pour indiquer qu'il y a le même nombre de jetons dans les deux lignes. La première colonne de « l'attrape-réponse » indique une mauvaise réponse choisie et la deuxième indique une bonne réponse choisie. Dans l'exemple, le jeton, représenté par un cercle bleu, est placé sur la ligne du bas, ce qui indique que cette ligne a un plus grand nombre de jetons que celle du haut. Il s'agit d'une mauvaise réponse. L'élève doit donc mettre cette carte dans la colonne des mauvaises réponses. Puis à droite, il y a un jeton entre les deux lignes de jetons, ce qui indique qu'il y en a la même quantité. Il s'agit d'une bonne réponse. L'élève place la carte dans la colonne des bonnes réponses.

b. « L'attrape-piège » est séparé en deux parties. La première partie sert à identifier les pièges par l'élève et la deuxième sert à identifier une situation dans laquelle il n'y a pas de piège. Dans l'exemple présenté, l'élève pige d'abord une carte, puis il analyse celle-ci en se demandant si elle pouvait contenir un piège. Par exemple, pour la carte placée dans la colonne de gauche, l'élève pourrait être tenté de dire qu'il y a le même nombre de jetons dans les deux rangées, puisqu'elles ont la même longueur de la distribution. Cependant, il s'agit d'un piège. Pour trouver la réponse et s'assurer qu'il y a le même nombre de jetons dans les deux ensembles, l'élève doit dénombrer les deux ensembles et ensuite les comparer et non se fier uniquement à l'aspect visuospatial de la tâche de conservation du nombre. Dans ce cas, il dit qu'il s'agit d'un piège et il place la carte dans la colonne de gauche. Puis, pour la carte pigée et placée dans la section de droite, il se pose les mêmes questions. Ici, les deux ensembles ont la même longueur de la distribution et les jetons des deux ensembles peuvent visuellement être associés entre eux. Il n'y a pas de piège. L'élève place la carte à droite.

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, PFEQ) (MELS 2003) qui place le jeu au cœur de la pédagogie préscolaire.

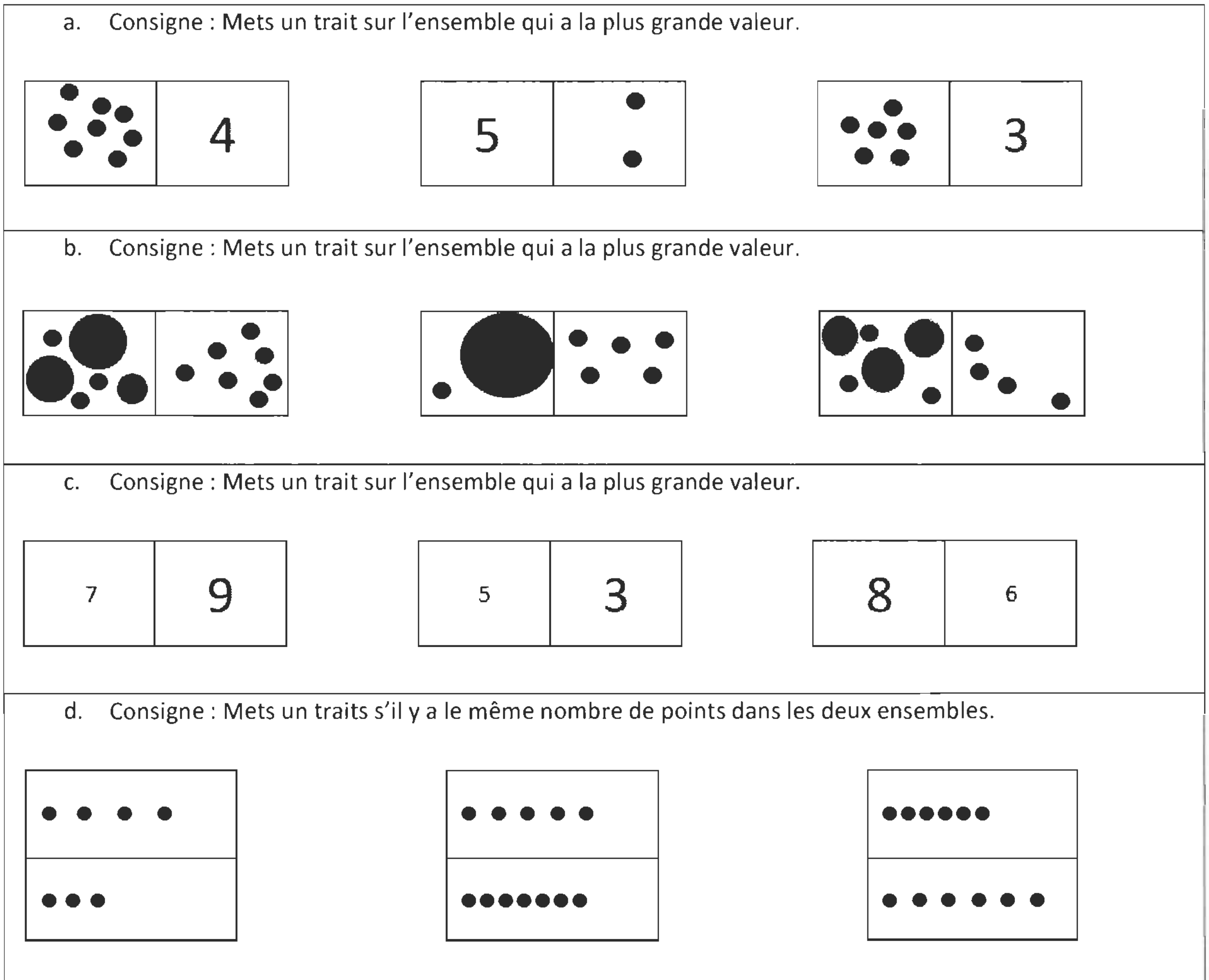
En plus d'être comparées l'une par rapport à l'autre, les deux interventions sont comparées à un enseignement régulier tel que prescrit par le PFEQ. Ce programme offre des orientations générales pour mettre en œuvre différentes activités en lien avec les nombres, sans toutefois préciser quels sont explicitement les apprentissages 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. Ces huit connaissances laissent place à beaucoup d'interprétation de la part des enseignants.

Les interventions se sont déroulées durant les mois d'octobre et novembre pour une durée de cinq semaines. La passation des prétests a eu lieu la semaine précédant la mise en place de l'intervention et la passation des posttests a eu lieu la semaine suivant la fin de l'intervention.

2.3 Instruments

Pour mesurer les deux objectifs visés par cette recherche, nous avons eu recours à différents tests. 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 et al. 2005) ainsi que des tests développés par notre équipe de recherche. 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 élevé des deux nombres, qu'il soit symbolique ou non-symbolique (voir Figure 2, partie a). 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 grosseur des points (partie b), la grosseur des chiffres (partie c) ou la longueur d'une rangée (partie d) pour comparer deux ensembles.

Figure 2. Exemples des tests élaborés par l'équipe de recherche.



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 grosseur des points pour les comparer entre eux. L'exemple « c » permet de mesurer la capacité d'inhiber la grosseur 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.

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 and Ladouceur 1980).

Les huit groupes classes ont été distribués aléatoirement selon le protocole de Solomon. 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 l'inhibition, et quatre groupes ont reçu un enseignement régulier selon le PFÉQ. En plus d'être distribués aléatoirement dans l'une ou l'autre des interventions, les groupes ont été distribués aléatoirement pour la passation ou non des prétests. Ce design de recherche est représenté au Tableau 1.

Tableau 1

Le design des quatre groupes de Solomon

Groupe	Passation prétests	Intervention	Passation posttests
Intervention sans inhibition			
1 Intervention **SANS** inhibition	X	X	X
2 Enseignement régulier	X		X
3 Intervention **SANS** inhibition		X	X
4 Enseignement régulier			X
Intervention avec inhibition			
5 Intervention **AVEC** inhibition	X	X	X
6 Enseignement régulier	X		X
7 Intervention **AVEC** inhibition		X	X
8 Enseignement régulier			X

2.5 Analyses

Les analyses, effectuées à l'aide du logiciel SPSS, visent à déterminer l'impact de l'intervention avec et sans inhibition comparativement à un enseignement régulier, l'impact d'une intervention avec inhibition versus sans inhibition, ainsi que l'effet de la passation du prétest chez les élèves du préscolaire. Pour se faire, nous avons fait 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 deux objectifs de recherche. De plus, l'analyse de l'ANCOVA a permis d'associer une partie de la variance des variables à l'intervention et non aux différents prétests si tel est le cas. La section suivante présente les différents résultats répondant à nos deux 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 : 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 d'évaluer l'hypothèse selon laquelle les groupes ayant vécu l'intervention 1 portant sur les deux premiers prérequis (groupes 1 et 3) ont une différence statistique significative comparativement aux groupes ayant vécu un enseignement régulier (groupes 2 et 4), un test *t* pour échantillon indépendant a été effectué. Il y a une différence statistiquement significative pour les groupes ayant vécu l'intervention ($M = 24.72$, $ÉT = 8.01$) versus les groupes ayant vécu un enseignement régulier ($M = 20.33$, $ÉT = 8.27$) concernant le test du *Numeracy Screener* non symbolique ($t(57) = 2.066$, $p = 0.043$; $\eta^2 = 0.07$). Une différence statistiquement significative a également été démontrée pour les groupes ayant vécu l'intervention ($M = 21.03$, $ÉT = 11.32$) comparativement aux groupes ayant vécu un enseignement régulier ($M = 13.44$, $ÉT = 7.82$) concernant le test du *Numeracy Screener* symbolique ($t(57) = 2.939$, $p = 0.005$; $\eta^2 = 0.13$). Il y a une différence statistiquement significative pour les groupes ayant vécu l'intervention ($M = 2.53$, $ÉT = 0.57$) comparativement aux groupes ayant vécu un enseignement régulier ($M = 2.07$, $ÉT = 0.36$) concernant le test *Tedi-Math* ($t(57) = 3.622$, $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.19$). Également, une différence statistiquement significative a été démontrée pour les groupes ayant vécu l'intervention ($M = 0.82$, $ÉT = 0.23$) comparativement aux groupes ayant vécu l'enseignement régulier ($M = 0.66$, $ÉT = 0.18$) concernant le test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique ($t(57) = -2.801$, $p = 0.007$; $\eta^2 = 0.12$). En terminant, une différence statistiquement significative a été démontrée pour les groupes ayant vécu l'intervention ($M = 5.44$, $ÉT = 2.22$) comparativement aux groupes ayant vécu l'enseignement régulier ($M = 2.25$, $ÉT = 1.96$) concernant les tests nécessitant d'inhiber en contexte numérique ($t(57) = 5.791$, $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.37$).

Puisque les résultats ont démontré des résultats statistiques 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)

		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	$F(1, 30) = 1.258$, $p = 0.271$	$\eta^2 = 0.050$
	Prétest	$F(1, 30) = 14.627$, $p = 0.001$	$\eta^2 = 0.328$
Tedi-Math	Intervention	$F(1, 30) = 2.132$, $p = 0.155$	$\eta^2 = 0.131$
	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	$F(1, 30) = 0.083$, $p = 0.776$	$\eta^2 = 0.000$
	Prétest	$F(1, 30) = 6.320$, $p = 0.017$	$\eta^2 = 0.169$
Tests 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, il y a un effet signifiant de l'intervention sur le test du *Numeracy Screener* non symbolique après avoir contrôlé le prétest ($F(1, 30) = 5.682$, $p = 0.024$; $\eta^2 = 0.159$). Les résultats démontrent également qu'il y a un effet signifiant de l'intervention sur les tests nécessitant d'inhiber en contexte numérique après avoir contrôlé le prétest ($F(1, 30) = 9.257$, $p = 0.005$; $\eta^2 = 0.236$). La force de la relation entre les deux tests à l'étude et l'intervention, telle qu'évaluée par le η^2, a été 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 seront repris lors de la discussion.

3.2 Effets d'une intervention ciblant les deux premiers prérequis ainsi que l'inhibition versus un enseignement régulier

Afin d'observer les différences concernant le groupe ayant vécu l'intervention 2 concernant les deux premiers prérequis et l'inhibition, nous avons procédé aux analyses. Un test-*t* pour échantillon indépendant a été effectué afin d'évaluer l'hypothèse selon laquelle les groupes ayant vécu l'intervention sur les deux premiers prérequis et l'inhibition (groupes 5 et 7) présentent une différence statistique comparativement aux groupes ayant vécu un enseignement régulier (groupes 6 et 8). Il y a une différence statistiquement significative pour les groupes ayant vécu l'intervention avec inhibition ($M = 26.09$, $ÉT = 8.25$) versus ceux ayant vécu un enseignement régulier ($M = 15.91$, $ÉT = 9.05$) concernant le test *Numeracy Screener* non symbolique ($t(65) = 4.816$, $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.26$). Une différence statistiquement significative pour les groupes ayant vécu l'intervention avec inhibition ($M = 2.74$, $ÉT = 0.43$) comparativement à ceux qui ont vécu un enseignement régulier ($M = 2.21$, $ÉT = 0.59$) concernant le test *Tedi-Math* ($t(65) = 4.210$, $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.21$). Une différence statistiquement significative a été remarquée pour les groupes ayant vécu l'intervention ($M = 0.77$, $ÉT = 0.18$) versus ceux ayant reçu un enseignement régulier ($M = 0.65$, $ÉT = 0.19$) concernant le test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique ($t(65) = 2.638$, $p = 0.010$; $\eta^2 = 0.10$). Une dernière différence statistiquement significative a été remarquée pour les groupes ayant reçu l'intervention ($M = 6.23$, $ÉT = 2.21$) versus ceux ayant vécu un enseignement régulier ($M = 2.66$, $ÉT = 2.44$) concernant le test nécessitant d'inhiber en contexte numérique ($t(65) = 6.280$, $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.38$). Cependant, il n'y a pas eu de différence statistiquement significative pour les groupes ayant vécu l'intervention ($M = 20.09$, $ÉT = 8.83$) versus ceux ayant vécu un enseignement régulier ($M = 17.67$, $ÉT = 9.29$), malgré que les moyennes de ceux ayant vécu l'intervention soient plus élevées que ceux ayant vécu l'enseignement régulier, concernant le test du *Numeracy Screener* symbolique ($t(65) = 1.094$, $p = 0.278$).

