

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

ESSAI DE 3^E CYCLE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL INTERVENTION)

PAR
ANDRÉE-ANNE DUROCHER

LIEN ENTRE LA PERFORMANCE D'ADOLESCENTS À UNE TÂCHE
D'ATTENTION ET D'INHIBITION PRÉSENTÉE EN RÉALITÉ VIRTUELLE ET LE
RENDEMENT SCOLAIRE

OCTOBRE 2016

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

Cet essai de 3^e cycle a été dirigé par :

Pierre Nolin, Ph.D., directeur de recherche

Université du Québec à Trois-Rivières

Jury d'évaluation de l'essai :

Pierre Nolin, Ph.D.

Université du Québec à Trois-Rivières

Annie Stipanicic, Ph.D.

Université du Québec à Trois-Rivières

Claude Dubé, Ph.D.

Université du Québec à Chicoutimi

Sommaire

Les fonctions attentionnelles et exécutives sont reconnues comme étant essentielles au comportement adapté. Plus spécifiquement, plusieurs études ont montré l'implication de celles-ci dans le rendement scolaire. En revanche, aucune de ces études n'a utilisé la réalité virtuelle comme outil d'évaluation écologique des fonctions attentionnelles et exécutives afin de pallier les limites rapportées en lien avec les outils d'évaluation traditionnels. Par ailleurs, peu d'études se sont attardées à la population adolescente pour qui la charge de travail scolaire devient de plus en plus importante. L'objectif de la présente étude était de vérifier si le Continuous Performance Test (CPT) présenté en modalité virtuelle et évaluant des composantes des fonctions exécutives, plus précisément l'attention et l'inhibition, était davantage associé au rendement scolaire chez des adolescents que la tâche d'évaluation traditionnelle équivalente. Les deux tests ont été administrés à 101 participants âgés de 12 à 16 ans. Les résultats montrent peu de corrélations significatives entre les variables du rendement scolaire et celles des tâches traditionnelle et virtuelle. Ceux-ci soulignent l'importance d'intégrer plusieurs mesures, tant sur le plan du rendement scolaire que des fonctions attentionnelles et exécutives, pour parvenir à des résultats plus concluants. En revanche, davantage de tendances sont retrouvées entre le rendement scolaire et la tâche virtuelle, qu'entre le rendement scolaire et la tâche traditionnelle, ce qui pourrait soutenir que la tâche virtuelle possède plus de liens avec le rendement scolaire que la tâche traditionnelle. Elle représenterait ainsi possiblement mieux le fonctionnement de l'élève dans les disciplines scolaires. En lien avec les résultats obtenus, des pistes de réflexion sont abordées.

Table des matières

Sommaire	iii
Liste des tableaux.....	vi
Remerciements.....	vii
Introduction.....	1
Contexte théorique	5
Fonctions attentionnelles et exécutives.....	6
Fonctions attentionnelles, fonctions exécutives et rendement scolaire	12
Outils d'évaluation des fonctions attentionnelles et exécutives en neuropsychologie	16
Outils traditionnels d'évaluation.....	16
Réalité virtuelle.....	20
Objectifs et hypothèses de recherche.....	23
Méthode	25
Participants.....	26
Matériel	27
Instruments de mesure	27
Questionnaire de développement et d'informations générales.....	27
Bulletin scolaire	28
Test neuropsychologique traditionnel : Vigil Continuous Performance Test ...	28
Test neuropsychologique virtuel : Classe virtuelle : ClinicaVR : Classroom-CPT	29
Déroulement.....	30

Analyses effectuées.....	30
Résultats.....	32
Corrélations entre le rendement scolaire et la performance aux tâches.....	33
traditionnelle et virtuelle	33
Résultats corrélationnels au Vigil-CPT traditionnel.....	33
Résultats corrélationnels au Vigil-CPT en classe virtuelle.....	35
Discussion.....	38
Synthèse des résultats	39
Rendement scolaire et performance aux tâches traditionnelle et virtuelle	39
Comparaison entre les tâches traditionnelle et virtuelle en lien avec rendement scolaire	43
Limites et recommandations	44
Conclusion	47
Références.....	49

Liste des tableaux

Tableau

1	Corrélations entre le VIGIL-CPT et les résultats scolaires.....	34
2	Corrélations entre la classe virtuelle et les résultats scolaires	37

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement mon directeur Pierre Nolin pour ses encouragements, sa confiance et sa patience infinie, et ce tout au long de mon cheminement. Je souhaite aussi remercier mon conjoint, ma famille et mes amis qui ont cru en mon potentiel et qui m'ont soutenue durant l'accomplissement de ce défi.

Introduction

Les fonctions attentionnelles et exécutives font l'objet de recherches intensives en neuropsychologie, de même que dans des disciplines variées, en raison notamment de leur implication dans de nombreux troubles. En effet, des déficits exécutifs sont rapportés dans une variété de pathologies chez l'enfant et l'adolescent incluant les troubles développementaux, tels que le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H), les troubles du spectre de l'autisme (TSA) (Pennington & Ozonoff, 1996) et la dyslexie (Levin, 1990; Swanson & Ashbaker, 2000); les conditions médicales, telles que la phénylcétonurie (Welsh, Pennington, Ozonoff, Rouse, & McCabe, 1990) et le traumatisme craniocérébral (TCC) (Garth, Anderson, & Wrennall, 1997); ainsi que les troubles psychiatriques, tels que les troubles anxieux (Craig & Chamberlain, 2010). L'étendue de ces conditions cliniques, auxquelles sont associés des déficits exécutifs, n'est pas étonnante étant donné le tableau d'habiletés et de comportements qui est relié à ces fonctions (Anderson, 2002). Le rôle crucial des fonctions exécutives a effectivement été mis en évidence autant dans le contrôle cognitif, émotionnel et comportemental (Lezak, 2012), que dans les difficultés académiques et sociales (Anderson, 2002).

Plus récemment, on constate une augmentation de la prise de conscience du rôle que jouent les fonctions exécutives chez les enfants, que ceux-ci se développent normalement ou qu'ils présentent une condition clinique particulière. Certaines études se

sont donc penchées plus précisément sur l'influence des fonctions attentionnelles et exécutives dans la réussite scolaire et ont montré une relation entre ces variables, et ce même dans le contexte d'un développement normal (Bull & Scerif, 2001; Espy et al., 2004; Gordon, Mettelman, & Irwin, 1994; Latzman, Elkovich, Young, & Clark, 2010; Monette, Bigras, & Guay, 2011; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006; Waber, Gerber, Turcios, Wagner, & Forbes, 2006).

Toutefois, la plupart des études se sont concentrées sur l'impact des fonctions exécutives au début du cheminement scolaire. En effet, peu d'études se sont concentrées sur les liens possibles entre le rendement scolaire et le fonctionnement exécutif (attention et inhibition) chez les adolescents. Pourtant, les exigences au plan des fonctions attentionnelles et exécutives à l'école secondaire sont assurément plus grandes que celles à l'école primaire. En effet, la formation secondaire sollicite davantage des compétences transversales, implique une utilisation accrue de diverses fonctions cognitives, telles les fonctions attentionnelles et exécutives, et requiert d'intégrer plusieurs habiletés pour accomplir des tâches complexes (p.ex., résolution de problèmes, pensée créatrice, jugement critique) (Antshel, 2010; Meltzer, 2007, 2010). Par ailleurs, les études réalisées jusqu'à maintenant ont été faites à partir d'instruments traditionnels, ce qui peut avoir mené à des corrélations de niveau modeste puisque des limites sont rapportées en lien avec ce type d'évaluation pour prévoir le fonctionnement au quotidien. La réalité virtuelle est un outil d'évaluation de plus en plus utilisé en neuropsychologie afin d'augmenter la validité écologique. De plus, dans la majorité des

cas, des tests neuropsychologiques sont utilisés pour évaluer le rendement scolaire (p.ex., Woodcock-Jonhson III (WJ III) Tests of Achievement (Woodcock, McGrew, & Mather, 1999), Group Mathematic Test (GMT; Young, 1970), British Ability Scale (BAS) word-reading test (Elliot, Murray, & Pearson, 1979), Weschler Individual Achievement Test – Second Edition (WIAT-II; Wechsler, 2005)), alors que les bulletins scolaires pourraient représenter une mesure plus écologique du rendement scolaire, tout comme l'évaluation de l'attention et de l'inhibition à l'aide de la classe virtuelle (Rizzo et al., 2000). L'objectif de la présente étude était donc d'explorer si l'évaluation de fonctions exécutives, plus précisément l'attention et l'inhibition, à l'aide du Continuous Performance Test (CPT) présenté en modalité virtuelle était davantage associée au rendement scolaire, tel que mesuré par les résultats au bulletin scolaire, comparativement à la version traditionnelle de ce test.

Cet essai doctoral comporte cinq grandes sections. La première section présentera les définitions et les théories des fonctions attentionnelles et exécutives, le rôle de celles-ci dans le rendement scolaire, de même que les outils d'évaluation des fonctions attentionnelles et exécutives, dont la réalité virtuelle. Les hypothèses de recherche de l'étude seront exposées à la fin de cette première section. La deuxième section portera sur la méthode, dont le recrutement des participants et les instruments de mesure. Les résultats obtenus seront présentés dans la troisième section et ils seront discutés dans la quatrième section. Finalement, une conclusion et des implications en lien avec la présente étude complèteront la cinquième section.

Contexte théorique

Ce chapitre se divise en quatre sections précisant les théories et les études empiriques liées aux variables étudiées. La première vise à préciser les définitions et rôles associés aux fonctions attentionnelles et exécutives. La seconde porte sur le lien entre le rendement scolaire et les fonctions attentionnelles et exécutives. La troisième aborde les outils d'évaluation disponibles en neuropsychologie pour l'évaluation de ces fonctions, plus précisément les outils traditionnels et ceux présentés en réalité virtuelle. Finalement, la quatrième section présente les objectifs et les hypothèses de recherche.

Fonctions attentionnelles et exécutives

Les fonctions exécutives (FE) sont des fonctions de haut niveau responsables du contrôle et de la supervision d'un ensemble de fonctions cognitives. Elles renvoient à la capacité d'adopter un comportement intentionnel, dirigé vers un but. Elles sont donc considérées comme des fonctions transversales hiérarchiquement supérieures (Anderson, 2008; Gioia, Isquith, & Guy, 2001; Guillory-Girard, Quinette, Piolino, Desgranges, & Eustache, 2008). Malgré l'absence d'une définition ou d'un modèle unique des FE, il existe tout de même un consensus entre les auteurs sur l'importance des FE dans l'adaptation du comportement complexe de l'être humain à l'environnement en perpétuel changement. Ces processus exécutifs jouent d'ailleurs un rôle capital dans le

fonctionnement cognitif, le comportement, le contrôle émotionnel et les interactions sociales chez l'enfant (Anderson, 2002).

Le fonctionnement exécutif a été conceptualisé d'une part, comme une capacité unique (notion unitaire; p.ex., Norman & Shallice, 1986), et d'autre part, comme un ensemble de processus indépendants, mais interreliés (notion non unitaire). Néanmoins, la majorité semble se positionner davantage vers une diversité des mécanismes ou sur la combinaison des deux, c'est-à-dire sur l'existence d'un mécanisme de base commun, comme l'inhibition et la mémoire de travail (MT), et de différents processus (Anderson, 2002; Baddeley, 2000; Barkley, 1997; Damasio, Everitt, & Bishop, 1996). Ce modèle est probablement plus exact puisque les répercussions d'un déficit exécutif sont hétérogènes, qu'un déficit global est rarement observé et que les processus exécutifs démontrent des profils développementaux variables (Anderson, 2002). Par ailleurs, des données appuyant une combinaison de diversité et d'unicité des FE proviennent notamment de Miyake et al. (2000). En utilisant une analyse factorielle confirmatoire, ils ont tenté de déterminer le degré de séparabilité de trois FE fréquemment énoncées dans la documentation scientifique pertinente : l'inhibition, la flexibilité et la MT. Les résultats obtenus indiquent qu'il était possible de distinguer les trois fonctions cibles, mais qu'elles n'étaient pas complètement indépendantes. Lehto, Juujarvi, Kooistra, et Pulkkinen (2003) sont arrivés à des résultats similaires à ceux de Miyake et al. (2000) dans leur étude effectuée auprès d'enfants de 8 à 13 ans. Les résultats ont produit trois

facteurs interreliés qui ressemblent à ceux obtenus par Miyake et al. (MT, inhibition et flexibilité).

Pour expliquer le fait que certains aspects des FE soient partagés à travers les composantes, Miyake et al. (2000) ont suggéré que l'unité parmi les FE peut être expliquée par l'inhibition, comme chacune implique certains processus inhibiteurs pour fonctionner correctement. L'inhibition est aussi considérée comme un mécanisme central dans le modèle des fonctions exécutives (autorégulatrices) de Barkley (1997). Selon celui-ci, l'inhibition comportementale sert de fondation aux autres FE puisqu'elle procure un délai dans la décision de réponse. Elle représente ainsi la première composante essentielle qui permet une performance exécutive réussie. Ainsi, une hiérarchie fonctionnelle sous-jacente est présente selon ces deux théories.

L'*inhibition* peut être définie comme la capacité de retenir ou de supprimer de façon délibérée des réponses automatiques, prédominantes ou en cours, et de contrôler l'interférence. Elle met l'emphase sur l'intentionnalité du processus (Barkley, 1997; Miyake et al., 2000).

Parallèlement, l'attention renvoie aux processus qui permettent à l'individu d'être réceptif aux multiples sources de stimulation et qui lui permettent de filtrer l'information afin de la traiter efficacement (Parasuraman, 1998). Une attention intacte est donc une condition préalable et nécessaire à la majeure partie des activités mentales (Lezak, 2012;

Vakil, 2012). Tout comme les FE, l'attention n'est pas un concept unitaire (Parasuraman, 1998). En effet, différentes composantes sont impliquées dans celle-ci. Par ailleurs, les définitions de l'attention varient grandement comme pour les FE (Lezak, 2012).

La distinction entre les processus attentionnels et exécutifs n'est pas toujours claire. En effet, ceux-ci sont probablement interdépendants et intriqués les uns dans les autres. Néanmoins, le modèle théorique général du *système attentionnel superviseur* expliquant le rôle de l'attention dans l'action de Norman et Shallice (1986) permet de faire une distinction entre les processus automatiques ou semi-automatiques (faisant référence aux fonctions attentionnelles) et contrôlés nécessitant des ressources supplémentaires (traitement cognitif conscient et délibéré et faisant référence aux fonctions exécutives).

Une performance automatique renvoie aux actions qui peuvent être amorcées ou exécutées sans attention délibérée et sans interférer sur d'autres tâches, et donc dans les situations simples ou routinières (p.ex., marcher). Ici ce sont les *schémas d'action*, qui représentent des ensembles de programmes comportementaux surappris, qui permettent d'accomplir ces actions de façon inconsciente. Dans une situation donnée, plusieurs schémas sont susceptibles d'être pertinents, partageant des structures ainsi que des opérations communes. Des ressources doivent donc être apportées pour sélectionner un schéma particulier et prévenir l'utilisation de structures compétitives ou permettre l'activation d'actes coopératifs (p.ex., parler en marchant). Le *gestionnaire de conflits*

intervient donc en choisissant et en donnant la priorité aux schémas d'action les plus pertinents sur la base des valeurs d'activation des schémas (processus semi-automatiques).

Au contraire, un contrôle conscient et délibéré est nécessaire lors de situations nouvelles ou complexes, c'est-à-dire lorsqu'un ensemble de schémas n'est pas disponible pour effectuer une séquence d'actions (p.ex., sauter de côté pour éviter un obstacle pendant que l'on marchait en parlant). Le *système attentionnel superviseur* (SAS) doit alors fournir les ressources nécessaires pour compléter la tâche de façon consciente et délibérée (processus contrôlés). Il serait particulièrement essentiel dans les situations qui exigent une planification ou une prise de décision, une résolution de problèmes, l'apprentissage de nouvelles séquences d'actions, des actions dangereuses ou difficiles ou la suppression d'une réponse dominante (p.ex., empêcher une réponse automatique ou spontanée).

De la même façon, le modèle théorique de l'attention développé par Zomeren et Brouwer (1994) met l'accent sur la responsabilité des FE dans le contrôle de l'attention et vise à clarifier les différents termes associés au concept de l'attention. L'attention est définie comme un état cognitif adapté aux exigences de la tâche. L'emphase est mise sur son aspect quantitatif et qualitatif, c'est-à-dire sur la notion d'intensité et de sélectivité de l'attention. Les composantes impliquées dans l'intensité sont l'alerte et l'attention soutenue, alors que l'attention dirigée et l'attention divisée font référence à l'aspect

sélectif. Par ailleurs, le contrôle attentionnel superviseur serait responsable du contrôle de ces différentes fonctions attentionnelles.

Plus spécifiquement, la composante d'intensité indique la quantité d'attention qui est distribuée, par exemple, sur une tâche. Elle englobe l'*alerte* et l'*attention soutenue*. La première correspond à l'état d'éveil et implique des changements phasique (provoqué par un signal d'alarme) et tonique (en fonction du moment de la journée et variant selon les rythmes de veille et de sommeil). La deuxième réfère au maintien de la direction de l'attention vers une ou plusieurs sources sur une longue période (p.ex., écouter l'enseignante tout au long du cours et demeurer disponible aux apprentissages). Elle comprend des aspects d'effet du temps sur la tâche (diminution de la performance à travers le temps) et de fluctuations dans la performance (variabilité chez un même individu et brefs moments d'inattention).

La composante de sélectivité fait plutôt référence à la sélection des informations qui sont traitées. Elle correspond à l'*attention dirigée* et à l'*attention divisée*. La première renvoie à l'orientation de l'attention sur un type d'information et l'exclusion des autres (p.ex., écouter l'enseignante sans se laisser distraire par les bruits ou autres stimuli). La deuxième se rapporte au partage des ressources attentionnelles sur deux ou plusieurs sources d'information de façon simultanée (p.ex., écouter l'enseignante tout en prenant des notes).

Finalement, le *contrôle attentionnel superviseur* permet de moduler les composantes de sélectivité et d'intensité. Il est aussi responsable de la formation de stratégies (p.ex., conception d'un plan d'action), de la flexibilité (p.ex., alternance rapide de l'attention pour répondre aux exigences de changements de tâches) et de la régulation du traitement de l'information nécessaire lorsque le gestionnaire de conflit ne peut sélectionner des routines d'actions adéquates.

Fonctions attentionnelles, fonctions exécutives et rendement scolaire

Dans notre société du 21^e siècle axée sur la technologie, la réussite scolaire est de plus en plus dépendante des FE. En effet, les élèves doivent organiser et intégrer une masse d'informations changeant rapidement, par exemple sur internet, et être responsable de leur propre apprentissage (Meltzer, 2010). Les fonctions attentionnelles sont aussi largement sollicitées. En effet, l'attention est une base nécessaire à la majorité de l'apprentissage et s'avère donc un aspect essentiel de la réussite scolaire. Par exemple, les élèves doivent écouter leurs enseignants durant de longues périodes et centrer leur attention sur la tâche (Poissant, Falardeau, & Poëllhuber, 1993).