Suite à 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 l'inhibition (groupe 5) versus ceux ayant vécu un enseignement régulier (groupe 6)

		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	$F(1, 29) = 2.585, p = 0.119$	$\eta^2 = 0.187$
	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	$F(1, 29) = 15.844, p < 0.001$	$\eta^2 = 0.353$
Tests 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, il y a eu un effet significatif de l'intervention sur le test du *Numeracy Screener* non symbolique après avoir contrôlé le prétest ($F(1, 29) = 11.082$, $p = 0.002$; $\eta^2 = 0.276$). Il y a également eu un effet significatif de l'intervention sur le test du *Tedi-Math* après avoir contrôlé le prétest ($F(1, 29) = 18.810$, $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.393$). Un autre effet de l'intervention concernant le test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique a été remarqué après avoir contrôlé l'effet du prétest ($F(1, 29) = 10.660$, $p = 0.003$; $\eta^2 = 0.269$). Un dernier effet de l'intervention a été remarqué une fois le prétest contrôlé, soit celui sur le test nécessitant d'inhiber en contexte numérique ($F(1, 29) = 32.412$, $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.528$).

Aussi, la force de la relation entre quatre tests à l'étude et l'intervention, telle qu'évaluée par le η^2, a été grande (Cohen, 1988). L'intervention explique 28 % de la variance des données du *Numeracy Screener* non symbolique, 39 % des données du *Tedi-Math* et 27 % des données du test du lien entre le nombre symbolique et non symbolique. En terminant, l'intervention explique 53 % des données du test nécessitant d'inhiber en contexte numérique.

3.3 Effets d'une intervention ciblant les deux premiers prérequis ainsi que l'inhibition versus une intervention ciblant seulement les deux premiers prérequis

Afin d'évaluer notre deuxième objectif de recherche, soit l'hypothèse selon laquelle les groupes ayant vécu l'intervention portant sur les deux premiers prérequis et l'enseignement par inhibition (groupes 5 et 7) ont une différence statistique significative comparativement aux groupes ayant vécu l'intervention sur les deux premiers prérequis (groupes 2 et 4), un test-*t* pour échantillon indépendant a été effectué.

Comme présenté au Tableau 4, bien que la plupart des moyennes des groupes ayant vécu l'intervention avec inhibition soient plus élevées que celles de l'intervention sans inhibition, l'écart ne fut pas suffisant pour démontrer un effet statistiquement significatif.

Tableau 4

Résultats obtenus à chacun des tests-t pour les groupes ayant vécu une intervention (avec et sans inhibition)

Tests	Type intervention	*N*	*M*	*ÉT*	F_{Levene}	Test *t*
Numeracy Screener non symbolique	AVEC inhibition	34	2.09	8.25	$F_{Levene} = 0.003$, $p = 0.954$	$t(64) = 0.684$, $p = 0.496$
	SANS inhibition	32	24.72	8.00		
Numeracy Screener symbolique	AVEC inhibition	34	20.09	8.83	$F_{Levene} = 0.976$, $p = 0.327$	$t(64) = -0.379$, $p = 0.706$
	SANS inhibition	32	21.03	11.32		
Tedi-Math	AVEC inhibition	34	2.74	0.434	$F_{Levene} = 0.664$, $p = 0.418$	$t(64) = 1.762$, $p = 0.083$
	SANS inhibition	32	2.53	0.57		
Test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique	AVEC inhibition	34	0.82	0.18	$F_{Levene} = 1.768$, $p = 0.188$	$t(64) = -0.924$, $p = 0.359$
	SANS inhibition	32	0.82	0.23		
Tests nécessitant d'inhiber en contexte numérique	AVEC inhibition	34	6.23	2.21	$F_{Levene} = 0.023$, $p = 0.880$	$t(64) = 1.443$, $p = 0.154$
	SANS inhibition	32	5.44	2.22		

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 inhibition a eu un effet sur différents tests versus l'intervention sans inhibition (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* et ceux du test sur les énoncés contre-intuitifs.

En ce sens, un test-*t* indépendant s'est avéré 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.

Tableau 5

Résultats du test-t concernant le rendement des élèves lors des posttests pour les groupes ayant vécu une intervention sur les deux prérequis avec inhibition versus ceux ayant vécu une intervention sur les deux prérequis sans inhibition concernant les sous-tests du Tedi-Math et du test sur les énoncés contre-intuitifs

	Intervention	*M*	*ÉT*	F_{Levene}	test-*t*	Taille d'effet η^2
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique (petits points versus gros points)	Avec inhibition	8.06	3.61	$F_{levene}(64) = 0.400$, $p = 0.529$	$t(64) = -0.878$, $p = 0.383$	$\eta^2 = 0.01$
	Sans inhibition	7.31	3.28			
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique (petits chiffres versus gros chiffres)	Avec inhibition	7.91	3.76	$F_{levene}(64) = 0.096$, $p = 0.758$	$t(64) = 0.874$, $p = 0.385$	$\eta^2 = 0.01$
	Sans inhibition	7.13	7.13			
Test nécessitant d'inhiber en contexte numérique (conservation du nombre)	Avec inhibition	2.71	1.38	$F_{levene(64)} = 0.062$, $p = 0.804$	$t(64) = -2.438$, $p = 0.018$	$\eta^2 = 0.08$
	Sans inhibition	1.88	1.39			
Tedi-Math (opérations logiques)	Avec inhibition	1.29	0.87	$F_{levene(64)} = 0.067$, $p = 0.796$	$t(64) = -0.405$, $p = 0.687$	$\eta^2 = 0.003$
	Sans inhibition	1.21	1.31			
Tedi-Math (système numérique)	Avec inhibition	7.14	0.87	$F_{levene}(64) = 3.280$, $p = 0.075$	$t(64) = 0.285$, $p = 0.084$	$\eta^2 = 0.001$
	Sans inhibition	6.84	1.31			
Tedi-Math (dénombrement)	Avec inhibition	1.55	0.24	$F_{levene}(64) = 5.308$, $p = 0.024$	$t'(50,768) = 1.789$, $p = 0.084$	$\eta^2 = 0.04$
	Sans inhibition	1.42	0.38			
Tedi-Math (comptage)	Avec inhibition	0.99	0.53	$F_{levene}(64) = 3.226$, $p = 0.077$	$t(64) = -3.050$, $p = 0.03$	$\eta^2 = 0.13$
	Sans inhibition	0.64	0.40			

À la lumière de ces résultats, nous pouvons constater que l'intervention avec inhibition, en plus d'apporter une différence statistiquement significative sur l'ensemble des prérequis à l'étude par rapport à un groupe ayant vécu un enseignement régulier, apporte une différence statistiquement significative concernant l'habileté de comptage et sur l'habileté à conserver le nombre par rapport à l'intervention sans inhibition.

4. Discussion

Les différentes analyses réalisées nous ont permis de répondre à nos deux objectifs de recherche soit : déterminer l'impact de l'intervention avec et sans inhibition comparativement à un enseignement régulier et l'impact d'une intervention avec inhibition versus sans inhibition chez les élèves du préscolaire 5 ans. Puisque nous avons pu observer des différences au niveau de l'ANOVA, nous avons donc pu procéder aux différentes analyses statistiques permettant de répondre à ces deux objectifs de recherche.

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

4.1 Effets de deux interventions (sans et avec inhibition) versus un enseignement régulier

Les analyses des différents tests concernant l'intervention sans et avec inhibition versus un enseignement régulier ont permis de dégager des différences statistiquement significatives concernant l'ensemble des tests mesurant les prérequis à l'étude, à l'exception du test *Numeracy Screener* symbolique qui n'était pas significativement plus élevé pour le groupe avec inhibition comparativement à celui ayant reçu un enseignement régulier. 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 PFEQ; il y aurait donc moins d'écart entre les deux groupes pour ce type d'habiletés.

En comparant les résultats obtenus lors de l'analyse de l'ANCOVA des deux groupes ayant vécu l'intervention (sans et avec inhibition) versus ceux ayant vécu l'enseignement régulier, nous observons de grandes différences statistiques vis-à-vis l'ensemble des tests. Cependant, une fois l'effet du prétest contrôlé, nous dénotons un effet significatif des deux types d'interventions sur le test *Numeracy Screener* non symbolique et sur le test nécessitant d'inhiber en contexte numérique. Ces résultats nous indiquent que les deux types d'intervention travaillent le prérequis du sens du nombre (test du *Numeracy Screener* non symbolique) et le prérequis de la capacité d'inhiber (test nécessitant d'inhiber en contexte numérique).

En résumé, l'indice eta-carré (η^2), qui permet d'apprécier l'importance de l'intervention une fois le prétest contrôlé, est grand dans les deux types d'intervention pour deux des trois prérequis (Cohen 1988). Ainsi, une fois l'effet du prétest contrôlé, l'intervention sans inhibition a permis d'associer 16 % de la variance de la variable pour le test du *Numeracy Screener* non symbolique qui permet de mesurer le prérequis sens des nombres. De son côté, l'intervention avec inhibition a permis d'associer un plus grand pourcentage de la variance de la variable en lien avec ce prérequis, soit 28 %. En ce qui concerne le prérequis du contrôle cognitif, soit l'inhibition, l'analyse de covariance de l'intervention sans inhibition a permis de dégager 24 % de la variance de la variable du test sur les énoncés contre-intuitifs. De son côté, l'intervention avec inhibition a permis de dégager 53 % de la variance de la variable de ce même test.

Cependant, seule l'intervention avec inhibition, une fois l'effet du prétest contrôlé, a permis d'associer une partie de la variance de la variable concernant le prérequis lié au lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique. Ainsi, les résultats démontrent que l'indice eta-carré (η^2) de l'intervention avec inhibition explique 40 % de la variance de la variable pour le test *Tedi-Math* ainsi que 27 % de la variance de la variable pour le test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique. Ces deux tests mesurent la capacité de faire le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique.

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

Afin de valider ces différents constats, une analyse de l'impact de l'intervention avec inhibition versus sans inhibition a eu lieu.

4.2 Effets de l'intervention avec inhibition versus sans inhibition

Dans un premier temps, les tests-*t* des différents tests nous ont permis de constater qu'aucune différence statistique significative n'était présente concernant la comparaison de l'intervention sans inhibition versus celle avec inhibition, et ce, malgré le fait que l'ensemble des moyennes de l'intervention avec inhibition soit généralement plus élevé, mais pas toujours, que celles de l'intervention sans inhibition. En ce sens, nous avons été surpris de constater que la moyenne des groupes ayant vécu l'intervention avec inhibition ($M = 20.09$, $ET = 8.83$) versus l'intervention sans inhibition ($M = 21.03$, $ET = 11.32$) était moins élevée pour le test du *Numeracy Screener* symbolique. Puisque l'intervention a eu lieu au mois d'octobre, nous croyons que cette différence est en partie due à la provenance des élèves fréquentant les classes préscolaires. Selon le Ministère de la Famille et des Aînés (2007), le programme éducatif des services de garde du Québec indique que les enfants doivent développer des habiletés cognitives; que le jeu doit leur permettre d'expérimenter des habiletés telles que le raisonnement, la déduction, l'analogie et la représentation symbolique. Ainsi, les enfants de 4 ans qui proviennent de services de garde ont déjà été mis en contact avec les représentations symboliques des nombres. Puisque nous n'avons pas répertorié le type d'éveil que les élèves ont reçu avant leur entrée au préscolaire, il se pourrait que certains aient plus de connaissances en lien avec les nombres symboliques. Cette analyse va dans le même sens que celle des moyennes obtenues lors du test sur le lien entre le nombre symbolique et non symbolique concernant les deux types d'intervention qui sont identiques ($M = 0.82$). Dans un second temps, il serait donc essentiel de mieux connaitre le type d'éveil que les élèves ont eu avant leur entrée au préscolaire, en vue de porter un regard plus juste sur les résultats.

Pour cette raison, nous avons voulu pousser les analyses plus loin et vérifier s'il y avait des différences en lien avec les sous-tests du *Tedi-Math*, permettant de mesurer l'impact du lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, et du test sur les énoncés contre-intuitifs nécessitant d'inhiber en contexte numérique.

Les résultats démontrent que l'indice eta-carré (η^2) de l'intervention avec inhibition explique 13 % de la variance de la variable pour le sous-test comptage du *Tedi-Math* ainsi que 8 % de la variance de la variable pour le sous-test de la conservation du nombre faisant partie du test nécessitant d'inhiber en contexte numérique. Cet indice eta-carré (η^2) nous indique des tailles d'effet moyennes selon Cohen (1988). Nous croyons que cette différence est due, en grande partie, au fait que l'intervention avec inhibition offerte aux élèves les amène à contrer leurs fausses stratégies (inhibition). Par son dispositif didactique et les alertes émotives, l'intervention avec inhibition permet un enseignement explicite en indiquant clairement les pièges aux élèves, les stratégies à utiliser pour ne pas se faire prendre et l'utilisation d'un matériel didactique approprié pour permettre cet enseignement. Cet enseignement prend appui sur plusieurs recherches (Goldin-Meadow and Wagner 2005; Houdé et al. 2011, Leroux et al. 2009; Lubin et al. 2012).

Bien que ces résultats soient positifs, nous avons tout de même été surpris que l'intervention avec inhibition permette de dégager une différence statistiquement significative en lien avec le sous-test du comptage et non celui du dénombrement; puisque le comptage et le dénombrement sont deux notions liées entre elles (Grégoire and Van Nieuwenhoven 1995). Par contre, bien que surpris de ce constat, celui-ci s'explique en partie par les recherches d'Imbert (2005) et de Camos (2003) qui mettent en évidence le fait 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 » et dans le rôle majeur des ressources cognitives, entres autres l'inhibition. Cette diminution du coût cognitif résulterait d'une meilleure maitrise des sous-composantes du comptage. Par l'entremise des activités portant sur le dénombrement, ces sous-composantes ont été travaillées lors des deux interventions. Toutefois, les pièges ont été identifiés et explicités seulement lors de l'intervention avec inhibition (par exemple : compter à partir d'un nombre donné, compter jusqu'à un nombre donné, compter par borne et compter à rebours). Ainsi, ces résultats confirmeraient l'hypothèse de l'intérêt d'une intervention par inhibition pour développer le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique.