Des liens entre un rendement scolaire faible et les fonctions attentionnelles et exécutives (dont l'inhibition), ont été démontrés chez des groupes d'enfants de conditions cliniques diverses, notamment chez les enfants ayant un trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) (Biederman et al., 2004; Miller & Hinshaw, 2010; Rennie, Beebe-Frankenberger, & Swanson, 2014), un traumatisme

craniocérébral (TCC) (Fulton, Yeates, Taylor, Walz, & Wade, 2012), la phénylcétonurie (Antshel, 2010), la méningite (Taylor, Schatschneider, Petrill, Barry, & Owens, 1996), étant nés prématurément (Johnson, Wolke, Hennessy, & Marlow, 2011; Rose, Feldman, & Jankowski, 2011), de même que vivant dans des familles à faibles revenus (Raver et al., 2011; Welsh, Nix, Blair, Bierman, & Nelson, 2010). Néanmoins, de nombreux élèves semblent éprouver des difficultés scolaires qui pourraient être mises en lien avec des faiblesses exécutives, sans qu'ils répondent aux critères diagnostiques de troubles précis, tels qu'observés au plan clinique par Dawson et Guare (2010) et Meltzer (2010). Notamment, l'étude de Miller et Hinshaw (2010), réalisée chez un groupe de filles avec ou sans TDA/H âgées de 6 à 12 ans, suggère que les FE prédisent le rendement scolaire et le fonctionnement social à travers l'échantillon entier, et non seulement pour les enfants atteints de TDA/H. Ces résultats soulignent donc l'aspect non spécifique des déficits FE et de leurs effets.

Plusieurs études qui ont examiné la relation entre les fonctions attentionnelles ou exécutives et la réussite scolaire ont été conduites chez des enfants d'âge préscolaire se développant de façon normale (Blair & Razza, 2007; Bull, Espy, & Wiebe, 2008; Bull & Scerif, 2001; Clark, Pritchard, & Woodward, 2010; Duncan et al., 2007; Fuhs, Nesbitt, Farran, & Dong, 2014; Monette et al., 2011). Plus spécifiquement, des études ont montré des liens entre l'inhibition et les habiletés émergentes en mathématiques (Blair & Razza, 2007; Clark et al., 2010; Lan, Legare, Ponitz, Li, & Morrison, 2011), ainsi qu'en lecture et en écriture (Blair & Razza, 2007; Monette et al., 2011). En revanche, sur le plan de

l'attention, aucune étude n'a été réalisée à partir de tests neuropsychologiques, à l'exception d'une méta-analyse réalisée par Duncan et al. (2007) dans laquelle une seule étude utilise une tâche neuropsychologique, une tâche de performance continue, tandis que les cinq autres études étaient basées sur des questionnaires, tels que la liste de vérification du comportement des jeunes d'Achenbach (CBCL; Achenbach, 1991), ou des rapports d'enseignants ou de parents. Néanmoins, les résultats de l'étude soulignent que l'attention est parmi les meilleurs prédicteurs du rendement scolaire, tout comme les habiletés en mathématiques et en lecture à l'entrée scolaire.

Chez les enfants et les adolescents d'âge scolaire, l'inhibition a été liée aux habiletés en lecture et en écriture (Altemeier, Jones, Abbott, & Berninger, 2006; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006; Waber et al., 2006), en mathématiques (Agostino, Johnson, & Pascual-Leone, 2010; Bull & Scerif, 2001; Checa, Rodríguez-Bailón, & Rueda, 2008; Latzman et al., 2010; Rasmussen & Bisanz, 2005; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006; Waber et al., 2006), ainsi qu'en sciences (Latzman et al., 2010; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). La seule étude répertoriée en ce qui concerne le lien entre les fonctions attentionnelles, évaluées à l'aide d'une tâche neuropsychologique, et la réussite scolaire, est celle de Gordon et al. (1994). Ceux-ci ont exploré le lien possible entre l'attention, mesurée à l'aide d'une tâche de performance continue du Gordon Diagnostic System, et la reprise d'une année scolaire chez des enfants considérés comme se développant normalement. Ils ont comparé 89 enfants ayant repris une année scolaire à un moment quelconque de leur parcours scolaire à 93

enfants n'ayant jamais repris une année scolaire. Les enfants ayant repris une année scolaire ont montré une plus grande fréquence de scores anormaux à l'index d'attention soutenue (score total de bonnes réponses) que les 93 enfants qui n'en avaient jamais repris.

Parmi les études ayant examiné la présence d'un lien entre l'inhibition et le rendement scolaire chez les jeunes d'âge scolaire, seules trois études ont été réalisées avec des élèves de niveau secondaire. Tout d'abord, dans l'étude de Checa et al. (2008), le contrôle de l'interférence, mesuré à l'aide d'une tâche associée à différents réseaux de l'attention (Attention Network Task modifiée; Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002), était relié au rendement scolaire, et ce, particulièrement en mathématiques. Dans l'étude de Latzman et al. (2010), réalisée chez des garçons de 11 à 16 ans, les résultats ont indiqué que les FE contribuaient à la prédiction de tous les domaines scolaires de façon distincte et au-delà du fonctionnement intellectuel général. L'inhibition prédisait le rendement en mathématiques et en sciences. La capacité de flexibilité conceptuelle prédisait la lecture et les sciences. Le monitoring prédisait la lecture et les matières de nature sociale. Ces résultats suggèrent que les exigences liées aux matières scolaires spécifiques sollicitent des habiletés cognitives différentes. Par ailleurs, de façon globale, les FE contribuent significativement à la prédiction de tous les domaines scolaires, comptant pour une explication supplémentaire de 6 à 10 % de la variance, au-delà du fonctionnement intellectuel général. Enfin, dans l'étude de St Clair-Thompson et Gathercole (2006), la MT était associée plus fortement au rendement

scolaire que l'inhibition, bien que cette dernière était aussi liée au rendement scolaire. L'association la plus forte a été observée entre la MT et le rendement en lecture et écriture. Lorsque la MT était contrôlée, l'inhibition était significativement associée à l'acquisition dans chaque matière scolaire examinée, indiquant que l'inhibition supporte l'apprentissage scolaire général plutôt que l'acquisition d'habiletés et de connaissances d'une matière spécifique. Il doit toutefois être noté que l'ampleur des associations entre les acquisitions et la MT était considérablement plus forte que les liens trouvés entre les acquisitions et les habiletés d'inhibition.

Outils d'évaluation des fonctions attentionnelles et exécutives en neuropsychologie

Outils traditionnels d'évaluation

L'évaluation neuropsychologique traditionnelle (tests psychométriques de type papier-crayon majoritairement) permet de mieux comprendre les capacités et les troubles attentionnels et exécutifs de l'adolescent, de préciser le diagnostic et de contribuer à la conception de stratégies de réadaptation (Gioia & Isquith, 2004; Lezak, 2012). Elle comporte certains avantages tels qu'un contrôle systématique de la mesure et une certaine spécificité. En revanche, sa validité écologique a été critiquée (Chaytor, Schmitter-Edgecombe, & Burr, 2006; Isquith, Gioia, & Espy, 2004; Sbordone & Long, 1996). En effet, la validité écologique des mesures traditionnelles des FE tend à demeurer de faible à modérée (Burgess, Alderman, Evans, Emslie, & Wilson, 1998; Chaytor et al., 2006). La validité écologique renvoie à la relation fonctionnelle et

prédictive entre la performance d'un individu à un ensemble de tests neuropsychologiques et le comportement de celui-ci dans une variété d'environnements de la vie de tous les jours (p.ex., à l'école dans le cas de la présente étude) (Sbordone, 1996; Sbordone & Guilmette, 1999). Un outil d'évaluation écologiquement valide est celui qui a des caractéristiques similaires au comportement se produisant naturellement (vérisimilitude) et qui a de la valeur dans la prédiction du fonctionnement de tous les jours (véridicalité) (Franzen & Wilhelm, 1996). Ces considérations sont importantes en raison des objectifs de la neuropsychologie clinique. En effet, le défi n'est pas seulement de déterminer les forces et les faiblesses attentionnelles et exécutives, mais aussi d'évaluer et de prédire leurs impacts pour le fonctionnement de la personne dans l'environnement de tous les jours (Gioia & Isquith, 2004; Long, 1996; Vakil, 2012), de même qu'à recommander des interventions et adaptations nécessaires (Gioia & Isquith, 2004; Klinger, Marié, & Fuchs, 2006; Long, 1996) à mettre en place notamment dans le milieu scolaire.

Bien que plusieurs études aient montré des liens entre les FE et le rendement scolaire (voir section précédente *Fonctions attentionnelles, fonctions exécutives et rendement scolaire*), le manque de relations entre les mesures des FE traditionnelles et les comportements observés dans la vie quotidienne peut passer sous silence certaines faiblesses (Anderson, 2002; Damasio et al., 1996; Lezak, 2012). En effet, une dissociation entre des performances normales en situation d'évaluation neuropsychologique traditionnelle et la présence de déficits attentionnels et exécutifs en

vie quotidienne est souvent observée (Lezak, 2012; Poncet, Taillefer, Chevignard, Picq, & Pradat-Diehl, 2009; Shallice & Burgess, 1991; Trepagnier, 1999). Les outils traditionnels d'évaluation neuropsychologique ne parviennent donc pas toujours à détecter les déficits comportementaux et cognitifs du patient (Sbordone, 2008).

Plusieurs caractéristiques de l'évaluation neuropsychologique traditionnelle ont été énoncées pour en expliquer les limites de validité écologique. Tout d'abord, au niveau des tâches, celles-ci peuvent manquer de sensibilité. Elles sont typiquement nouvelles et courtes. Elles requièrent de compléter qu'une tâche à la fois et leurs objectifs sont clairement déterminés dès le départ. Ceci peut donc significativement diminuer la généralisation de la performance donnée aux tests à celle, plus complexe, qu'exigent les environnements de la vraie vie (Poncet et al., 2009; Rizzo et al., 2001; Sbordone, 1996). De plus, les tâches qu'une personne doit réaliser dans la vie quotidienne nécessitent l'implication de plusieurs fonctions attentionnelles et exécutives en interaction (Isquith, Roth, & Gioia, 2013; Klinger et al., 2006; Rizzo, Schultheis, Kerns, & Mateer, 2004).

L'aspect peu naturel des situations d'évaluation neuropsychologique peut difficilement représenter le comportement de la personne dans un environnement fonctionnel de tous les jours (Lezak, 2012; Sbordone & Long, 1996). L'adolescent est évalué dans un environnement particulièrement structuré, silencieux et sans distraction. Cela est susceptible de minimiser les difficultés attentionnelles et exécutives observées dans la vie courante (Lezak, 2012; Sbordone & Long, 1996). Ces conditions

particulières sont susceptibles d'optimiser la performance du sujet aux tests neuropsychologiques, particulièrement les tests qui requièrent les fonctions attentionnelles et exécutives. Sous de telles conditions artificielles, il peut être difficile de généraliser les résultats de l'évaluation au milieu scolaire. En effet, les classes peuvent être particulièrement bruyantes, plus imprévisibles et contenir de nombreux stimuli externes. Elles sont hautement dissemblables des conditions sous lesquelles l'évaluation neuropsychologique traditionnelle s'est produite (Poncet et al., 2009; Sbordone, 2008; Sbordone & Long, 1996; Silver, 2012). Même une tâche simple peut devenir complexe à réaliser en vie quotidienne.

Par ailleurs, la présence de l'évaluateur peut masquer la présence de déficits attentionnels et exécutifs chez l'adolescent. En effet, celui-ci encourage l'adolescent, peu importe le succès ou l'échec, initie et planifie les activités et donne les instructions de façon individuelle. Il sert de contrôle exécutif externe (Stuss & Alexander, 2000). Souvent, les déficits des FE ne sont révélés que lorsque l'individu est seul ou qu'il oublie qu'il est observé (Isquith et al., 2013; Sbordone & Long, 1996; Trepagnier, 1999). La question n'est pas de savoir si un individu est capable de performer, mais de savoir comment il fonctionne, lorsque laissé non supervisé, ou lorsque se percevant comme étant non supervisé (Trepagnier, 1999).

En plus des problèmes en lien avec la validité écologique, la méthodologie de l'évaluation neuropsychologique traditionnelle présente certains problèmes de fidélité et

de validité. Tout d'abord, la fidélité des tâches traditionnelles, qui correspond à la capacité d'un instrument à obtenir des résultats équivalents d'une passation à l'autre, est défavorablement affectée par la variabilité des procédures d'administration en raison des différences entre les évaluateurs, l'environnement d'évaluation, la qualité des stimuli présentés et les erreurs de correction des tâches (Le Gall & Allain, 2001; Rizzo et al., 2001). De plus, la validité des méthodes traditionnelles, qui renvoie à la capacité d'un test à mesurer réellement ce qu'il est censé mesurer (Le Gall & Allain, 2001; Rizzo et al., 2001), est diminuée par le fait que certains tests requièrent de multiples fonctions cognitives pour une exécution réussie. Il devient donc difficile d'analyser sur quelle fonction cognitive portait spécifiquement l'évaluation (Le Gall & Allain, 2001; Rizzo et al., 2001).

Réalité virtuelle

La réalité virtuelle est une technologie novatrice avec une variété d'avantages potentiels pour l'évaluation, la réadaptation et la recherche en lien avec de nombreuses fonctions cognitives qui ne sont pas disponibles en utilisant d'autres méthodes neuropsychologiques traditionnelles (Parsons, Bowerly, Buckwalter, & Rizzo, 2007; Rizzo et al., 2000). Elle permet la présentation précise et le contrôle d'environnements tridimensionnels dynamiques simulés par ordinateur à l'intérieur desquels les participants peuvent interagir en temps réel et où leurs réponses comportementales peuvent être enregistrées et mesurées (Rizzo et al., 2006; Rizzo et al., 2004; Schultheis & Rizzo, 2001; Trepagnier, 1999). L'individu entre en immersion grâce au port d'un

visiocasque sur lequel est projeté l'environnement virtuel. Un système de détection du mouvement est intégré au visiocasque et il traduit l'information relative aux mouvements de la tête dans l'environnement.

Un des principaux bénéfices que peut apporter la réalité virtuelle est une validité écologique augmentée et donc une plus grande généralisation des résultats au quotidien (Rizzo et al., 2001; Rizzo et al., 2004; Schultheis, Himmelstein, & Rizzo, 2002; Schultheis & Rizzo, 2001). En effet, celle-ci permet la présentation de tâches neuropsychologiques enchâssées dans un environnement significatif et familier (p.ex., salle de classe, bureau) qui simule la vraie vie et suscite des réponses fonctionnelles (Klinger et al., 2006; Le Gall & Allain, 2001; Parsons et al., 2007; Rizzo et al., 2012; Rizzo et al., 2000; Rizzo et al., 2004; Schultheis et al., 2002; Schultheis & Rizzo, 2001). La réalité virtuelle permet aux stimuli externes de faire partie de la batterie d'évaluation tout en mesurant les habiletés cognitives ciblées. Les chercheurs ont suggéré que l'intégration de distractions contrôlées peut améliorer la validité écologique des tâches parce que les tests représenteront mieux la performance cognitive de tous les jours où les tâches sont rarement exécutées sans interruption (Parsey & Schmitter-Edgecombe, 2013; Parsons et al., 2007; Rizzo et al., 2006). Par ailleurs, le fait d'être immergé à l'intérieur de l'environnement virtuel permet à l'individu d'oublier qu'il est dans une situation d'évaluation. Ceci peut donc permettre une évaluation des comportements sous des conditions plus naturelles et procurer un meilleur aperçu du fonctionnement typique de

l'individu dans la vie quotidienne (Parsey & Schmitter-Edgecombe, 2013; Schultheis & Rizzo, 2001; Trepagnier, 1999).

Par ailleurs, la technologie de la réalité virtuelle offre la possibilité d'améliorer la fidélité et la validité psychométrique (Rizzo et al., 2001; Rizzo et al., 2000). En effet, celle-ci permet un meilleur contrôle de l'environnement perceptuel, une présentation exacte et constante des stimuli, et un enregistrement informatisé automatique et précis des résultats (p.ex., précision, rythme, constance) (Le Gall & Allain, 2001; Parsons et al., 2007; Pugnetti et al., 1995; Rizzo et al., 2001; Vakil, 2012). Cette technique peut donc améliorer la fidélité des évaluations classiques en minimisant la variabilité due aux différences entre les examinateurs, l'environnement d'évaluation et la qualité des stimuli (Pugnetti et al., 1995). Par ailleurs, la validité de l'évaluation neuropsychologique peut aussi être améliorée par la mesure plus précise et détaillée de comportements difficiles à appréhender dans les tâches neuropsychologiques traditionnelles (p.ex., capture et quantification des comportements moteurs) permettant l'identification de domaines cognitifs plus spécifiques (Le Gall & Allain, 2001; Parsons et al., 2007; Pugnetti et al., 1995; Rizzo et al., 2001). Cette amélioration des conditions d'application des tests permet de penser qu'il est possible de discriminer des déficits attentionnels et exécutifs subtils (Le Gall & Allain, 2001).

En lien avec l'environnement scolaire plus précisément, les récentes évolutions en réalité virtuelle ont mené à la conception de la classe virtuelle par Rizzo et al (2000)

comme mesure de l'attention et des FE dans laquelle un CPT est encastré. Le CPT est un test d'attention soutenue et d'inhibition.

La majorité des études ont surtout porté sur l'utilité de la classe virtuelle dans l'évaluation de population clinique, plus spécifiquement chez les enfants ayant un TDA/H (Adams, Finn, Moes, Flannery, & Rizzo, 2009; Bioulac et al., 2012; Bowerly, 2002; Gutiérrez Maldonado, Letosa-Porta, Rus-Calafell, & Peñaloza-Salazar, 2009; Moreau, Guay, Achim, Rizzo, & Lageix, 2006; Parsons, Rizzo, Rogers, & York, 2009; Pollak, Shomaly, Weiss, Rizzo, & Gross-Tsur, 2010; Pollak et al., 2009; Rizzo et al., 2006) et ceux ayant un TCC (Martin & Nolin, 2009; Nolin, Martin, & Bouchard, 2009; Nolin, Stipanicic, Henry, Joyal, & Allain, 2012). Aucune étude ne s'est encore intéressée à l'utilisation de la réalité virtuelle comme outil d'évaluation neuropsychologique en lien avec le rendement scolaire.