L'intervention par inhibition semble également être nécessaire pour développer la capacité de conserver le nombre. En prenant appui sur la recherche d'Houdé et al. (2011) ayant pour objectif de découvrir les réseaux neurologiques qui permettent à des élèves d'effectuer la tâche de conservation du nombre de Piaget (1952) avec succès, il est possible de mieux comprendre le rôle de l'inhibition dans ce type de tâche. Les résultats de cette recherche confirment que les élèves qui réussissent la tâche activent davantage (que des élèves ne la réussissant pas) des zones cérébrales associées à l'inhibition. En fait, ces résultats corroborent les thèses néo-piagétiennes voulant que les élèves aient besoin d'améliorer leur capacité à inhiber leurs réponses perceptuelles, intuitives et erronées pour acquérir le principe de conservation du nombre (Bjorklund and Harnishfeger 1990; Dempster and Brainerd 1995; Houdé et al. 2011). Ainsi, ce résultat indique que l'enseignement par inhibition permettrait aux élèves de contrer les pièges en lien avec la conservation du nombre.

En somme, l'ensemble de ces résultats répond aux objectifs de notre recherche : un enseignement explicite des trois prérequis en mathématiques (sens des nombres, lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition) accentue l'apprentissage de certaines habiletés de base en mathématiques non seulement versus un enseignement régulier, mais également versus une intervention qui porte uniquement sur les deux premiers prérequis (sens des nombres et le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique).

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 plusieurs prérequis, il s'avère que l'intervention en lien avec ces deux prérequis et l'inhibition semble comporter certains avantages, notamment sur le développement des habiletés de comptage et de conservation du nombre. Par rapport à un enseignement régulier, les deux interventions permettent de développer davantage toutes les habiletés mathématiques de base mesurées par les tests utilisés (la seule exception étant la comparaison de nombres symboliques pour le groupe avec inhibition).

Puisque cette recherche a permis de faire ressortir l'importance d'un enseignement explicite de l'inhibition en plus des deux 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 deuxième objectif de celle-ci. Cette nouvelle étude permettrait de mieux documenter l'impact de l'enseignement de l'inhibition 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.

Références

Ansari, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews Neuroscience, 9*(4), 278-291. doi: 10.1038/nrn2334

Ansari, D., Dhital, B., & 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. doi: 10.1016/j.brainres.2005.10.083

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 : Magnard.

Baroody, A. J., Eiland, M. D., Purpura, D. J., & Reid, E. E. (2012). Fostering at-risk kindergarten children's number sense. *Cognition and Instruction, 30*(4), 435-470. doi: 10.1080/07370008.2012.720152

Baroody, A. J., Eiland, M. D., & Thompson, B. (2009). Fostering at-risk preschoolers number sense. *Early Education and Development, 20*(1), 80-128. doi: 10.1080/10409280802206619

Bégin, G., & Ladouceur, R. (1980). *Protocoles de recherche en sciences appliquées et fondamentales*. St-Hyacinthe, Québec : Edisem.

Bideaud, J., & Lehalle, H. (2002). *Le développement des activités numériques chez l'enfant*. Paris : Hermès science publications.

Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1990). The resources construct in cognitive development: Diverse sources of evidence and a theory of inefficient inhibition. *Developmental Review, 10*(1), 48-71. doi: 10.1016/0273-2297(90)90004-N

Camos, V. (2003). Counting strategies from 5 years to adulthood: Adaptation to structural features. *European Journal of Psychology of Education, 18*(3), 251-265.

Charron, C., Duquesne, F., Marchand, M.-H., & Meljac, C. (2001). L'évaluation des conduites numériques des enfants en grande difficulté. In A. Van Hout & C. Meljac (Eds), *Les troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 336-346). Paris : Masson.

Clark, C. A. C., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology, 46*(5), 1176-1191. doi: 10.1037/a001967

Clements, D. H. (2007). Curriculum research: Toward a framework for "research-based curricula." *Journal for Research in Mathematics Education, 38*, 35-70.

Clements, D. H., & Sarama, J. (2008). Experimental evaluation of the effects of a research-based preschool mathematics curriculum. *American Educational Research Journal, 45*(2), 443-494. doi: 10.3102/0002831207312908

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: Erlbaum Associates.

Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics* (Rev. and updated ed.). New York, NY: Oxford University Press.

Dempster, F. N., & Brainerd, C. J. (1995). *New perspectives on interference and inhibition in cognition*. New York, NY: Academic Press.

Deshaies, I., Miron, J.-M., & 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., & Masson, S. (soumis). *Intervenir en mathématiques au préscolaire avec une visée neuroéducative : l'état des lieux*.

De Vriendt S., & Van Nieuwenhoven C. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : pistes de diagnostic et supports d'intervention*. Marseille : Solal.

Fuchs, L. S., & Fuchs, D. (2005). Enhancing mathematical problem solving for students with disabilities. *The Journal of Special Education, 39*, 45–57.

Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition, 44*(1), 43-74. doi: 10.1016/0010-0277(92)90050-R

García Coll, C., Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C. et al. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology, 43*(6), 1428-1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428

Geary, D. C., Hoard, M. K., & Bailey, D. H. (2012). Fact retrieval deficits in low achieving children and children with mathematical learning disability. *Journal of Learning Disabilities, 45*, 291-307. doi: 10.1177/0022219410392046

Gelman, R. (1978). Counting in the preschooler: What does and does not develop? In R. S Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 213-241). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Gersten, R., Jordan, N. C., & Flojo, J. R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities, 38*(4), 293-304.

Goldin-Meadow, S., & Wagner, S. M. (2005). How our hands help us learn. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(5), 234-241.

Grégoire, J., & 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.

Griffin, S. (2004). Building number sense with number worlds: A mathematics program for young children. *Early Childhood Research Quarterly, 19*(1), 173-180. doi: 10.1016/j.ecresq.2004.01.012

Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoe, C. et al. (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. doi: 10.1016/j.jecp.2011.04.008

Imbert, D. (2005). *Pluralité des voies d'acquisition du comptage, ressources cognitives et acquisitions numériques* (Thèse de doctorat inédite). Nantes, FRANCE

Kaufman, E. L., Lord, M., Reese, T., & Volkmann, J. (1949). The discrimination of visual number. *The American Journal of Psychology, 62*(4), 498-525.

Koontz, K. L., & Berch, D. B. (1996). Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children. *Mathematical Cognition, 2*(1), 1-23.

Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition, 93*(2), 99-125. doi: 10.1016/j.cognition.2003.11.004

Leroux, G., Spiess, J., Zago, L., Rossi, S., Lubin, A., Turbelin, M.-R., . . . Joliot, M. (2009). Adult brains don't fully overcome biases that lead to incorrect performance during cognitive development: An fMRI study in young adults completing a piaget-like task. *Developmental Science, 12*(2), 326-338. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00785.x

Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A., & 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. *Neuroeducation, 1*(1), 55-84.

MELS. (2003). *Programme de formation à l'école québécoise. Éducation préscolaire. Enseignement primaire*. Repéré à http://www1.education.gouv.qc.ca/sections/programmeFormation/primaire/pdf/prform2001/prform2001-040.pdf.

Ministère de la Famille et des Aînés. (2007). *Accueillir la petite enfance, le programme éducatif des services de garde du Québec, mise à jour.* Repéré à https://www.mfa.gouv.qc.ca/fr/publication/Documents/programme_educatif.pdf. Québec : Direction des relations publiques et des communications.

Mussolin, C., Mejias, S., & Noël, M.-P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition, 115*(1), 10-25. doi: 10.1016/j.cognition.2009.10.006

Noël, M.-P. (2005). *La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant*. Marseille : Éditions Solal.

Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B., & 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. doi: 10.1371/journal.pone.0067918

Piaget, J. (1952). Autobiography. In E. Boring (Ed.), *History of psychology in autobiography. Vol. 4*. Worcester, MA: Clark University Press.

Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., . . . Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition, 116*(1), 33-41. doi: 10.1016/j.cognition.2010.03.012

Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron, 44*(3), 547-555. doi: doi.org/10.1016/j.neuron.2004.10.014

Potvin, P., & Lapointe, J. R. (2010). *Guide de prévention pour les élèves à risque au primaire*. Repéré à http://www.reussiteeducativeestrie.ca/dynamiques/biblio_ens_prof/Guide-primaire_web.pdf.

Rourke, B. P., & Conway, J. A. (1997). Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning. Perspectives from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning Disabilities, 30*, 34–46.

Rousselle, L., & Noel, 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. doi: 10.1016/j.cognition.2006.01.005

Solomon, R. L. (1949). An extension of control group design. *Psychological Bulletin, 46*(2), 137-150. doi : 10.1037/h006295

Sophian, C. (1998). A developmental perspective on child counting. In C. Donlan (Ed.), *The development of mathematical skills* (pp. 37-46). Hove, England: Psychology Press.

Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2005). *Tedi-Math test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris, Cédex : Les éditions du centre de psychologie appliquée.

Wilson, A., Revkin, S., Cohen, D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions, 2*(1), 19-30.

Discussion générale

Rappelons les objectifs de recherche : 1) mesurer l'impact d'une intervention mathématique pour une clientèle préscolaire qui vise l'acquisition de deux ([1] sens des nombre, [2] lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique) ou trois prérequis ([1] sens des nombre, [2] lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et [3] l'inhibition) comparativement à un enseignement régulier; et 2) comparer l'impact d'un enseignement avec inhibition versus un enseignement sans inhibition.

Afin de répondre aux objectifs de cette recherche, la démarche s'amorce par l'analyse des prérequis essentiels en mathématiques. Le premier article démontre que les recherches permettent de cibler trois prérequis essentiels en mathématiques, soit le sens des nombres, le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition. Bien que ces prérequis fassent partie de la littérature scientifique, ils ne sont pas inclus de façon explicite dans le PFÉQ (MEQ, 2003) et seraient prédicteurs des difficultés d'apprentissage en mathématiques au primaire (Deshaies et al., 2015; García Coll et al., 2007). Ce constat a mené à examiner les programmes ou outils d'intervention offerts en mathématiques au préscolaire permettant de travailler ces prérequis. Le deuxième article met en lumière les programmes ou outils d'intervention disponibles pouvant travailler l'un ou l'autre de ces prérequis. Bien que s'appuyant sur les recherches en neurosciences et en didactique des mathématiques, aucun des programmes répertoriés ne travaille explicitement les trois prérequis. En ce sens, un besoin émerge de cet examen, soit : la création d'une intervention ciblant les trois prérequis. Celle-ci est d'ailleurs détaillée dans la partie introduction de cette thèse. À la suite de la création de cette intervention, nous avons voulu comparer l'impact d'un enseignement avec inhibition versus un enseignement sans inhibition. C'est pour cette raison que deux interventions ont été conçues et mises en place dans quatre classes préscolaires; une sans inhibition et l'autre avec inhibition. Quatre autres classes ont poursuivi leur enseignement régulier et ont permis l'analyse comparative des données. Ainsi, le troisième article fait état de l'analyse des différents résultats répondant à nos deux objectifs de recherche, nommés ici haut. Ces résultats ont démontré que les deux interventions (sans et avec inhibition) ont des effets significatifs comparativement à un enseignement régulier, et ce, même après la prise en compte de l'influence du prétest sur le posttest. Cependant, seule l'intervention avec inhibition, lors de l'analyse de covariance, a permis d'associer une partie de la variance de la variable en lien avec le prérequis du lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique comparativement à l'enseignement régulier. Ainsi, seule l'intervention avec inhibition permettrait d'expliquer une partie de variance de la variable pour ce prérequis, ce qui n'a pas été le cas pour l'intervention sans inhibition.

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

Ces conclusions nous ont amenés à effectuer une analyse de l'impact de l'intervention avec inhibition versus sans inhibition.

L'analyse des résultats, en vue de répondre au deuxième objectif de recherche a permis de mettre en lumière que l'enseignement avec inhibition, contrairement à un enseignement sans inhibition, a permis aux élèves une amélioration au niveau du sous-test comptage de la tâche *Tedi-Math* et du sous-test de la conservation du nombre du test nécessitant d'inhiber en contexte numérique. Ces résultats ouvrent sur de possibles pistes afin de prévenir les difficultés d'apprentissage en mathématiques et des recommandations pédagogiques au niveau du préscolaire 4-5 ans.

D'une part, dans le présent chapitre, il sera question des analyses en lien avec le premier objectif de recherche, puis des retombées issues de celui-ci pour la formation. Ensuite, il sera question du deuxième objectif de cette recherche, puis des retombées issues de celui-ci pour l'intervention et la formation et pour la recherche. En terminant, il sera question des différentes limites liées à cette recherche.

Premier objectif de la recherche

Dans un premier temps, nous voulions observer l'effet des deux interventions (sans et avec inhibition) versus un enseignement régulier en considérant l'acquisition des trois prérequis identifiés préalablement (sens des nombres, le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition).

En examinant l'analyse des différents tests-*t* présentés dans l'article trois, nous pouvons constater que les deux types d'intervention ont eu un effet significatif comparativement à un enseignement régulier.

Comme démontré dans la section analyse du troisième article, les résultats des différents tests concernant les deux types d'intervention (sans et avec inhibition) versus un enseignement régulier ont permis de dégager des différences statistiquement significatives concernant l'ensemble des tests mesurant les prérequis à l'étude. Seule exception, le résultat du test *Numeracy Screener* symbolique n'était pas significativement plus élevé pour le groupe avec inhibition comparativement à celui ayant reçu un enseignement régulier. Bien que surprenante, cette différence amène un questionnement quant aux activités présentes dans l'intervention. Bien que celles-ci soient nombreuses, il serait 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. De plus, comme précisé dans le deuxième article, 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 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 présentés dans le troisième article concernant l'analyse de covariance des deux groupes ayant vécu l'intervention (sans et avec inhibition) versus ceux ayant vécu l'enseignement régulier ont permis d'observer de grandes différences statistiques vis-à-vis l'ensemble des tests. En contrepartie, une fois l'effet du prétest pris en compte, les résultats nous indiquent que les deux types d'intervention amènent des différences significatives concernant le prérequis du sens du nombre (test du *Numeracy Screener* non symbolique) et le prérequis de la capacité d'inhiber (tests nécessitant d'inhiber en contexte numérique).

Cependant, seule l'intervention avec inhibition, une fois l'effet du prétest considéré, a permis d'associer une partie de la variance de la variable concernant le 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 au premier objectif de notre recherche, soit de mesurer l'impact de deux interventions (sans et avec inhibition), ont permis de constater l'impact positif de ces interventions versus un enseignement régulier. En contrepartie, seule l'intervention avec inhibition, une fois l'effet du prétest pris en compte, a permis de dégager des différences significatives concernant les trois prérequis; ce qu'il n'a pas été possible de démontrer par l'intervention sans inhibition. Ces résultats confirment l'idée qu'un enseignement du contrôle cognitif, soit l'inhibition, aurait avantage à être développé dans l'enseignement de la mathématique, et ce, dès le préscolaire.