Objectifs et hypothèses de recherche

La synthèse des écrits scientifiques a démontré que certaines études se sont penchées sur les liens entre les FE, plus précisément l'attention et l'inhibition, et le rendement scolaire. Toutefois, la plupart des études ont davantage été réalisées auprès de jeunes enfants. En effet, peu d'études se sont concentrées sur l'impact des FE sur le rendement scolaire chez les adolescents. Pourtant, l'école secondaire peut présenter des demandes accrues sur les capacités d'attention et de régulation. Par ailleurs, les études réalisées jusqu'à maintenant ont été faites à partir d'instruments traditionnels, ce qui

peut avoir mené à des corrélations modestes puisque des limites sont rapportées en lien avec ce type d'évaluation pour prévoir le fonctionnement au quotidien. La réalité virtuelle est un outil d'évaluation de plus en plus utilisé en neuropsychologie afin d'augmenter la validité écologique. Par ailleurs, dans la majorité des cas, des tests neuropsychologiques sont utilisés pour évaluer le rendement scolaire, alors que les bulletins scolaires pourraient représenter une mesure plus écologique du rendement scolaire, tout comme l'évaluation de l'attention et de l'inhibition à l'aide de la classe virtuelle. Le but de la présente étude était donc d'étudier si l'évaluation faite à l'aide de la réalité virtuelle était davantage corrélée au rendement scolaire, tel que mesuré par les résultats au bulletin scolaire, comparativement à l'évaluation traditionnelle. Il était attendu : 1) qu'il y aurait des liens significatifs entre d'une part, l'évaluation traditionnelle et virtuelle et, d'autre part le rendement scolaire; 2) que la tâche virtuelle serait davantage corrélée au rendement scolaire que l'évaluation traditionnelle.

Méthode

Cette section présente une description de la méthode utilisée lors de la réalisation de l'étude. Les informations relatives aux participants constituant l'échantillon, au matériel, au déroulement de l'expérimentation et aux analyses effectuées sont présentées.

Participants

Les participants ont été recrutés dans une école secondaire de la ville de Trois-Rivières. Quelques 450 élèves des programmes Sports-études et Musique-études ont été sollicités lors de présentations du projet de recherche par deux assistantes dans les classes. Cent dix-sept adolescents ont accepté de participer à l'étude. Les participants étaient âgés de 12 à 16 ans et n'ont jamais présenté de trouble de développement ou d'apprentissage. Dix-huit adolescents n'ont pas été retenus parce qu'ils ne se sont pas présentés au rendez-vous pour l'évaluation ($n = 5$), en raison de difficultés techniques lors de l'évaluation ($n = 1$) ou de l'absence d'informations en lien avec leur rendement scolaire (bulletins scolaires) ($n = 10$). Cent un participants ont été retenus, soit 58 garçons et 43 filles, dont la moyenne d'âge était de 13,58 ans avec un écart-type de 1,10 an. Ils provenaient de classe de la première à la cinquième secondaire : première ($n = 26$), deuxième ($n = 37$), troisième ($n = 25$), quatrième ($n = 12$) et cinquième secondaire ($n = 1$). La participation à la recherche était sur une base volontaire sans rémunération. Le consentement écrit a été obtenu et dûment signé par chaque participant et un parent.

Notons que cette étude s'est inscrite dans un projet plus large qui portait sur l'évaluation et les impacts de la commotion cérébrale en contexte sportif. Elle est approuvée par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Trois-Rivières.

Matériel

Le matériel utilisé pour l'expérimentation incluait des ordinateurs, chacun muni d'une souris, d'un clavier, de haut-parleurs et d'un visiocasque binoculaire *eMagin Z800* pour favoriser l'immersion dans la classe virtuelle. Ce dispositif d'affichage est installé sur la tête du participant devant les yeux. Il est doté d'un traqueur intégré permettant de détecter les mouvements de tête du participant. L'expérimentation a été réalisée dans quatre locaux réservés de l'école secondaire ciblée par l'étude.

Instruments de mesure

Questionnaire de développement et d'informations générales

Ce questionnaire, développé par l'équipe de recherche, porte sur les renseignements sociodémographiques, le cheminement scolaire, la santé physique et mentale de la période périnatale au moment de l'évaluation. Il a été administré pour vérifier que les participants avaient une histoire développementale et scolaire normale.

Bulletin scolaire

Les bulletins scolaires ont été utilisés pour récolter les informations sur le rendement scolaire de chaque participant dans trois matières. Il s'agissait plus précisément des résultats de la première ou de la deuxième étape de l'année scolaire en cours des élèves impliqués dans l'étude dans le domaine du français (lecture, écriture, communication, note totale en français), des mathématiques (résolution, raisonnement, communication, note totale en mathématiques) et des sciences et de la technologie (résolution de problèmes, utilisation des connaissances, communications, note totale en sciences et technologie).

Test neuropsychologique traditionnel : Vigil Continuous Performance Test

Le Vigil Continuous Performance Test (VIGIL-CPT; Cegalis & Bowlin, 1991) a été administré aux participants. Dans ce test traditionnel d'attention et d'inhibition, différentes lettres de l'alphabet apparaissent une à la fois dans le centre de l'écran d'un ordinateur à un intervalle constant à travers le test. Le participant doit appuyer sur le bouton gauche de la souris chaque fois que la lettre « K » apparaît, immédiatement précédée de la lettre « A ». Un total de 300 stimuli est présenté durant six minutes dont 60 nécessitent une réponse. Le VIGIL-CPT est reconnu comme une mesure de l'attention sélective et soutenue, de la vigilance, de l'impulsivité et du temps de réaction en recherche et en clinique (Egeland & Kovalik-Gran, 2010). Les quatre variables retenues aux fins d'analyse étaient : le nombre de bonnes réponses (c.-à-d., le fait de

répondre à la lettre « K » lorsqu'elle était immédiatement précédée par la lettre « A »), le nombre de commissions (c.-à-d., le fait de répondre à la lettre « K » lorsqu'elle n'était pas précédée par la lettre « A » ou répondre à une autre lettre), le nombre de perséverations (c.-à-d., une réponse dont le temps de réaction était physiologiquement trop court pour être considérée comme étant volontaire) et le temps moyen de réaction en millisecondes.

Test neuropsychologique virtuel : Classe virtuelle : ClinicaVR : Classroom-CPT

Le test virtuel d'attention et d'inhibition utilisé était le CPT en classe virtuelle. La classe virtuelle, préalablement développée par Rizzo et al. (2000), a été révisée par l'équipe de Digital MediaWorks (<http://www.dmw.ca>) sous le nom de *ClinicaVR : Classroom-CPT*. À l'exception de l'environnement dans lequel elle a été administrée, cette tâche est identique au VIGIL-CPT. Les stimuli apparaissent sur un tableau blanc situé dans la classe virtuelle, au lieu d'être présenté au centre de l'écran d'un ordinateur. Par ailleurs, des personnes et des objets généralement retrouvés, dans une vraie classe (un tableau, des chaises, des pupitres, un professeur et des élèves), de même que des sons typiques y étaient présentés. Les participants ont été immergés dans cet environnement virtuel en portant le visiocasque qui leur permettait de regarder à 360 degrés autour d'eux dans toutes les directions. Des distractions auditives et visuelles semblables à celles d'une vraie classe étaient présentées pendant l'exécution du CPT (p.ex., quelqu'un qui frappait à la porte, un élève qui lançait un avion en papier, des enfants qui riaient à l'extérieur, une visite du directeur). Les sept variables retenues aux

fins d'analyses étaient : le nombre de bonnes réponses, le nombre de commissions, le temps de réaction moyen en millisecondes aux cibles (bonnes réponses), le temps de réaction moyen en millisecondes lors de commissions, le nombre de mouvements de tête haut-bas (vertical), le nombre de mouvements de tête gauche-droite (horizontal) et le nombre de mouvements d'inclinaison de tête. Toutes les variables étaient exprimées en scores bruts pour le CPT virtuel, de même que pour le VIGIL-CPT traditionnel.

Déroulement

Les tâches neuropsychologiques et le questionnaire de développement et d'informations générales ont été administrés aux participants par dix assistants de recherche du baccalauréat en psychologie préalablement formés. Les élèves ont participé individuellement aux séances d'évaluation durant les heures de classe. L'ordre de passation des versions traditionnelle et virtuelle du CPT a été contrebalancé à travers les participants afin de prévenir un effet de pratique ou de fatigue. La direction de l'établissement scolaire a fourni les bulletins scolaires des élèves impliqués dans l'étude.

Analyses effectuées

Des analyses de corrélation (r de Pearson) ont été effectuées pour évaluer, d'une part, l'intensité de la relation linéaire entre les 12 variables du rendement scolaire dans les matières principales (c.-à-d., français, mathématiques, et sciences et technologie),

telles que rapportées par les résultats scolaires au bulletin, et d'autre part, les quatre variables tirées du CPT traditionnel, de même que les sept variables du CPT virtuel.

Résultats

Cette section présente les résultats des analyses statistiques en lien avec les hypothèses de recherche.

Corrélations entre le rendement scolaire et la performance aux tâches traditionnelle et virtuelle

Des analyses corrélationnelles ont été effectuées afin de vérifier la relation linéaire entre les variables du rendement scolaire et celles de la performance à la tâche traditionnelle, de même qu'entre les variables du rendement scolaire et celles de la performance à la tâche virtuelle.

Résultats corrélationnels au Vigil-CPT traditionnel

Au VIGIL-CPT traditionnel, comme le Tableau 1 l'indique, les résultats ont révélé un lien significatif positif entre le rendement scolaire en sciences et technologie communication et le nombre de perséverations ($r(35) = ,54 p = ,001$). Ainsi, plus les participants obtenaient un haut résultat scolaire en sciences et technologie communication, plus ils faisaient de perséverations. Une corrélation significative négative a aussi été retrouvée entre le domaine de mathématiques raisonnement et le temps moyen de réaction ($r(83) = -,23, p = ,03$). Ainsi, plus le résultat en mathématiques raisonnement augmentait, moins le temps de réaction était long. Par ailleurs, la moyenne en mathématiques, constituée des trois autres résultats dans cette matière (c.-à-d.,

résolution, raisonnement et communication), était aussi inversement liée au temps de réaction ($r(97) = -.20, p = .05$). Aucune autre corrélation significative n'a été observée entre les résultats scolaires et le VIGIL-CPT traditionnel. Mentionnons toutefois qu'une tendance positive est présente entre le français lecture et le nombre de bonnes réponses ($r(95) = .18, p = .08$). Ces résultats suggèrent peu de corrélations entre le rendement scolaire et la tâche traditionnelle.

Tableau 1

Corrélations entre le VIGIL-CPT et les résultats scolaires

Résultats		CPT-VIGIL			
		Nombre de bonnes réponses	Nombre de commissions	Nombre de persévérations	Temps moyen de réaction
Français	Lecture	,18	-,17	-,00	,01
	Écriture	,06	-,03	-,15	,02
	Communication	,11	-,02	,08	-,08
	Moyenne	,13	-,09	-,06	-,01
Sciences et technologie	Résolution de problèmes	,03	-,14	-,21	,05
	Utilisation des connaissances	,08	,04	,07	-,11
	Communications	,02	,03	,54** (n = 37)	,13
	Moyenne	,05	,02	,10	-,08
Mathématiques	Résolution	-,03	-,02	,04	-,03
	Raisonnement	-,02	-,02	,12	-,23*
	Communication	,06	-,05	-,09	-,14
	Moyenne	-,00	-,03	,06	-,20
					(n = 99)

* $p < ,05$. ** $p < ,01$

Résultats corrélationnels au Vigil-CPT en classe virtuelle

Pour le CPT en classe virtuelle, les résultats présentés au Tableau 2 indiquent une corrélation significative positive entre le résultat en mathématiques résolution et le nombre de bonnes réponses ($r(59) = ,32, p = ,01$). Ainsi, plus le rendement en mathématiques résolution était élevé, plus le nombre de bonnes réponses augmentait pour la tâche virtuelle. Les résultats ont aussi révélé un lien significatif négatif entre, d'une part, le nombre de commissions et le français lecture ($r(95) = -,20, p = ,05$) et, d'autre part, le nombre de commissions et les sciences et la technologie résolution de problèmes ($r(29) = -,37, p = ,04$). Ainsi, plus le rendement dans ces deux matières était élevé, moins les participants faisaient d'erreurs de commission. Aucune autre corrélation significative n'a été observée entre les résultats scolaires et la classe virtuelle. Des tendances sont néanmoins présentes, dont une positive entre les sciences et la technologie résolution de problèmes et le nombre de bonnes réponses ($r(29) = ,34, p = ,06$), et quatre corrélations négatives entre le français communication et le temps de réaction aux cibles ($r(95) = -,17, p = ,09$), les sciences et la technologie résolution de problèmes et le nombre de mouvements de tête haut-bas ($r(29) = -,34, p = ,07$), les sciences et la technologie utilisation des connaissances et le nombre de commissions ($r(94) = -,18, p = ,09$), et la moyenne en sciences et technologie, constituée des trois autres résultats dans cette matière (c.-à-d., résolution de problèmes, utilisation des connaissances et communications), et le nombre de commissions ($r(96) = -,18, p = ,09$). En somme, les résultats suggèrent peu de corrélations entre le rendement scolaire et la tâche virtuelle. De plus, les deux tâches (CPT traditionnel et virtuel) ont démontré des

corrélations avec des matières différentes. En revanche, il est possible de noter la présence d'un plus grand nombre de tendances statistiques entre le rendement scolaire et la tâche virtuelle, qu'avec le CPT traditionnel.

Tableau 2
Corrélations entre la classe virtuelle et les résultats scolaires

Résultats		Classe virtuelle						
		Nombre de bonnes réponses	Nombre de commissions	Temps de réaction	Temps de réaction	Nombre de mouvements de tête haut-bas	Nombre de mouvements de tête gauche-droite	Nombre de mouvements d'inclinaison de tête
Français	Lecture	,10	-,20 (n = 97)	-,04	,00	-,10	-,02	,02
	Écriture	,02	-,15	,09	,15	-,12	,03	,06
	Communication	,04	,09	-,17	-,06	,10	,16	,03
	Moyenne	,06	-,16	-,01	,09	-,09	,05	,05
Sciences et technologie	Résolution de problèmes	,34	-,37* (n = 31)	,07	-,23	-,34	-,30	-,18
	Utilisation des connaissances	,12	-,18	,09	,03	-,07	-,14	,01
	Communications	-,01	-,03	,15	,20	,02	,09	,16
	Moyenne	,15	-,18	,08	,01	-,06	-,12	,02
Mathématiques	Résolution	,32* (n = 61)	-,08	,00	-,02	,12	,13	,13
	Raisonnement	,09	,12	-,11	-,02	-,18	-,01	-,03
	Communication	,06	-,05	,07	-,14	-,03	-,02	,16
	Moyenne	,14	,05	-,04	-,08	-,07	,02	,06

* $p < ,05$.

Discussion

L'objectif de la présente étude était de vérifier si l'évaluation faite à l'aide d'une tâche d'attention et d'inhibition réalisée en réalité virtuelle était davantage corrélée au rendement scolaire que l'évaluation traditionnelle. Tout d'abord, les résultats obtenus seront discutés. Ensuite, les limites de l'étude et des recommandations pour les recherches futures seront exposées.

Synthèse des résultats

Rendement scolaire et performance aux tâches traditionnelle et virtuelle

Tout d'abord, afin de tester les hypothèses, des analyses de corrélations ont été effectuées entre les huit variables du rendement scolaire, rapporté au bulletin scolaire, et les quatre mesures de la tâche d'attention et d'inhibition traditionnelle, de même qu'entre les huit variables du rendement scolaire et les sept mesures en modalité virtuelle. Les quelques corrélations significatives entre le rendement scolaire et l'évaluation traditionnelle et virtuelle rendent difficile de conclure à une relation globale entre ces composantes.

Ainsi, la présente étude ne permet pas de répondre à la première hypothèse voulant qu'il y aurait des liens entre la mesure de l'attention et de l'inhibition (le CPT) et le rendement scolaire. Ces résultats sont étonnantes puisque la revue des écrits scientifiques

a permis de mettre en lumière des études qui supportaient ces liens. En effet, l'inhibition a été retrouvée comme une FE importante pour le rendement scolaire dans plusieurs des études recensées (Blair & Razza, 2007; Bull & Scerif, 2001; Espy et al., 2004; Latzman et al., 2010). De plus, les trois principales FE – l'inhibition, la flexibilité et la MT – ont aussi été liées au rendement scolaire (Blair & Razza, 2007; Latzman et al., 2010). Bien que les études sur les liens entre la flexibilité et le rendement soient plus rares et que les résultats soient moins clairs, plusieurs études ont indiqué un lien entre la MT et le rendement scolaire. Certaines études ont d'ailleurs souligné des relations plus fortes entre le rendement scolaire et la MT que l'inhibition (Monette et al., 2011; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006).

En ce qui concerne la tâche traditionnelle, le VIGIL-CPT, des corrélations significatives existent entre l'inhibition de la réponse (nombre de perséverations) et la vitesse de traitement de l'information (temps moyen de réaction) et le rendement en sciences et technologie et en mathématiques, respectivement, de même qu'une tendance entre l'attention (nombre de bonnes réponses) et le français. Ainsi, des liens sont observés entre trois variables (nombre de perséverations et de bonnes réponses, et temps moyen de réaction), associées aux différentes composantes de l'attention et de l'inhibition, mesurées à l'aide de la performance à la tâche traditionnelle et chacune des matières scolaires analysées (français, mathématiques et sciences et technologie). En revanche, aucune relation n'est observée entre le nombre de commissions, généralement associé à l'inhibition de la réponse, et le rendement scolaire. Par ailleurs, la relation

positive et significative entre le nombre de perséverations et les sciences et la technologie est plutôt inattendue. Elle suggère en effet une augmentation des perséverations en lien avec de bons résultats scolaires dans cette matière. Cela semble contraire aux études précédentes portant sur les mathématiques (p.ex., St Clair-Thompson & Gathercole, 2006), la lecture et l'écriture (p.ex., Checa et al., 2008) ou les sciences (p.ex., Latzman et al., 2010). En ce qui concerne l'attention et la vitesse de traitement de l'information et les liens retrouvés avec le français et les mathématiques, il n'est pas possible de les comparer aux études précédentes puisqu'elles ne portaient que sur le rendement scolaire global (Duncan et al., 2007) ou la reprise d'une année scolaire (Gordon et al., 1994).