Retombée pour la formation

Ces résultats nous amènent à faire des recommandations pour la formation. Ceux-ci confirment l'hypothèse de départ de l'importance d'une intervention en mathématiques se basant sur les recherches en didactique des mathématiques et en neurosciences, dans une visée pédagogique s'adressant à une clientèle préscolaire. De plus, les enseignantes participantes à la recherche nous ont mentionné à maintes reprises qu'elles ne savaient pas que certaines notions mathématiques faisaient partie de d'autres (par exemple, l'inclusion numérique dans la compréhension de la cardinalité). Ceci mettrait donc en perspective certaines notions mathématiques présentes dans le cursus scolaire de la formation préscolaire, mais qui ne sont pas nécessairement travaillées explicitement.

De plus, puisque l'intervention se base sur les recherches en neurosciences et que celle-ci a permis de dégager des effets positifs quant aux trois prérequis, il semble important d'outiller les enseignants sur l'apport des neurosciences dans la didactique des mathématiques. Tout comme démontré lors du premier article, par la connaissance et la compréhension des mécanismes d'apprentissage influençant l'apprentissage chez les élèves, le type d'intervention pédagogique pourrait davantage être riche de sens pour eux. Ainsi, par la compréhension du recyclage neuronal, les enseignants auraient une meilleure compréhension de l'importance de valider l'acquisition du sens du nombre chez les élèves, puisqu'ils seraient conscients que le nombre symbolique prend appui sur le sens des nombres. Également, par la compréhension de l'apport du contrôle cognitif (inhibition), les enseignants auraient une meilleure compréhension de l'importance d'enseigner les différents pièges que les élèves peuvent rencontrer lors de leurs apprentissages et de les mettre en garde (alerte émotive). La recherche actuelle démontre la pertinence d'une meilleure compréhension des recherches issues des neurosciences en vue d'un apport considérable dans la façon d'enseigner la didactique des mathématiques.

Deuxième objectif de la recherche

Bien que les résultats relatifs au premier objectif de cette recherche (impact d'une intervention [sans et avec inhibition] versus un enseignement régulier) soient très prometteurs, d'autres analyses étaient nécessaires pour répondre au deuxième objectif de cette recherche (impact d'une intervention avec inhibition versus sans inhibition).

Comme démontré dans l'article trois, nous avons mesuré l'impact d'une intervention ciblant les deux premiers prérequis et l'inhibition versus une intervention ciblant seulement les deux premiers prérequis. Les résultats de ces différentes analyses sont présentés et discutés brièvement dans le troisième article. Ce qui ressort de celles-ci est que la partie comptage du test *Tedi-Math*, qui permet de mesurer le prérequis du lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique, et la partie conservation du nombre du test nécessitant d'inhiber en contexte numérique et qui permet de mesurer la capacité d'inhibition des élèves, se sont avérées statistiquement significatives. Ces résultats nous indiquent qu'un enseignement par inhibition favoriserait davantage l'acquisition du comptage et de la conservation du nombre contrairement à un enseignement sans inhibition.

En ce sens, tout comme discuté brièvement dans l'article trois, la recherche d'Imbert (2005) démontre un lien entre l'habileté de comptage et l'inhibition. Comme le propose également Baroody (Baroody, 1991; Baroody & Price, 1983), il semble que l'interaction entre les habiletés liées à la chaine 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 chaine numérique, c'est-à-dire par des procédures (schéma non efficace). Ainsi, la recherche d'Imbert 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, d'inhibition 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 par inhibition puisse apporter une différence statistiquement significative concernant le sous-test comptage du test *Tedi-Math* n'est pas une surprise en soi, puisque leurs recherches a permis de mettre en évidence que le développement du dénombrement résulterait d'un changement de stratégies concernant la diminution du cout cognitif de la stratégie primitive de dénombrement « un par un » (connaissances procédurales) et dans le rôle majeur des ressources cognitives, entres autres l'inhibition. Ainsi, ces résultats confirmeraient l'hypothèse de l'intérêt d'une intervention par inhibition pour développer le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique.

En contrepartie, tout comme discuté dans l'article trois, l'intervention par inhibition semble également être nécessaire pour favoriser la capacité de conserver le nombre. Pour conserver l'apparence du nombre, les élèves n'ont pas le choix d'inhiber leurs fausses conceptions que la longueur de la distribution influence le nombre, mais bien de dénombrer et de comparer les deux quantités. Ceci va dans le même sens que la recherche d'Houdé et al. (2011) sur la conservation du nombre. Ainsi, ce résultat indique que l'enseignement par inhibition permettrait aux élèves de contrer les pièges en lien avec la conservation du nombre.

Bien que ces deux résultats s'avèrent significatifs, nous sommes tout de même étonnés de la non-signification des résultats en lien avec les deux autres tâches concernant le test 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.

Dans cette section, il sera question de ces deux tests qui se sont révélés statistiquement non significatifs par rapport aux groupes ayant vécu l'intervention sans inhibition.

Test sur la comparaison des ensembles de petits et gros points

Comme explicité dans l'article un de la présente thèse, 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 grosseur des points présentés. Ce test vérifie l'acquisition du sens des nombres chez les élèves. Puisque comme 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, ce sens serait présent chez les élèves lors de leur entrée au préscolaire. De plus, comme mentionné dans le programme de formation quatre ans (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 reconnaitre 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.

Les activités incluses dans l'intervention travaillent les différents prérequis. Comme mentionné précédemment, cinq activités étaient en lien avec le sens des nombres et 15 en lien avec la relation entre le sens des nombres et le nombre symbolique. Ces activités ont amené les élèves à faire des liens entre ces deux prérequis et à observer les différents pièges possibles. Bien que l'intervention sans inhibition n'enseigne pas de façon explicite les pièges à contrer, les élèves devaient tout de même classer les bonnes et mauvaises réponses dans deux ensembles. Ce qui les amenait, probablement et implicitement, à détecter les pièges et à se trouver des stratégies pour ne pas s'y faire prendre. De plus, puisque ces activités se vivaient en grand groupe la plupart du temps et avec l'aide de l'enseignante, il se pourrait que celle-ci ait enseigné, de façon implicite, les différents pièges liés à la comparaison d'ensemble non symbolique même si ceux-ci n'étaient pas détaillés dans le guide.

Test sur la comparaison de petits et gros chiffres

Comme mentionné lors du premier article, 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, 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). C'est probablement pour cette raison que les élèves avaient 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 (n de +). Ainsi, le symbolisme n'est pas perçu comme le représentant du nombre, mais comme un chiffre; un ordre de grandeur.

De plus, comme vues précédemment, les habiletés liées au comptage aident en grande partie à construire le nombre symbolique. En fait, comme mentionné lors du premier article, 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, comme présentée lors du premier article, 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.

En somme, les élèves de 5 ans n'ont probablement 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 inhibition n'a pas eue un effet statistiquement significatif comparativement au groupe ayant vécu l'intervention sans inhibition. 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 inhibition lors de tâche de comparaison de nombres de différentes grandeurs.

Retombées pour l'intervention et la formation

Bien que certains tests n'aient pas eu les effets prévus, il n'en demeure pas moins que cette recherche laisse entrevoir de nombreuses retombées quant à l'intervention et la formation. Dans cette section, il sera question de la prévention des difficultés d'apprentissage en mathématiques qui, comme démontré dans la section introduction, est une grande préoccupation de notre part ainsi que de la maternelle 4 ans. Nous situons notre propos dans un contexte québécois, celui où notre intervention s'est déroulée.

Prévention des difficultés d'apprentissage

Comme mentionné lors de la partie introductive de cette recherche, 6 à 7 % des élèves d'âge scolaire éprouvent de grandes difficultés en mathématiques (Charron et al., 2001; De Vriendt & Van Nieuwenhoven, 2010; Fuchs & Fuchs, 2005). Parmi ces difficultés, nous retrouvons des procédures mathématiques comme la lecture des nombres, la comparaison des nombres, la récitation d'une séquence de nombres et le dénombrement (Landerl et al., 2004), de même que dans les tâches qui requièrent la manipulation de quantités de nombres (Rousselle & Noel, 2007) et la subitisation de petites quantités numériques (Koontz & Berch, 1996). Puisque notre intervention se base sur les recherches en neurosciences et en didactique des mathématiques, toutes ces notions, plus difficiles pour certains élèves, sont travaillées à l'intérieur de celle-ci. De plus, puisque ces notions sont travaillées explicitement en mentionnant les différents pièges possibles (inhibition), l'intervention permet aux élèves d'acquérir le principe de comptage qui est présent dans les tâches de lecture des nombres, de comparaison des nombres, de dénombrement, ainsi que lors de la subitisation conceptuelle. Également, l'intervention avec inhibition amène les élèves à conserver les quantités, peu importe leur apparence, ce qui est nécessaire lors de plusieurs tâches de comparaison ou de dénombrement d'ensembles et qui aide à la construction du concept du nombre (Gelman & Gallistel, 1978).

En somme, les résultats de cette recherche permettent de mettre en avant-plan les prérequis mathématiques essentiels (sens des nombres, lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition) comme notions à privilégier en vue d'une prévention des difficultés scolaires des élèves. Ces notions devraient, selon nous, être incluses explicitement dans le programme de formation. Bien que le lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique soit présent dans le PFÉQ, les enseignantes participantes à la recherche nous ont clairement exprimés qu'elles ne savaient pas que l'ensemble des notions présentes dans l'intervention faisait partie des huit connaissances à développer dans le PFÉQ. Elles mentionnaient également qu'elles faisaient beaucoup d'activités de dénombrement, mais pas nécessairement d'activités permettant de développer le dénombrement. Entre autres, les enseignantes ont mentionné qu'elles ne savaient pas que la subitisation conceptuelle permettait de travailler les stratégies de comptage (Clements, 1999) et que lors des activités de dénombrement, elles devaient faire le lien avec l'inclusion numérique des nombres (Brissiaud, 2003).

Maternelle 4 ans et service de garde

Une autre retombée possible de cette recherche est de mieux outiller les intervenants des maternelles 4 ans et des services de garde quant à l'importance des premiers apprentissages en mathématiques. Selon le ministère de la Famille et des Aînés (2007), le programme éducatif des services de garde du Québec indique que les enfants doivent développer des habiletés cognitives; que le jeu doit leurs permettre d'expérimenter et de développer des habiletés telles que le raisonnement, la déduction, l'analogie et la représentation symbolique. Ainsi, les enfants de 4 ans qui proviennent de services de garde éducatifs à l'enfance devraient déjà avoir été mis en contact avec les représentations symboliques des nombres. Cependant, comme le démontrent les différents résultats de cette recherche, notamment ceux en lien avec le sens des nombres et le nombre symbolique, ces apprentissages ne seraient pas consolidés pour tous et gagneraient à être mieux détaillés dans le programme. De plus, sachant que le nombre symbolique prend assise sur le sens des nombres (Deshaies et al., 2015), il serait d'autant plus pertinent que celui-ci soit travaillé chez les enfants de 4 ans et surtout, que ce sens des nombres ait du sens pour eux. Pour bien comprendre le nombre, l'enfant doit être capable de faire des liens entre ces deux représentations et comme le démontrent les recherches de Gelman et Gallistel (1986), en comprendre les différents principes. Ainsi, ce n'est pas parce qu'un enfant est capable de réciter la comptine numérique qu'il est nécessairement capable de dénombrer une collection et d'en associer sa cardinalité. En ce sens, il serait fort intéressant que le programme de maternelle 4 ans et des services de garde indiquent l'importance de travailler le sens des nombres ainsi que la subitisation, puisque, comme l'a démontré Meljac et al. (1991), ce type d'activité permet de mieux comprendre les stratégies de comptage qui sont en lien avec la prévention des difficultés d'apprentissage des élèves, comme démontré précédemment. De plus, de travailler explicitement le l'effet de la distance numérique (EDN) et l'effet du rapport numérique (ERN) du sens des nombres aiderait les enfants à mieux contrer leurs stratégies visuospatiales et à se concentrer sur la cardinalité des ensembles puis sur la comparaison de ces nombres et non sur l'apparence de la collection.

Retombées pour la recherche

En somme, cette recherche doctorale a permis de mettre en lumière les liens possibles entre la didactique des mathématiques et les neurosciences. En créant une intervention se basant sur la didactique des mathématiques et en incluant les principes pédagogiques issus des neurosciences dont l'enseignement du contrôle cognitif (inhibition), nous croyons avoir contribué à identifier des interventions favorisant l'acquisition des prérequis (le sens des nombres, le lien entre ce sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition). De plus, tout comme le précisent Blakey et Carroll (2015), le contrôle inhibiteur est une fonction exécutive qui se développe rapidement durant la période préscolaire de l'élève. Comme le mentionnent Bull, Espy et Wiebe (2008), le contrôle inhibiteur supporte les élèves du préscolaire dans leurs différents apprentissages mathématiques, puisqu'il leur permet d'éviter les mauvaises conceptions/stratégies qui ne sont pas en lien avec la tâche proposée. En fait, le contrôle cognitif est une fonction exécutive essentielle aux différents apprentissages mathématiques et qui, par une intervention appropriée, s'acquière facilement chez les élèves du préscolaire.

Ces résultats pourraient ouvrir une porte sur le rôle de l'inhibition dans un contexte de classe favorisant l'acquisition conceptuelle des différentes notions et non procédurale

(Imbert, 2005). En ce sens, il serait intéressant de poursuivre le questionnement à savoir si les apprentissages faits lors de l'intervention demeurent dans le temps et si ceux-ci sont assez ancrés chez les élèves pour être réutilisés lors de nouvelles tâches nécessitant de contrer des pièges.

Bien que cette étude ait des implications certaines pour la recherche, la formation et l'intervention, elle comporte toutefois certaines limites qui doivent être précisées.

Limites de la recherche

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

Tout d'abord, cette recherche comporte des limites au plan méthodologique. En effet, 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 de l'inhibition 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 inhibition. Pour ce faire, il serait pertinent de remplacer les quatre groupes ayant reçu l'enseignement régulier par deux groupes recevant l'intervention sans inhibition et deux autres, l'intervention avec inhibition.

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 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. De plus, puisque la plupart de celles-ci ne se vivaient qu'une seule fois, les élèves n'avaient pas le temps de se familiariser avec chacune d'elle et ainsi devenir autonomes dans leur démarche. Également, ceci a créé un problème au niveau du matériel disponible. Chaque enfant vivait les activités en groupe de quatre durant 15 minutes, mais il n'y avait qu'un ensemble de jeux. Dans le contexte de classe, l'activité n'a pas duré que 15 minutes, mais une heure ou une heure trente afin que tous les élèves la vivent. Dans une deuxième mise à l'essai de cette intervention, le matériel disponible dans la trousse devra être un point à considérer.

Ainsi, faire vivre l'intervention plus tard dans l'année scolaire (débuter celle-ci au mois de janvier par exemple) et l'échelonner sur un plus grand nombre de semaines afin de vivre les mêmes activités plus d'une fois (environ 10 semaines) faciliterait probablement son implantation. De plus, prévoir plusieurs ensembles des mêmes jeux dans la trousse afin de permettre à un plus grand nombre d'élèves de vivre les activités en même temps diminuerait le temps consacré à l'intervention pour l'ensemble du groupe et par le fait même, faciliterait probablement également son implantation.

Conclusion

Cette thèse avait comme objectif 1) de mesurer l'impact d'un programme mathématique (avec et sans inhibition) pour une clientèle préscolaire qui vise l'acquisition de ces prérequis comparativement à un enseignement régulier; et de 2) comparer l'impact d'un enseignement par inhibition versus un enseignement sans inhibition. L'analyse des résultats a permis de démontrer les effets positifs liés à l'intervention. L'une des conclusions pouvant être tirées des résultats obtenus est l'effet d'un enseignement par inhibition en mathématiques chez les élèves du préscolaire; car l'intervention comporte des éléments qui contribuent à une meilleure prévention des difficultés d'apprentissage en mathématiques.

La mise en place de l'intervention permet une meilleure compréhension des prérequis essentiels en mathématiques (sens des nombres, lien entre le sens des nombres et le nombre symbolique et l'inhibition) chez les enseignants du préscolaire. Celle-ci permet également une meilleure compréhension des connaissances prescrites dans le PFÉQ. De plus, comme le démontrent les résultats, il est tout à gagner d'inclure un enseignement par inhibition dans le contexte de classe actuel.

En terminant, il serait fort intéressant de questionner l'impact d'un enseignement par inhibition pour l'ensemble des mathématiques aux cycles primaires en vue de contrer les pièges courants; pensons entres autres aux termes manquants ou aux fractions. De plus, il serait intéressant de valider l'effet de ce type d'enseignement dans les autres domaines d'apprentissage.

En somme, ce projet de thèse trace une voie positive pour un ajustement des notions à enseigner au préscolaire 4 et 5 ans et permet une meilleure compréhension des prérequis essentiels ainsi que leur application dans un contexte de classe. De plus, la convergence d'éléments didactiques, psychopédagogiques et neuropsychologiques ouvre une voie prometteuse tant pour la recherche que pour la formation et l'intervention.

Références

Andersson, U., & Lyxell, B. (2007). Working memory deficit in children with mathematical difficulties: A general or specific deficit? *Journal of Experimental Child Psychology, 96*(3), 197-228. doi: 10.1016/j.jecp.2006.10.001

Ansari, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews. Neuroscience, 9*(4), 278-291. doi: 10.1038/nrn2334

Baroody, A. J. (1987). *Children's mathematical thinking. A developmental framework for preschool, primary, and special education teachers.*

Baroody, A. J. (1991). Procédures et principes de comptage : leur développement avant l'école. Dans J. Bideaud, C. Meljac, & J.-P. Fischer, (Éds), *Les chemins du nombre* (pp. 133-158). Lille : Presses universitaires de Lille.

Baroody, A. J., Eiland, M. D., Purpura, D. J., & Reid, E. E. (2012). Fostering at-risk kindergarten children's number sense. *Cognition and Instruction, 30*(4), 435-470. doi: 10.1080/07370008.2012.720152

Baroody, A. J., Eiland, M. D., & Thompson, B. (2009). Fostering at-risk preschoolers number sense. *Early Education and Development, 20*(1), 80-128. doi: 10.1080/10409280802206619

Baroody, A. J., & Price, J. (1983). The development of the number-word sequence in the counting of three-year-of ages. *Journal for Research in Mathematics Education, 14*, 361-368.

Bégin, G., & Ladouceur, R. (1980). *Protocoles de recherche en sciences appliquées et fondamentales.* St-Hyacinthe, Québec : Edisem.

Bernoussi, M. (2002). Contraintes mnésiques et développementales dans la connaissance des faits arithmétiques. Dans J. Bideaud & H. Le Halle (Éds), *Le développement des activités numériques chez l'enfant* (pp. 175-194). Paris : Hermès.

Bideaud, J., Lehalle, H., & Vilette, B. (2004). *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant.* Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion.

Bilsky, L. H., & Judd, T. (1986). Sources of difficulty in the solution of verbal arithmetic problems by mentally retarded and nonretarded individuals. *American Journal of Mental Deficiency, 90*, 395-402.

Blakey, E., & Carroll, D. J. (2015). A short executive function training program improves preschoolers' working memory. *Frontiers in Psychology, 6*. Repéré à http://orca.cf.ac.uk/84460/1/Blakey%20%26%20Carroll%20%282015%29.pdf. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01827

Bliss, T. V. P., & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *The Journal of Physiology, 232*(2), 331-356. doi: 10.1113/jphysiol.1973.sp010273

Born, J., Rasch, B., & Gais, S. (2006). Sleep to remember. *The Neuroscientist, 12*(5), 410-424.

Brault Foisy, L.-M., Myre-Bisaillon, J., Riopel, M., & Masson, S. (2015). Apprentissages scolaires difficiles, recyclage neuronal et pratiques d'enseignement : le cas de l'identification des mots écrits. *A.N.A.E., 27*, 31-38.

Brink, P. J., & Wood, M. J. (1989). *Advanced design in nursing research.* Newbury Park: Sage Publications.

Brissiaud, R. (2003). *Comment les enfants apprennent à compter*. Paris: Éditions Retz.

Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental neuropsychology*, *33*(3), 205-228.

Bull, R. & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology, 19*(3), 273-293. doi: 10.1207/S15326942DN1903_3

Bull, R., Johnston, R., & Roy, J. (1999). Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology, 15*(3), 421-442. doi: 10.1080/87565649909540759

Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 46*(1), 3-18. doi: 10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x

Butterworth, B., & Dehaene, S. (1999). *The mathematical brain* (Vol. 2). London, UK: Macmillan.

Camos, V. (2003). Coordination process in counting. *International Journal of Psychology, 38*(1), 24-36.

Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J., & Pelphrey, K. A. (2006). Functional imaging of numerical processing in adults and 4-y-old children. *PLoS Biology, 4*(5), e125.

Carpenter, T. P., & Moser, J. M. (1984). The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one through three. *Journal for Research in Mathematics Education, 15*, 179-202.

Carpenter, T. P., Hiebert, J., & Moser, J. M. (1981). Problem structure and first-grade children's initial solution processes for simple addition and subtraction problems. *Journal for Research in Mathematics Education, 12*, 27-39.

Charron, C., Duquesne, F., Marchand, M.-H., & Meljac, C. (2001). L'évaluation des conduites numériques des enfants en grande difficulté. Dans A. Van Hout & C. Meljac (Éds), *Les troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 336-346). Paris : Masson.

Chein, J. M., & Schneider, W. (2005). Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain-general control network for learning. *Cognitive Brain Research, 25*(3), 607-623.

Chevallard, Y. (1989). *Pourquoi enseigne-t-on les mathématiques?* Communication présentée à Actes du colloque « Finalités des enseignements scientifique ». Marseille, 10-12 janvier 1989.

Chiss, J.-L., & Boyzon-Fradet, D. (1997). *Enseigner le français en classes hétérogènes. École et immigration.* Paris : Nathan.

Clark, C. A. C., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology, 46*(5), 1176-1191. doi: 10.1037/a001967

Clements, D. H. (1999). Subitizing: What is it? Why teach it? *Teaching Children Mathematics, 5*, 400-405.

Clements, D. H., & Sarama, J. (2008). Experimental evaluation of the effects of a research-based preschool mathematics curriculum. *American Educational Research Journal, 45*(2), 443-494. doi: 10.3102/0002831207312908

Clements, D. H., Sarama, J., & DiBiase, A.-M. (Éds). (2004). *Engaging young children in mathematics: Standards for early childhood mathematics*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Clements, D. H., Sarama, J., Wolfe, C. B., & 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. doi: 10.3102/0002831212469270

Conderman, G., Jung, M., & Hartman, P. (2014). Subitizing and early mathematics standards: A winning combination. *Kappa Delta Pi Record, 50*(1), 18-23.

David, C. (2015). Béhaviorisme vs connectivisme : l'apport des environnements informatiques pour l'apprentissage humain dans l'hexagone. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/278619628_Behaviorisme_vs_connectivisme_L%27apport_des_environnements_informatiques_pour_l%27apprentissage_humain_dans_l%27hexagone.

De Smedt, B., Noël, M.-P., Gilmore, C., & 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. doi: 10.1016/j.tine.2013.06.001

De Smedt, B., Verschaffel, L., & Ghesquiere, P. (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*(4), 469-479. doi: 10.1016/j.jecp.2009.01.010

De Vriendt, S., & Van Nieuwenhoven, C. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : pistes de diagnostic et supports d'intervention*. Marseille, Paris : Solal.

Deblois, L. (2006). Influence des interprétations des productions des élèves sur les stratégies d'intervention en classe de mathématiques. *Educational Studies in Mathematics, 62*(3), 307-329.

Dehaene, S. (2005). Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The "neuronal recycling" hypothesis. Dans S. Dehaene, J.-R. Duhamel, M. D. Hauser, & G. M. Rizzolatti (Éds), *From monkey brain to human brain* (pp. 133-157). Cambridge, MA: MIT Press.

Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics* (Rev. and updated ed.). New York, NY: Oxford University Press.

Dehaene, S. (2012). *Les grands principes de l'apprentissage*. Repéré à http://www.college-de-france.fr/media/stanislas-dehaene/UPL4296315902912348282_Dehaene_GrandsPrincipesDeLApprentissage_CollegeDeFrance2012.pdf

Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron, 56*(2), 384-398. doi: 10.1016/j.neuron.2007.10.004

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology, 20*(3), 487-506. doi: 10.1080/02643290244000239

Deshaies, I., Miron, J.-M., & Masson, S. (2015). Comprendre le cerveau des élèves pour mieux les préparer aux apprentissages en arithmétique dès le préscolaire. *A.N.A.E.,* (134), 39-45.

Diester, I., Nieder, A., & Dehaene, S. (2007). Semantic associations between signs and numerical categories in the prefrontal cortex. *PLoS Biology, 5*(11). doi: 10.1371/journal.pbio.0050294

Dionne, J. (2007). L'enseignement des mathématiques face aux défis de l'école au Québec : Une cohérence à vivre dans une nécessaire cohésion. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, 7*(1), 6-27. doi: 10.1080/14926150709556717

Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., ... Brooks-Gunn, J. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology, 43*(6), 1428-1446.

Fain, J. A. (2013). *Reading, understanding, and applying nursing research*. Philadelphia, PE: F.A. Davis Co.

Fayol, M. (1991). Du nombre à son utilisation : la résolution de problèmes additifs. Dans J. Bideaud, Meljac, C., & J.-P. Fisher (Éds), *Les chemins du nombre* (pp. 259-270). Lille, France : Les Presses universitaires de Lille.

Fayol, M. (2008). *L'acquisition de l'arithmétique élémentaire.* Repéré à http://ame67.com/resources/documents_theoriques/lacquisition_de_larithmetique_Fayol.pdf

Fayol, M. (2012). *L'acquisition du nombre* (1re éd.). Paris : Les Presses universitaires de France.

Fischer, J.-P., & Charron, C. (2009). Une étude de la dyscalculie à l'âge adulte. *Economie et statistique, 424*(1), 87-101.

Fuchs, L. S., & Fuchs, D. (2005). Enhancing mathematical problem solving for students with disabilities. *The Journal of Special Education, 39*(1), 45-57.

Fuson, K. (1991). Relations entre comptage et cardinalité chez les enfants de 2 à 8 ans. Dans J. Bideaud, C. Meljac, & J.-P. Fisher (Éds), *Les chemins du nombre* (pp. 159-179). Lille : Les Presses universitaires de Lille.

García Coll, C., Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., ... Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology, 43*(6), 1428-1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428

Geake, J., & Cooper, P. (2003). Cognitive neuroscience: Implications for education? *Westminster Studies in Education, 26*(1), 7-20.

Geary, D. C., Hamson, C.O, & 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.

Geary, D. C., Hoard, M. K., & 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. doi: 10.1177/0022219410392046

Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., Bailey, D. H., & Krueger, F. (2013). Adolescents' functional numeracy is predicted by their school entry number system knowledge. *PLoS ONE, 8*(1), e54651. doi: 10.1371/journal.pone.0054651

Gelman, R. (1972). The nature and development of early number concepts. *Advances in Child Development and Behavior, 7*, 115-167.

Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1986). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Gelman, R., & Meck, E. (1983). Preschoolers' counting: Principles before skill. *Cognition, 13*(3), 343-359. doi: 10.1016/0010-0277(83)90014-8

Gersten, R., Jordan, N. C., & Flojo, J. R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities, 38*(4), 293-304.

Ginsburg, H. P., Lin, C.-I., Ness, D., & Seo, K.-H. (2003). Young American and Chinese children's everyday mathematical activity. *Mathematical Thinking and Learning, 5*(4), 235-258.

Giroux, J. (2013). Étude des rapports enseignement/apprentissage des mathématiques dans le contexte de l'adaptation scolaire : problématique et repères didactiques. *Education & didactique, 7*(1), 59-86.

Goldin-Meadow, S., & Wagner, S. M. (2005). How our hands help us learn. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(5), 234-241.

Goswami, U. (2008). Principles of learning, implications for teaching: A cognitive neuroscience perspective. *Journal of Philosophy of Education, 42*, 381-399. doi: 10.1111/j.1467-9752.2008.00639.x

Graesser, A. C., Lubin, A., Vidal, J., Lanoë, C., Houdé, O., & 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. doi: 10.1037/a0032625

Griffin, S. (2004a). Building number sense with number worlds: A mathematics program for young children. *Early Childhood Research Quarterly, 19*(1), 173-180. doi: 10.1016/j.ecresq.2004.01.012

Hebb, D. D. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. New York: J. Wiley.

Houdé, O. (2014). *Apprendre à résister*. Paris : Éditions Le Pommier.

Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoe, 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. doi: 10.1016/j.jecp.2011.04.008

Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & 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. doi: 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.

Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S., & Gilmore, C. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: But only in children. *Psychonomic Bulletin and Review, 18*(6), 1222-1229. doi: 10.3758/s13423-011-0154-1

Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., & Ramineni, C. (2007). Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice, 22*(1), 36-46.

Klein, J. S., & 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.

Kolkman, M. E., Kroesbergen , E. H., & Leseman, P. P. M. (2013). Numerical development and the role of non-symbolic and symbolic skills. *Learning and Instruction, 25*, 95-103.

Koontz, K. L., & Berch, D. B. (1996). Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children. *Mathematical Cognition, 2*(1), 1-23.

Kroesbergen, E., Van Luit, J., Van Lieshout, E., Van Loosbroek, E., & Van de Rijt, B. (2009). Individual differences in early numeracy the role of executive functions and subitizing. *Journal of Psychoeducational Assessment, 27*(3), 226-236.

Kyttala, M. (2008). Visuospatial working memory in adolescents with poor performance in mathematics: Variation depending on reading skills. *Educational Psychology, 28*(3), 273-289. doi: 10.1080/01443410701532305

Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition, 93*(2), 99-125. doi: 10.1016/j.cognition.2003.11.004

Lépine, R., Camos, V., & Barrouillet, P. (2003). Différences individuelles chez l'enfant. Mémoire de travail et attention contrôlée. Dans A. Vom Hofe, H. Charvin, J. L. Bernaud, & D. Guedon (Éds), *Psychologie differentielle : recherches et réflexions* (pp. 227-231). Rennes : Presses universitaires de Rennes.

Leroux, G., Spiess, J., Zago, L., Rossi, S., Lubin, A., Turbelin, M.-R., ... Joliot, M. (2009). Adult brains don't fully overcome biases that lead to incorrect performance during cognitive development: An fMRI Study in young adults completing a Piaget-like task. *Developmental Science, 12*(2), 326-338. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00785.x

Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A., & 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. *Neuroeducation, 1*(1), 55-84.

Masson, S., & Brault Foisy, L.-M. (2014). Fundamental concepts bridging education and the brain. *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill, 49*(2), 501-512.

McDaniel, M. A., & Masson, M. E. (1985). Altering memory representations through retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 11*(2), 371-385.

McDaniel, M., Anderson, J., Derbish, M., & Morrissette, N. (2007). Testing the testing effect in the classroom. *European Journal of Cognitive Psychology, 19*(4-5), 494-513. doi: 10.1080/09541440701326154

McGahee, T. W., & 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.

McGaugh, J. L. (2000). Memory-a century of consolidation. *Science, 287*(5451), 248-251.

McLaughlin, F. E., & Marascuilo, L. A. (1990). *Advanced nursing and health care research : Quantification approaches*. Philadelphia, MA: WB Saunders Company.

McLean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology, 74*(3), 240-260. doi: 10.1006/jecp.1999.2516

Meljac, C., Fischer, J.-P., & Bideaud, J. (1991). *Les Chemins du nombre*. Lille : Presses universitaires du Septentrion.

MELS. (2003). *Programme de formation à l'école québécoise. Éducation préscolaire. Enseignement primaire.* Repéré à http://www1.education.gouv.qc.ca/sections/programmeFormation/primaire/pdf/prform2001/prform2001-040.pdf

MELS. (2013). Projet de programme d'éducation préscolaire; maternelle 4 ans à temps plein en milieu défavorisé. Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/formation_jeunes/maternelle_4.pdf

MEQ. (2003). *Les difficultés d'apprentissage à l'école. Cadre de référence pour guider l'intervention.* Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/references/publications/resultats-de-la-recherche/detail/article/les-difficultes-dapprentissage-a-lecole-cadre-de-reference-pour-guider-lintervention/

Metcalfe, J., Kornell, N., & Son, L. K. (2007). A cognitive-science based programme to enhance study efficacy in a high and low risk setting. *European Journal of Cognitive Psychology, 19*(4-5), 743-768.

Ministère de la Famille et des Aînés. (2007). *Accueillir la petite enfance, le programme éducatif des services de garde du Québec, mise à jour*. Québec : Direction des relations publiques et des communications. Repéré à https://www.mfa.gouv.qc.ca/fr/publication/Documents/programme_educatif.pdf

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49-100.

Nieder, A., & Dehaene, S. (2009). Representation of number in the brain. *Annual Review of Neurosciences, 32*, 185-208. doi: 10.1146/annurev.neuro.051508.135550

Noël, M.-P. (2005). *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant.* Marseille, France : Éditions Solal.

Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B., & 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. doi: 10.1371/journal.pone.0067918

Obersteiner, A., Reiss, K., & Ufer, S. (2013). How training on exact or approximate mental representations of number can enhance first-grade students' basic number processing and arithmetic skills. *Learning and Instruction, 23*, 125-135.

Piaget, J. (1952). Autobiography. Dans E. Boring (Éd.), *History of psychology in autobiography. Vol. 4.* Worcester, MA: Clark University Press.

Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron, 44*(3), 547-555. doi: 10.1016/j.neuron.2004.10.014

Piazza, M., Mechelli, A., Butterworth, B., & Price, C. J. (2002). Are subitizing and counting implemented as separate or functionally overlapping processes? *NeuroImage, 15*(2), 435-446. doi: 10.1006/nimg.2001.0980

Piazza, M., Pica, P., Izard, V., Spelke, E. S., & Dehaene, S. (2014). Education enhances the acuity of the nonverbal approximate number system. *Psychological Science, 24*(6), 1037-1043. doi: 10.1177/0956797612464057

Rasch, B., Büchel, C., Gais, S., & Born, J. (2007). Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation. *Science, 315*(5817), 1426-1429.

Riley, M., Greeno, J., & Heller, J. (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. Dans H. P. Ginsburg (Éd.), *The development of mathematical thinking* (pp. 153-196). New York, NY: Academic Press.

Rourke, B. P., & Conway, J. A. (1997). Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning: Perspectives from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning Disabilities, 30*(1), 34-46.

Rousselle, L., & Noel, 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. doi: 10.1016/j.cognition.2006.01.005

Rudoy, J. D., Voss, J. L., Westerberg, C. E., & Paller, K. A. (2009). Strengthening individual memories by reactivating them during sleep. *Science (New York, N.Y.), 326*(5956), 1079. doi: 10.1126/science.1179013

Sarama, J., & Clements, D. H. (2009). *Early childhood mathematics education research: Learning trajectories for young children*. New York: Routledge.

Savoie-Zajc, L., & Karsenti, T. (2000). *Introduction à la recherche en éducation*. Sherbrooke : Éditions du CRP.

Shipley, E. F., & Shepperson, B. (1990). Countable entities: Developmental changes. *Cognition, 34*(2), 109-136.

Soltész, F., & Szűcs, D. (2014). Neural adaptation to non-symbolic number and visual shape: An electrophysiological study. *Biological Psychology, 103*, 203-211. doi: 10.1016/j.biopsycho.2014.09.006

Spector, P. E. (1981). *Research designs. Quantitative applications in the social sciences.* Newbury Park: Sage Publications.

Starr, A., Libertus, M. E., & Brannon, E. M. (2013). Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110*(45), 18116-18120. doi: 10.1073/pnas.1302751110

Swanson, H. L., & Jerman, O. (2006). Math disabilities: A selective meta-analysis of the literature. *Review of Educational Research, 76*(2), 249-274.

Tingen, M. S. (2009). The use of the Solomon four-group design in nursing research. *Southern Online Journal of Nursing Research, 9*(1), 77-84.

Van der Sluis, S., Van der Leij, A., & De Jong, P. F. (2005). Working memory in Dutch children with reading- and arithmetic-related LD. *Journal of Learning Disabilities, 38*(3), 207-221.

Van Nieuwenhoven, C. (1999). *Le comptage : vers la construction du nombre*. Bruxelles : De Boeck Université.

Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2005). *Tedi-Math test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris, Cédex : Les éditions du centre de psychologie appliquée.

Vogel, S. E., Goffin, C., & 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*(0), 61-73. doi: 10.1016/j.dcn.2014.12.001

Welsh, M. C. (2002). Developmental and clinical variations in executive functions. Dans M. D. (Éd.), *Developmental variations in learning: Applications to social, executive function, language, and reading skills* (pp. 139 -187). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Wilson, A., Revkin, S., Cohen, D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions, 2*(1), 19-30

Appendice A

Présentation des contenus de l'intervention

Mission 1	Missions 2	Mission 3	Mission 4	Atelier 1
• Sens des nombres (sens des nombres)	• Sens des nombres (sens des nombres)	• Sens des nombres (sens des nombres)	• Subitisation (1 à 4) (lien entre nombres symboliques et non symboliques)	• Sens des nombres et subitisation
Mission 5	**Missions 6**	**Mission 7**	**Mission 8**	**Atelier 2**
• Subitisation (1 à 10) (lien entre nombres symboliques et non symboliques) • Sens des nombres (rappel des connaissances)	• Dénombrement/abstraction (lien entre nombres symboliques et non symboliques) • Dénombrement/cardinalité (lien entre nombres symboliques et non symboliques)	• Subitisation (1 à 10) (rappel des connaissances)	• Conservation du nombre (lien entre nombres symboliques et non symboliques) • Dénombrement (rappel des connaissances)	• Dénombrement
Mission 9	**Missions 10**	**Mission 11**	**Mission 12**	**Atelier 3**
• Comparaison (collections non symboliques) (lien entre nombres symboliques et non symboliques)	• Comparaison (nombres symboliques) (lien entre nombres symboliques et non symboliques) • Sens des nombres (rappel des connaissances) • Conservation du nombre (rappel des connaissances)	• Dénombrement (Lien entre nombres symboliques et non symboliques)	• Acquisition du système arabe (lien entre nombres symboliques et non symboliques) • Subitisation (1 à 10) (rappel des connaissances) • Comparaison (rappel des connaissances)	• Comparaisons

Mission 13 • Acquisition du système arabe (lien entre nombres symboliques et non symboliques) • Dénombrement (rappel des connaissances)	**Mission 14** • Inclusion numérique (1)	**Missions 15** • Inclusion numérique (2) • Conservation du nombre (rappel des connaissances)	**Mission 16** • Composition additive (lien entre nombres symboliques et non symboliques)	**Atelier 4** • Dénombrement • Nombres non symboliques et symboliques
Mission 17 • Résolution de problèmes (changement) (1) • Comparaison (rappel des connaissances) • Inclusion numérique (rappel des connaissances)	**Missions 18** • Résolution de problèmes (combinaison) (2)	**Mission 19** • Résolution de problèmes (comparaison et égalisation) (3)	**Mission 20** • Conservation du nombre (rappel des connaissances) • Sens des nombres (rappel connaissance) • Subitisation (1 à 10) (rappel des connaissances) • Comparaison (rappel des connaissances) • Inclusion numérique (rappel des connaissances) • Dénombrement (rappel des connaissances)	**Atelier 5** • Composition additive (ajout/retrait) avec nombres symboliques

Appendice B

Extrait du guide pédagogique de la mission 8

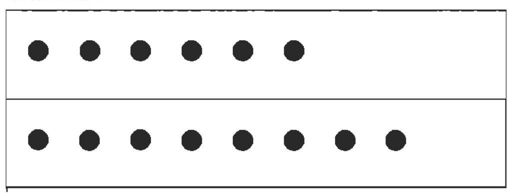
Enseignement par inhibition de la conservation du nombre

Extrait du guide pédagogique

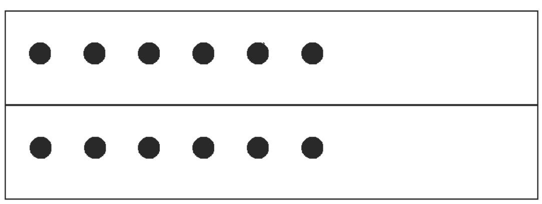
Maintenant, passons à la mission de Mathéo.

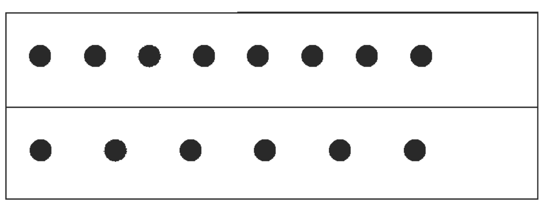
- Déterminer s'il y a un nombre égal de jetons dans les deux rangées.
- Présenter la carte exemple. Demander aux élèves s'il y a un nombre égal de jetons dans les deux rangées. Si les deux rangées contiennent un nombre égal de jetons, placer le carton vert devant. Si les deux rangées contiennent un nombre inégal de jetons, placer le carton rouge devant.
- « Quel carton devrions-nous placer devant nous? »
- Dans ce cas-ci, la rangée du bas a plus de jetons; donc les rangées sont inégales. Il faudrait alors mettre le carton rouge.

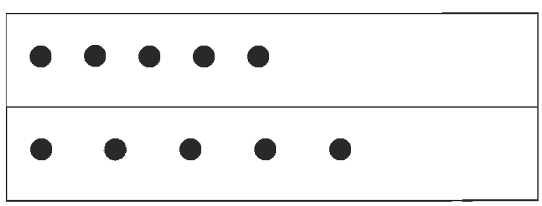
Exemple Mission 8



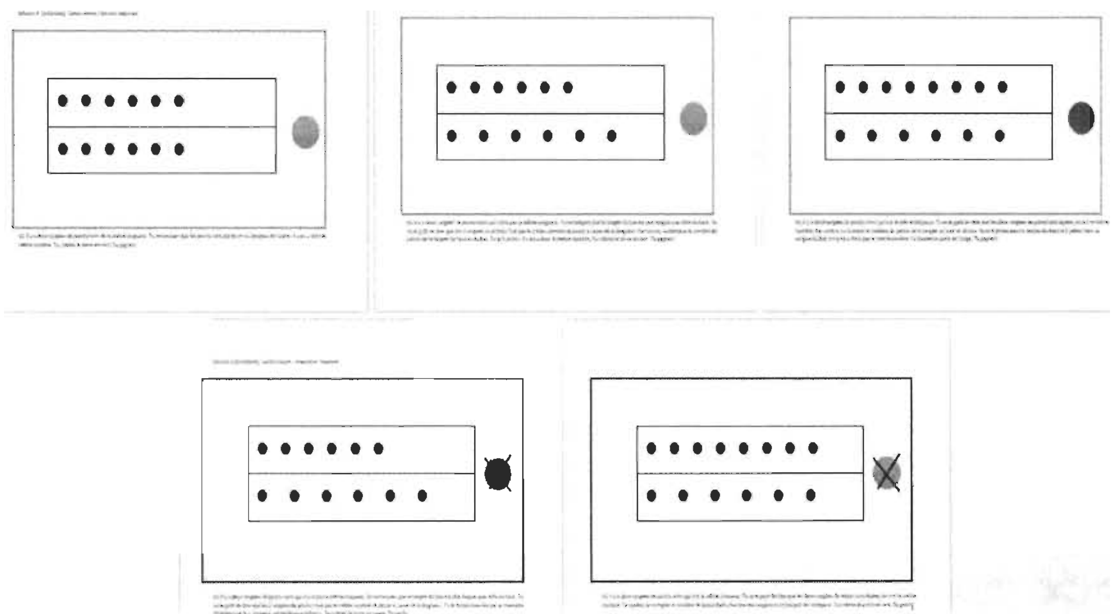
- Pratique-toi afin de bien comprendre le jeu. (Faire les trois cartes pratique avec les élèves. Leur faire placer le carton vert ou rouge selon s'ils croient qu'il y a ou n'a pas un nombre égal de jetons dans les deux rangées.)