En ce qui a trait au CPT présenté en classe virtuelle, une corrélation significative est présente entre l'attention (nombre de bonnes réponses) et les mathématiques, de même qu'une tendance entre l'attention (nombre de bonnes réponses) et les sciences et la technologie. De plus, des corrélations significatives entre l'inhibition de la réponse (nombre de commissions) sont présentes avec le rendement en sciences et technologie et en français, de même que des tendances entre l'inhibition de la réponse (nombre de commissions) et un autre domaine des sciences et de la technologie, ainsi qu'avec la moyenne générale de cette matière, et entre le contrôle de l'interférence (nombre de mouvements de tête haut-bas) et les sciences et la technologie. Une tendance est aussi retrouvée entre la vitesse de traitement (temps de réaction aux cibles) et le français. Ainsi, des liens sont observés entre quatre variables de la performance à la tâche

virtuelle (nombre de bonnes réponses et de commissions, temps de réaction aux cibles et nombre mouvements de tête haut-bas) et chacune des matières scolaires analysées (français, mathématiques et sciences et technologie). Plus spécifiquement, l'inhibition est reliée au français et aux sciences (aspect inhibition de la réponse : français et sciences; aspect contrôle de l'interférence : sciences) tel que retrouvé dans certaines études (p.ex., lecture : Checa et al., 2008; sciences : Latzman et al., 2010), mais pas aux mathématiques, contrairement à certainement études (p.ex., St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). En ce qui concerne plus précisément l'attention et la vitesse de traitement de l'information, comme pour les résultats obtenus au VIGIL-CPT, il n'est pas possible de comparer les liens retrouvés avec les sciences, les mathématiques et le français aux études précédentes puisqu'elles ne permettent pas une analyse détaillée des liens avec les matières scolaires. Bien qu'il ait été souligné par différentes études que les différentes FE (inhibition, flexibilité et MT) puissent contribuer à la prédiction des matières ou habiletés scolaires de façon distincte, il est difficile d'établir un modèle qui ressort des études précédentes. Il est toutefois possible de souligner que la majorité des relations observées au CPT présenté en classe virtuelle sont en lien avec les sciences et la technologie. Dans un autre ordre d'idée, aucune corrélation n'est observée entre le temps réaction aux commissions (associé à l'inhibition), de même qu'au nombre de mouvements gauche-droite et d'inclinaison de tête (associés au contrôle de l'interférence).

Comparaison entre les tâches traditionnelle et virtuelle en lien avec rendement scolaire

Le peu de corrélations entre le rendement scolaire et chacune des méthodes d'évaluation (traditionnelle et virtuelle) ne nous permet pas d'approfondir la comparaison entre les deux tâches pour vérifier si la tâche virtuelle est davantage corrélée au rendement scolaire que l'évaluation traditionnelle telle que le proposait notre seconde hypothèse. Néanmoins, le plus grand nombre de tendances entre les variables de la classe virtuelle et le rendement scolaire pourrait supporter le fait que la tâche virtuelle possède plus de liens avec le rendement scolaire que la tâche traditionnelle.

Ces résultats pourraient donc être mis en lien avec l'aspect écologique du CPT présenté en classe virtuelle. En effet, le VIGIL-CPT est administré dans des conditions peu représentatives de la vie réelle (bureau calme avec peu de distractions) qui contrastent avec l'environnement bruyant et distrayant d'une classe dans lequel l'adolescent doit demeurer attentif et inhiber les distractions afin d'écouter le professeur et exécuter ses tâches scolaires. Certains chercheurs se sont d'ailleurs interrogés sur l'utilité des tâches traditionnelles de performance continue dans la prédiction du fonctionnement quotidien, tels que les comportements en classe et le rendement scolaire (Rapport, Chung, Shore, Denney, & Isaacs, 2000). En revanche, le CPT présenté en classe virtuelle permet la présentation de tâches neuropsychologiques enchâssées dans un environnement significatif et familier (salle de classe) qui simule la vraie vie et suscite des réponses fonctionnelles, et non pas un environnement artificiel comme

l'évaluation neuropsychologique traditionnelle (Klinger et al., 2006; Le Gall & Allain, 2001; Parsons et al., 2007; Rizzo et al., 2012; Rizzo et al., 2000; Rizzo et al., 2004; Schultheis et al., 2002; Schultheis & Rizzo, 2001). Par ailleurs, le CPT présenté en classe virtuelle permet de combiner les avantages des approches traditionnelle et écologique. En effet, cette technologie permet de créer une situation reproduisant le mieux possible des situations de la vie réelle et dans laquelle l'enfant peut être directement observé tout en maintenant l'objectivité et la reproductibilité des épreuves de laboratoire (Marchal, Chevignard, Laurent-Vannier, & Quentin, 2006; Poncet et al., 2009).

Néanmoins, il faut toutefois souligner que les liens entre les variables et les matières scolaires ne sont pas les mêmes dans les deux tâches ce qui pourrait soulever le fait que l'approche de réalité virtuelle pourrait changer la nature fondamentale de la tâche. Tel que souligné par Parsey et Schmitter-Edgecombe (2013), il ne devrait pas être pris pour acquis que les mêmes construits cognitifs sont évalués par des mesures similaires traditionnelles et virtuelles.

Limites et recommandations

Tout d'abord, la présente étude est plutôt novatrice, puisqu'aucune étude n'avait encore évalué le lien entre le rendement scolaire et les fonctions attentionnelles et exécutives à l'aide d'une tâche virtuelle. Globalement, les résultats obtenus n'appuient que partiellement l'hypothèse d'un lien significatif entre l'évaluation traditionnelle et

virtuelle et le rendement scolaire. Néanmoins, quelques corrélations significatives sont présentes entre le rendement scolaire et les tâches traditionnelle et virtuelle. De la même façon, les résultats ne fournissent pas un appui clair pour soutenir que la tâche virtuelle est davantage corrélée au rendement scolaire que l'évaluation traditionnelle. Toutefois, le plus grand nombre de tendances observées permet tout de même de soutenir que la tâche virtuelle possède plus de liens avec le rendement scolaire que la tâche traditionnelle.

Par ailleurs, un certain nombre de faiblesses inhérentes à l'étude doivent être discutées. Premièrement, en ce qui concerne les caractéristiques de l'échantillon, le fait que les élèves proviennent de groupes scolaires enrichis (Sports-études et Musique-études) peut constituer une limite en lien avec la généralisation des résultats à la population adolescente et peut avoir contribué à diminuer la variation observée dans les résultats aux tâches traditionnelle et virtuelle.

Deuxièmement, l'utilisation unique des bulletins scolaires comme mesure du rendement scolaire peut aussi limiter la généralisation des résultats. Bien que les résultats aux examens puissent représenter une mesure plus écologique associée à l'environnement de la classe, il aurait été pertinent de considérer d'autres variables telles que le comportement en classe, le taux d'absentéisme et les tests de rendement standardisés. Le fait de considérer plusieurs facettes de la vie scolaire aurait peut-être permis d'observer davantage de corrélations significatives entre les variables. En effet,

l'utilisation de plusieurs types de mesures de rendement scolaire pourrait permettre de qualifier plus clairement le rôle de FE dans différents types d'apprentissage scolaire (Agostino et al., 2010; Altemeier et al., 2006; Rasmussen & Bisanz, 2005).

Troisièmement, le fait de n'évaluer que l'attention et l'inhibition, compte tenu de la présence de composantes multiples des FE et de leur contribution unique à la prédiction du rendement scolaire, représente une limite supplémentaire. Par ailleurs, l'intégration d'autres mesures écologiques telles que le BRIEF serait pertinente pour vérifier si la sensibilité supérieure du CPT présenté en classe virtuelle est liée à la nature écologique de l'outil ou s'il est simplement plus complexe que la tâche traditionnelle étant donné qu'il requiert du participant de traiter plus d'informations.

Conclusion

L'étude réalisée dans le cadre de cet essai doctoral était novatrice. En effet, aucune étude n'avait encore analysé le lien entre le rendement scolaire et les FE à l'aide d'une tâche d'évaluation virtuelle, plus précisément à l'aide du CPT présenté en classe virtuelle. En revanche, elle demeure embryonnaire et les résultats obtenus soulignent l'importance d'intégrer plusieurs mesures, tant sur le plan du rendement scolaire que des mesures de fonctions attentionnelles et exécutives, pour parvenir à des résultats plus concluants. En effet, les résultats obtenus n'appuient que partiellement l'hypothèse d'un lien significatif entre l'évaluation traditionnelle et virtuelle et le rendement scolaire. Peu de corrélations significatives sont présentes entre le rendement scolaire et les tâches traditionnelle et virtuelle. De la même façon, les résultats ne fournissent pas un appui clair pour soutenir que la tâche virtuelle soit davantage corrélée au rendement scolaire que l'évaluation traditionnelle. Toutefois, le plus grand nombre de tendances observées au niveau de la tâche virtuelle permet tout de même de soutenir que celle-ci possède plus de liens avec le rendement scolaire et qu'elle représenterait ainsi peut-être mieux le fonctionnement scolaire au quotidien. Des études supplémentaires sont nécessaires afin d'offrir une meilleure compréhension des liens observés.