Attention! Comme tu peux le voir, il y a un **piège** dans cette mission.
Le piège, c'est d'avoir envie de dire qu'il y a un nombre égal de jetons si les deux rangées sont de la même longueur. Le piège, c'est aussi d'avoir envie de dire qu'il n'y a pas le même nombre de jetons si les deux rangées ne sont pas de la même longueur, mais qu'il y a des espaces entre les jetons. Attention! Tu dois mettre un carton vert si les deux rangées ont un nombre égal de jetons, et non la même longueur et un carton rouge, si les deux rangées n'ont pas un nombre égal de jetons, mais sont de la même longueur.
Pour ne pas vous tromper, nous allons vous donner cinq cartes, trois vertes, qui correspondent aux bonnes réponses et deux rouges qui correspondent aux mauvaises réponses. (Expliquer les bonnes et les mauvaises réponses aux élèves.)



Pour ne pas tomber dans les pièges, nous utiliserons un « attrape piège ». (Présenter l'attrape piège aux élèves. D'un côté, celui illustré par le panneau « danger », mettre les situations pouvant avoir un piège et de l'autre côté, celui avec le bonhomme ayant le pouce en l'air, mettre les situations n'ayant aucun piège.)

Attrape piège

À présent, nous allons nous pratiquer.
Il y a un paquet de 20 cartes.

1- Vous devez identifier s'il peut y avoir un piège dans l'identification de l'égalité des deux rangées. Si oui, le nommer et placer le carton sur « danger » de « l'attrape piège ». S'il n'y a pas de piège dans l'identification de l'égalité des deux rangées, que c'est évident de reconnaitre qu'il y a le même nombre de jetons dans les deux rangées, simplement placer la carte du côté « bonhomme pouce en l'air » de « l'attrape piège ».
2- Une fois que les pièges sont identifiés sur les 20 cartes, redonner les cartes aux élèves et cette fois-ci, mettre une gommette sur les deux rangées qui ont le même nombre de jetons. S'il y a un piège au niveau des deux rangées de jetons, demander aux élèves d'identifier le piège et de placer la carte au bon endroit dans « l'attrape piège ».

IMPORTANT : Dire pourquoi il s'agit d'un **piège** et l'**identifier**.
Une fois la pratique « d'attrape piège » terminée, débuter la mission.

Appendice C

Normes de présentation des articles

A.N.A.E

APPROCHE NEUROPSYCHOLOGIQUE DES APPRENTISSAGES CHEZ L'ENFANT

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

(Soumission d'articles originaux et de comptes rendus de réunions scientifiques diverses - mise à jour du 01-01-2011)

Merci de bien vouloir lire attentivement ces recommandations aux auteurs. Plus l'auteur tiendra compte des normes de publication ANAE, plus la progression de son manuscrit sera rapide et aisée (ce processus prend, en général, entre quatre et six mois).

1. REDACTION

Les textes destinés à être publiés dans ANAE doivent respecter un certain nombre de règles :

1. Langue :

Les manuscrits seront rédigés en français. Au cas où ils auraient été écrits par un/des auteur(s) non francophone(s), ils doivent impérativement être traduits. Dans tous les cas, ils seront relus par un lecteur francophone.

La langue employée doit être correcte, bien orthographiée et respecter la syntaxe française.

2. Longueur du texte :

Les auteurs ne devront jamais dépasser un total de 40.000 signes (espaces compris), ce qui correspond à 6-7 pages de la revue. Si le texte comporte des figures non comptabilisées, il ne faudra pas les oublier dans l'estimation de la longueur totale (3.000 signes pour une figure ou un tableau d'une demi-page).

3. Corps du texte

Les textes transmis devront respecter les normes suivantes :

a) Frappe en taille 12, minuscule, justification à gauche, avec touche de retour à la ligne (**pas de tabulation**), et numérotation des pages.
b) Pour les enrichissements, utiliser uniquement l'italique (termes latins ou étrangers), jamais de gras, de soulignés ou de majuscules (sauf en début de phrase et pour les initiales des noms propres).
c) L'utilisation de notes, renvois, chiffres, symboles et unités scientifiques doit être conforme aux normes internationales.
d) Les quantités seront indiquées en chiffres en milieu de phrase. Après un point, on les écrira en toutes lettres.

Exemple : *Très souvent, ils forment des groupes de 20. Quatre mille vingt-deux d'entre eux cependant…*

4. Page de titre

La page de titre doit comporter :

a) le ***titre***, qui sera bref, précis et informatif ;
b) le ***nom des auteurs*** : initiales des prénoms et noms de famille ;
c) les ***adresses complètes postale et internet*** du premier auteur, s'il y en a plusieurs ;
d) l'***adresse mail et postale de l'auteur de correspondance*** (qui n'est pas nécessairement le premier auteur)
e) l'affiliation, le titre et la fonction de chacun des autres auteurs, si besoin est.

Important : cette page doit demeurer indépendante du reste du texte pour faciliter l'« anonymation » de l'article lors du processus d'évaluation. Les auteurs doivent être conscients du fait que l'anonymat obligatoire est parfois rompu par des assertions : *« nous avons déjà écrit (Nom de l'auteur, date) »* qui permettent de reconnaître l'émetteur. Ce type de formulation devra donc être évité au cours de cette première étape.

5. ***Resumes et mots-cles :***
   Les résumés et mots clés doivent être fournis en trois langues : français, anglais et espagnol. Ils seront, si possible, revus par des lecteurs natifs de la langue.
   La longueur maximale de ces résumés est de 500 signes, espaces compris. Quatre à 5 mots-clés doivent être fournis à la suite de ces résumés. De préférence au singulier, ces mots-clés cerneront au mieux le contenu du texte.

   Important : Les textes soumis ***doivent obligatoirement être présentés, dès le premier envoi, avec les titres, résumés et mots-clés en français, en anglais et si possible en espagnol.***

6. ***References :***
   A chaque rappel d'un texte doit correspondre une référence bibliographique précise (le nom de l'**auteur**, la publication, le numéro de page, s'il s'agit d'une citation particulière).
   Les références sont classées par ordre alphabétique, du premier auteur au dernier. Elles obéiront aux normes de l'American Psychological Association, APA (document en format pdf téléchargeable).
   La mention « ***sous presse*** » n'est admise que pour les manuscrits déjà acceptés pour publication. Les autres textes (non encore publiés) seront mentionnés comme « ***soumis*** ».

7. ***Illustrations :***
   Les figures seront fournies sous Word ; les tableaux sous Excel ou Word.
   L'ensemble devra être numéroté séparément (un numéro par figure, un autre par tableau, placés en dessous) et la place de chacun sera indiquée dans le texte.
   Il est conseillé de fournir une sortie papier de ces documents.

II. DEPOT DES MANUSCRITS

Les textes soumis à publication doivent être originaux, ne pas avoir été publiés et ne pas être proposés parallèlement à d'autres publications (voir IV. Droit de reproduction).

Les manuscrits seront fournis sous format Word (.doc) ou le cas échéant dans un format compatible.

Ils doivent être envoyés à Catherine de Gavre, Directrice de la publication, par courriel à l'adresse suivante : anae@wanadoo.fr

Vous recevrez un accusé de réception portant une date, celle de prise en considération de votre manuscrit.

Dans une toute première phase, votre manuscrit sera examiné concernant la forme. Si celle-ci ne correspond pas aux standards (voir plus haut), des recommandations de révision vous seront adressées. Il faudra alors procéder à une mise aux normes ANAE.

III.ITINERAIRE D'UN MANUSCRIT

Les auteurs auront intérêt à se référer à la description de cet itinéraire pour être en mesure de suivre pas à pas leur article.

Pour information
L'ensemble du processus varie de quatre à six mois. Plus l'auteur tiendra compte des normes de publication ANAE et sera rapide dans les corrections qu'il apportera, plus la progression de son manuscrit sera aisée.

Phase 1
Dès réception, l'article est anonymé (retrait de la première page) et envoyé avec sa référence à un membre de la rédaction qui vérifie son adéquation avec les normes ANAE (en cas de problème l'article est renvoyé pour mise aux normes).

Phase 2
Une fois le manuscrit « normalisé », il est acheminé vers 3 experts-lecteurs choisis dans le Comité de lecture (membres réguliers ou invités) pour étude approfondie. Un code-permanent attribué à chaque expert-lecteur préserve son anonymat tout au long du processus.

Phase 3
Les experts-lecteurs émettent leur(s) avis sur le manuscrit. Ceux-ci sont exprimés sur une fiche et dans une synthèse récapitulative. La plupart du temps le manuscrit n'est pas accepté tel quel. Des conseils précis sont donnés au rédacteur de l'article en vue de son amélioration.

Phase 4
Ces documents sont renvoyés à l'auteur accompagnés d'encouragements qui précisent les modifications souhaitables.

Phase 5
Les auteurs procèdent aux amendements souhaités et les précisent, si possible, dans un bref récapitulatif.

Phase 6
Les experts prennent connaissance, par une deuxième lecture, des aménagements effectués et donnent leur avis définitif.

En cas d'acceptation, l'auteur est averti de l'impression prochaine de son article. Il recevra un fichier en pdf pour Bon-à-Tirer (BAT) de son texte.

IV. ÉPREUVES D'IMPRIMERIE – BON À TIRER

Les épreuves d'imprimerie sont envoyées à l'auteur. Elles doivent être attentivement corrigées sur le plan typographique (erreurs d'impression), et ***renvoyées à la rédaction dans un délai de 5 jours***. En cas de retard, l'éditeur se réserve le droit de procéder à l'impression sans les corrections désirées par les auteurs ou de reporter la parution à une publication suivante.

V. DROIT DE REPRODUCTION

Dès que l'article est publié, l'auteur est réputé avoir cédé ses droits à l'éditeur. Les auteurs s'engagent donc à demander l'autorisation à A.N.A.E. au cas où ils désireraient reproduire partie ou totalité de leur article dans un autre périodique ou une autre publication.

Recherches en didactique des mathématiques

Directives aux auteurs

L'article, en français, anglais ou espagnol, doit comporter un titre ainsi qu'un résumé dans la langue de l'article. Il est inutile de proposer les résumés en trois langues et des mots clés avant l'acceptation de l'article. L'article doit être anonymé en suivant les indications portées à Assurer une évaluation à l'aveugle Le texte soumis est tout d'abord examiné par la rédaction, qui peut décider de retourner un article jugé insuffisant sur la forme ou inapproprié à la revue. Dans l'autre cas, l'article, anonymé, est soumis à deux ou trois rapporteurs.

Liste de vérification de la soumission

En tant que partie intégrante du processus de soumission, les auteurs doivent s'assurer de la conformité de leur soumission avec tous les éléments suivants, et les soumissions peuvent être retournées aux auteurs qui ne sont conforment pas à ces directives.

1. La soumission n'a pas déjà été publiée, et elle n'est pas considérée actuellement par une autre revue (ou une explication a été fournie dans Commentaires au rédacteur).
2. Le fichier de la soumission est conforme au format du document modèle http://rdm.penseesauvage.com/IMG/doc/ModeleRDM.doc
3. Lorsque possible, les URLs des références ont été fournies.
4. Le texte est à simple interligne; utilise une police à 12 points; emploie l'italique plutôt que le souligné (sauf pour les adresses URL); et place toutes les illustrations, figures, et tableaux aux endroits appropriés dans le texte plutôt qu'à la fin.
5. Le texte se conforme aux exigences stylistiques et bibliographiques décrites dans Directives aux auteurs, qui se trouve dans « À propos de la revue ».
6. Dans le cas d'une soumission à une rubrique de la revue évaluée par les pairs, les instructions dans Assurer une évaluation à l'aveugle ont été suivies.

Mention de droit d'auteur

Déclaration de confidentialité

Les noms et courriels saisis dans le site de cette revue seront utilisés exclusivement aux fins indiquées par cette revue et ne serviront à aucune autre fin, ni à toute autre partie.

ISSN: 0246-9367

ZDZ Mathematics

Instructions for Authors

MANUSCRIPT SUBMISSION

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies : that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink "Submit online" on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Title Page

The title page should include:
The name(s) of the author(s)
A concise and informative title
The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.
Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
Use italics for emphasis.
Use the automatic page numbering function to number the pages.
Do not use field functions.
Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
Use the equation editor or MathType for equations.
Note : If you use Word 2007, do not create the equations with the default equation editor but use the Microsoft equation editor or MathType instead.
Save your file in doc format. Do not submit docx files.

Headings

Please use the decimal system of headings with no more than three levels.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

MSC

An appropriate number of MSC codes should be provided. The Mathematics Subject Classification (MSC) is used to categorize items covered by the two reviewing databases, Mathematical Reviews and Zentralblatt MATH, see www.ams.org/msc

SCIENTIFIC STYLE

Please use the standard mathematical notation for formulae, symbols etc.:

Italic for single letters that denote mathematical constants, variables, and unknown quantities

Roman/upright for numerals, operators, and punctuation, and commonly defined functions or abbreviations, e.g., cos, det, e or exp, lim, log, max, min, sin, tan, d (for derivative)

Bold for vectors, tensors, and matrices.

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

Journal article

Harris, M., Karper, E., Stacks, G., Hoffman, D., DeNiro, R., Cruz, P., et al. (2001). Writing labs and the Hollywood connection. Journal of Film Writing, 44(3), 213–245.

Article by DOI

Slifka, M. K., & Whitton, J. L. (2000). Clinical implications of dysregulated cytokine production. Journal of Molecular Medicine, doi:10.1007/s001090000086

Book

Calfee, R. C., & Valencia, R. R. (1991). APA guide to preparing manuscripts for journal publication. Washington, DC: American Psychological Association.

Book chapter

O'Neil, J. M., & Egan, J. (1992). Men's and women's gender role journeys: Metaphor for healing, transition, and transformation. In B. R. Wainrib (Ed.), Gender issues across the life cycle (pp. 107–123). New York: Springer.

Online document

Abou-Allaban, Y., Dell, M. L., Greenberg, W., Lomax, J., Peteet, J., Torres, M., & Cowell, V. (2006). Religious/spiritual commitments and psychiatric practice. Resource document. American Psychiatric Association. http://www.psych.org/edu/other_res/lib_archives/archives/200604.pdf. Accessed 25 June 2007.

Journal names and book titles should be italicized.
For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.
EndNote style (zip, 3 kB)

Articles from the journal ZDM should be cited as follows:

Until 2014:
Kaiser, G. & Schwarz, B. (2006). Mathematical modelling as bridge between school and university. ZDM–The International Journal on Mathematics Education, 38(2), 196–208.

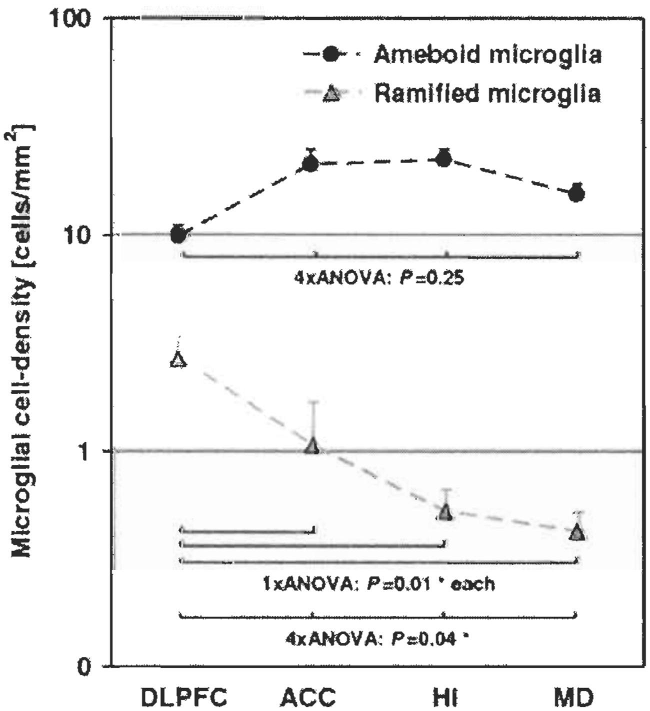
As of 2015:
Roesken-Winter, B., Hoyles, C. & Blömeke, S. (2015). Evidence-based CPD : Scaling up sustainable interventions. ZDM Mathematics Education, 47(1), 1–12.

TABLES
All tables are to be numbered using Arabic numerals.
Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.
ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES

Electronic Figure Submission

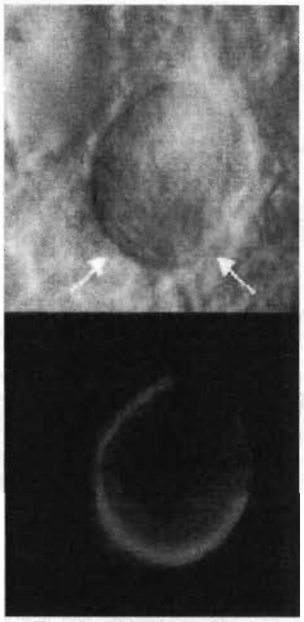
Supply all figures electronically.
Indicate what graphics program was used to create the artwork.
For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art



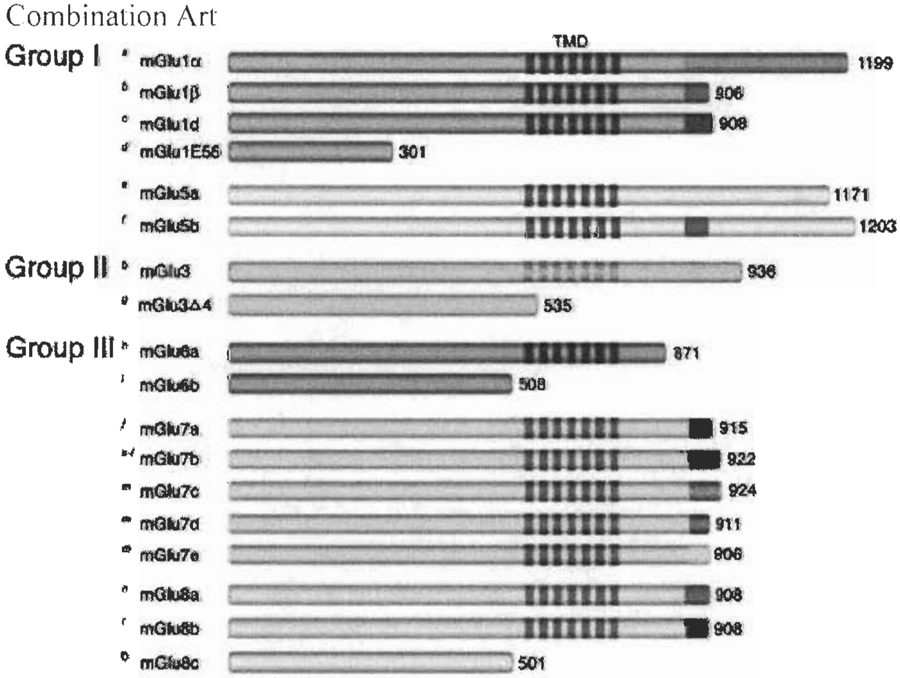
Definition : Black and white graphic with no shading.
Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art



Definition : Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art



Definition : a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

Color art is free of charge for online publication.
If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

All figures are to be numbered using Arabic numerals.
Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures,
"A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

Figures should be submitted separately from the text, if possible.
When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that
All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)
Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Submission

Supply all supplementary material in standard file formats.
Please include in each file the following information : article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

Aspect ratio : 16:9 or 4:3
Maximum file size : 25 GB
Minimum video duration : 1 sec
Supported file formats : avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

Text and Presentations

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.
If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
Refer to the supplementary files as "Online Resource", e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4".
Name the files consecutively, e.g. "ESM_3.mpg", "ESM_4.pdf".

Captions

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that
The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

DOES SPRINGER PROVIDE ENGLISH LANGUAGE SUPPORT?

Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process.

The following editing service provides language editing for scientific articles in all areas Springer publishes in:
Edanz English editing for scientists
Use of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication.
Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment.

For Authors from China

文章在投稿前进行专业的语言润色将对作者的投稿进程有所帮助。作者可自愿选择使用Springer推荐的编辑服务，使用与否并不作为判断文章是否被录用的依据。提高文章的语言质量将有助于审稿人理解文章的内容，通过对学术内容的判断来决定文章的取舍，而不会因为语言问题导致直接退稿。作者需自行联系Springer推荐的编辑服务公司，协商编辑事宜。
理文编辑

For Authors from Japan

ジャーナルに論文を投稿する前に、ネイティブ・スピーカーによる英文校閲を希望されている方には、Edanz社をご紹介しています。サービス内容、料金および申込方法など、日本語による詳しい説明はエダンズグループジャパン株式会社の下記サイトをご覧ください。
エダンズグループジャパン

For Authors from Korea

영어 논문 투고에 앞서 원어민에게 영문 교정을 받고자 하시는 분들께 Edanz 회사를 소개해 드립니다. 서비스 내용, 가격 및

신청 방법 등에 대한 자세한 사항은 저희 Edanz Editing Global 웹사이트를 참조해 주시면 감사하겠습니다.
Edanz Editing Global

ETHICAL RESPONSIBILITIES OF AUTHORS

This journal is committed to upholding the integrity of the scientific record. As a member of the Committee on Publication Ethics (COPE) the journal will follow the COPE guidelines on how to deal with potential acts of misconduct.
Authors should refrain from misrepresenting research results which could damage the trust in the journal, the professionalism of scientific authorship, and ultimately the entire scientific endeavour. Maintaining integrity of the research and its presentation can be achieved by following the rules of good scientific practice, which include:
The manuscript has not been submitted to more than one journal for simultaneous consideration.
The manuscript has not been published previously (partly or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work (please provide transparency on the re-use of material to avoid the hint of text-recycling ("self-plagiarism")).
A single study is not split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (e.g. "salami-publishing").
No data have been fabricated or manipulated (including images) to support your conclusions
No data, text, or theories by others are presented as if they were the author's own ("plagiarism"). Proper acknowledgements to other works must be given (this includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks are used for verbatim copying of material, and permissions are secured for material that is copyrighted.
Important note : the journal may use software to screen for plagiarism.
Consent to submit has been received explicitly from all co-authors, as well as from the responsible authorities - tacitly or explicitly - at the institute/organization where the work has been carried out, **before** the work is submitted.
Authors whose names appear on the submission have contributed sufficiently to the scientific work and therefore share collective responsibility and accountability for the results.
In addition:
Changes of authorship or in the order of authors are not accepted **after** acceptance of a manuscript.
Requesting to add or delete authors at revision stage, proof stage, or after publication is a serious matter and may be considered when justifiably warranted. Justification for changes in authorship must be compelling and may be considered only after receipt of written approval from all authors and a convincing, detailed explanation about the role/deletion of the new/deleted author. In case of changes at revision stage, a letter must accompany the revised manuscript. In case of changes after acceptance or publication, the request and documentation must be sent via the Publisher to the Editor-in-Chief. In all cases, further documentation may be required to support your request. The

decision on accepting the change rests with the Editor-in-Chief of the journal and may be turned down. Therefore authors are strongly advised to ensure the correct author group, corresponding author, and order of authors at submission.

Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results. This could be in the form of raw data, samples, records, etc.

If there is a suspicion of misconduct, the journal will carry out an investigation following the COPE guidelines. If, after investigation, the allegation seems to raise valid concerns, the accused author will be contacted and given an opportunity to address the issue. If misconduct has been established beyond reasonable doubt, this may result in the Editor-in-Chief's implementation of the following measures, including, but not limited to:

If the article is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.

If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction, either an erratum will be placed with the article or in severe cases complete retraction of the article will occur. The reason must be given in the published erratum or retraction note.

The author's institution may be informed.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

Authors should include the following statements (if applicable) in a separate section entitled "Compliance with Ethical Standards" when submitting a paper:

Disclosure of potential conflicts of interest

Research involving Human Participants and/or Animals

Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. single or double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the instructions following this section carefully.

The corresponding author should be prepared to collect documentation of compliance with ethical standards and send if requested during peer review or after publication.

The Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned guidelines. The author will be held responsible for false statements or failure to fulfill the above-mentioned guidelines.

DISCLOSURE OF POTENTIAL CONFLICTS OF INTEREST

Authors must disclose all relationships or interests that could have direct or potential influence or impart bias on the work. Although an author may not feel there is any conflict, disclosure of relationships and interests provides a more complete and transparent process, leading to an accurate and objective assessment of the work. Awareness of a real or perceived conflicts of interest is a perspective to which the readers are entitled. This is not meant to imply that a financial relationship with an organization that sponsored the research or compensation received for consultancy work is inappropriate. Examples of potential conflicts of interests **that are directly or indirectly related to the research** may include but are not limited to the following:

Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)

Honoraria for speaking at symposia

Financial support for attending symposia

Financial support for educational programs

Employment or consultation

Support from a project sponsor

Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships

Multiple affiliations

Financial relationships, for example equity ownership or investment interest

Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)

Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

In addition, interests that go beyond financial interests and compensation (non-financial interests) that may be important to readers should be disclosed. These may include but are not limited to personal relationships or competing interests directly or indirectly tied to this research, or professional interests or personal beliefs that may influence your research.

The corresponding author collects the conflict of interest disclosure forms from all authors. In author collaborations where formal agreements for representation allow it, it is sufficient for the corresponding author to sign the disclosure form on behalf of all authors. Examples of forms can be found here:

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list, that reflects what is recorded in the potential conflict of interest disclosure form(s).
See below examples of disclosures:
Funding : This study was funded by X (grant number X).
Conflict of Interest : Author A has received research grants from Company A. Author B has received a speaker honorarium from Company X and owns stock in Company Y. Author C is a member of committee Z.
If no conflict exists, the authors should state:
Conflict of Interest : The authors declare that they have no conflict of interest.

AFTER ACCEPTANCE

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer's web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice, offprints, or printing of figures in color.
Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Open Choice

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer provides an alternative publishing option : Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
Springer Open Choice

Copyright transfer

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.
Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Online publication of color illustrations is free of charge. For color in the print version, authors will be expected to make a contribution towards the extra costs.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.
After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

Appendice D
Certificat d’éthique

Le 30 avril 2015

Madame Isabelle Deshaies
Étudiante
Département des sciences de l'éducation

Madame,

Votre protocole de recherche intitulé **Prérequis mathématiques et neurosciences au préscolaire : conception, mise à l'essai et évaluation de deux programmes d'intervention** a été soumis au comité d'éthique de la recherche pour approbation lors de la 212e réunion tenue le 24 avril 2015.

Comme suite à l'évaluation de votre protocole, le comité a pris acte de votre projet de recherche. Il considère cependant que vous n'avez pas besoin d'un certificat d'éthique car l'étude que vous nous avez soumise pour certification traite d'évaluation de programme et d'amélioration de la qualité. Les études consacrées à l'assurance de la qualité et à l'amélioration de la qualité, les activités d'évaluation de programmes et les évaluations de rendement, s'ils servent à des fins d'évaluation, de gestion ou d'amélioration, ne relèvent pas de la compétence des Comité d'éthique de la recherche (au sens de l'Énoncé politique des trois conseils- EPTC2 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains, article 2.5).

Si vous jugez que vous avez tout de même besoin d'un certificat d'éthique, vous pouvez communiquer avec moi (819-376-5011 poste 2129, ou par courriel à cereh@uqtr.ca) pour en discuter.

Veuillez agréer, Madame, mes salutations distinguées.

LA SECRÉTAIRE DU COMITÉ D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE

FANNY LONGPRÉ
Agente de recherche
Décanat de la recherche et de la création

FL/mct

c. c. M. Jean-Marie Miron, professeur au Département des sciences de l'éducation