Références

- Achenbach, T.M. (1991). *Manual for the Child Behavior Checklist/4-18 and 1991 profile*. Burlington : University of Vermont, Departement of Psychiatry.
- Adams, R., Finn, P., Moes, E., Flannery, K., & Rizzo, A. S. (2009). Distractibility in attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD): The virtual reality classroom. *Child Neuropsychology, 15*(2), 120-135.
- Agostino, A., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2010). Executive functions underlying multiplicative reasoning: Problem type matters. *Journal of Experimental Child Psychology, 105*(4), 286-305. doi: 10.1016/j.jecp.2009.09.006
- Altemeier, L., Jones, J., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2006). Executive functions in becoming writing readers and reading writers: Note taking and report writing in third and fifth graders. *Developmental Neuropsychology, 29*(1), 161-173.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology, 8*(2), 71-82. doi: 10.1076/chin.8.2.71.8724
- Anderson, P. J. (2008). Towards a developmental model of executive function. Dans V. Anderson, R. Jacobs & P. J. Anderson (Éds.), *Executive functions and the frontal lobes: A lifespan perspective* (pp. 3-20). New York: Taylor & Francis.
- Antshel, K. M. (2010). ADHD, learning, and academic performance in phenylketonuria. *Molecular Genetics and Metabolism, 99*(2010), S52-S58. doi: 10.1016/j.ymgme.2009.09.013
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences, 4*(11), 417-423. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin, 121*(1), 65-94. doi: 10.1037/0033-2909.121.1.65
- Biederman, J., Monuteaux, M. C., Doyle, A. E., Seidman, L. J., Wilens, T. E., Ferrero, F., ... Faraone, S. V. (2004). Impact of executive function deficits and attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) on academic outcomes in children. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 72*(5), 757-766. doi: 10.1037/0022-006x.72.5.757

- Bioulac, S., Lallemand, S., Rizzo, A., Philip, P., Fabrigoule, C., & Bouvard, M. P. (2012). Impact of time on task on ADHD patient's performances in a virtual classroom. *European Journal of Paediatric Neurology*, 16(5), 514-521. doi: 10.1016/j.ejpn.2012.01.006
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647-663. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x
- Bowerly, T. D. (2002). *The virtual classroom: An application in the assessment of attention deficit-hyperactivity disorder (ADHD)*. (63). Disponible chez ProQuest Dissertations & Theses Full Text. (2002-95018-192).
- 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. doi: 10.1080/87565640801982312
- 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.
- Burgess, P. W., Alderman, N., Evans, J., Emslie, H., & Wilson, B. A. (1998). The ecological validity of tests of executive function. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4(06), 547-558.
- Cegalis, J., & Bowlin, J. (1991). *Vigil: Software for testing concentration and attention*. Nashua, NH: Forthought.
- Chaytor, N., Schmitter-Edgecombe, M., & Burr, R. (2006). Improving the ecological validity of executive functioning assessment. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21(3), 217-227.
- Checa, P., Rodríguez-Bailón, R., & Rueda, M. R. (2008). Neurocognitive and temperamental systems of self-regulation and early adolescents' social and academic outcomes. *Mind, Brain, and Education*, 2(4), 177-187. doi: 10.1111/j.1751-228X.2008.00052.x
- 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

- Craig, K. J., & Chamberlain, S. R. (2010). The neuropsychology of anxiety disorders. Dans D. J. Stein, E. Hollander & B. O. Rothbaum (Éds.), *Textbook of anxiety disorders* (2nd ed.. éd., pp. 87-102). Washington, DC: American Psychiatric Pub.
- Damasio, A. R., Everitt, B. J., & Bishop, D. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 351(1346), 1413-1420. doi: 10.2307/3069187
- Dawson, P., & Guare, R. (2010). *Executive skills in children and adolescents A practical guide to assessment and intervention* (2nd ed. éd.). New York: Guilford Press.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., . . . Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428
- Egeland, J., & Kovalik-Gran, I. (2010). Measuring several aspects of attention in one test: The factor structure of Conners's Continuous Performance Test. *Journal of Attention Disorders*, 13(4), 339-346. doi: 10.1177/1087054708323019
- Elliot, C. D., Murray, D.J., & Pearson, L. S. (1979). *British Ability Scales*. Windsor, England: NFER-Nelson.
- Espy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A., & Senn, T. E. (2004). The Contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 465-486. doi: 10.1207/s15326942dn2601_6
- Fan, J. McCandliss, B. D. Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independance of attentionnal networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 340-347.
- Franzen, M. D., & Wilhelm, K. L. (1996). Conceptual foundations of ecological validity in neuropsychological assessment. Dans R. J. Sbordone & C. J. Long (Éds.), *Ecological validity of neuropsychological testing*. (pp. 91-112). Delray Beach, FL England: Gr Press/St Lucie Press, Inc.
- Fuhs, M. W., Nesbitt, K. T., Farran, D. C., & Dong, N. (2014). Longitudinal associations between executive functioning and academic skills across content areas. *Developmental Psychology*, 50(6), 1698-1709. doi: 10.1037/a0036633
- Fulton, J. B., Yeates, K. O., Taylor, H. G., Walz, N. C., & Wade, S. L. (2012). Cognitive predictors of academic achievement in young children 1 year after traumatic brain injury. *Neuropsychology*, 26(3), 314-322. doi: 10.1037/a0027973

- Garth, J., Anderson, V., & Wrennall, J. (1997). Executive functions following moderate to severe frontal lobe injury: Impact of injury and age at injury. *Pediatric Rehabilitation, 1*(2), 99-108.
- Gioia, G. A., & Isquith, P. K. (2004). Ecological assessment of executive function in traumatic brain injury. *Developmental Neuropsychology, 25*(1-2), 135-158.
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., & Guy, S. C. (2001). Assesment of executive function in children with neuropsychological impairments. Dans R. J. Simeonsson & S. L. Rosenthal (Éds.), *Psychological and developmental assessment: Children with disabilities and chronic conditions* (pp. 317-356). New York: Guilford Press.
- Gordon, M., Mettelman, B. B., & Irwin, M. (1994). Sustained attention and grade retention. *Perceptual and Motor Skills, 78*(2), 555-560.
- Guillery-Girard, B., Quinette, P., Piolino, P., Desgranges, B., & Eustache, F. (2008). Mémoire et fonctions exécutives. Dans B. Lechevalier, F. Eustache & F. Viader (Éds.), *Traité de neuropsychologie clinique : neurosciences cognitives et cliniques de l'adulte* (1re éd. éd., pp. 307-365). Bruxelles, Paris: De Boeck, Inserm.
- Gutiérrez Maldonado, J., Letosa-Porta, À., Rus-Calafell, M., & Peñaloza-Salazar, C. (2009). The assessment of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in children using continous performance tasks in virtual environments. *Anuario de psicología, 40*(2), 211-222.
- Isquith, P. K., Gioia, G. A., & Espy, K. A. (2004). Executive function in preschool children: Examination through everyday behavior. *Developmental Neuropsychology, 26*(1), 403-422. doi: 10.1207/s15326942dn2601_3
- Isquith, P. K., Roth, R. M., & Gioia, G. (2013). Contribution of rating scales to the assessment of executive functions. *Applied neuropsychology. Child, 2*(2), 125-132. doi: 10.1080/21622965.2013.748389
- Johnson, S., Wolke, D., Hennessy, E., & Marlow, N. (2011). Educational outcomes in extremely preterm children: Neuropsychological correlates and predictors of attainment. *Developmental Neuropsychology, 36*(1), 74-95. doi: 10.1080/87565641.2011.540541
- Klinger, E., Marié, R.-M., & Fuchs, P. (2006). Réalité virtuelle et sciences cognitives : applications en psychiatrie et neuropsychologie. *Cognito—Cahiers Romans de Sciences Cognitives, 3*(2), 1-31.

- Lan, X., Legare, C. H., Ponitz, C. C., Li, S., & Morrison, F. J. (2011). Investigating the links between the subcomponents of executive function and academic achievement: A cross-cultural analysis of Chinese and American preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 677-692. doi: 10.1016/j.jecp.2010.11.001
- Latzman, R. D., Elkovich, N., Young, J., & Clark, L. A. (2010). The contribution of executive functioning to academic achievement among male adolescents. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 32(5), 455-462. doi: 10.1080/13803390903164363
- Le Gall, D., & Allain, P. (2001). Applications des techniques de réalité virtuelle à la neuropsychologie clinique. *Champ psychosomatique*, 22(2), 25-38.
- Lehto, J. E., Juujarvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59.
- Levin, B. E. (1990). Organizational deficits in dyslexia: Possible frontal lobe dysfunction. *Developmental Neuropsychology*, 6(2), 95-110. doi: 10.1080/87565649009540453
- Lezak, M. D. (2012). *Neuropsychological assessment* (5th ed. éd.). New York: Oxford University Press.
- Long, C. J. (1996). Neuropsychological tests: A look at our past and the impact that ecological issues may have on our future. Dans R. J. Sbordone & C. J. Long (Éds.), *Ecological validity of neuropsychological testing*. (pp. 1-14). Delray Beach, FL England: Gr Press/St Lucie Press, Inc.
- Marchal, F., Chevignard, M., Laurent-Vannier, A., & Quentin, V. (2006). Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne chez l'enfant. Dans P. Pradat-Diehl & A. Peskine (Éds.), *Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne* (pp. 91-108). Paris: Springer.
- Martin, C., & Nolin, P. (2009). La réalité virtuelle comme nouvelle approche évaluative en neuropsychologie : l'exemple de la classe virtuelle avec des enfants ayant subi un traumatisme crânio-cérébral. *ANAE. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 21(101), 28-32.
- Meltzer, L. (2007). *Executive function in education: From theory to practice*. New York: Guilford Press.

- Meltzer, L. (2010). *Promoting executive function in the classroom*. New York: Guilford Press.
- Miller, M., & Hinshaw, S. P. (2010). Does childhood executive function predict adolescent functional outcomes in girls with ADHD? *Journal Of Abnormal Child Psychology*, 38(3), 315-326.
- 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. doi: 10.1006/cogp.1999.0734
- Monette, S., Bigras, M., & Guay, M.-C. (2011). The role of the executive functions in school achievement at the end of Grade 1. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109(2), 158-173. doi: 10.1016/j.jecp.2011.01.008
- Moreau, G., Guay, M., Achim, A., Rizzo, A., & Lageix, P. (2006). The virtual classroom: An ecological version of the continuous performance test—A pilot study. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 4, 59-66.
- Nolin, P., Martin, C., & Bouchard, S. (2009). Assessment of inhibition deficits with the virtual classroom in children with traumatic brain injury: A pilot-study. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine Studies in health technology and informatics*, 7, 240-242.
- Nolin, P., Stipanicic, A., Henry, M., Joyal, C. C., & Allain, P. (2012). Virtual reality as a screening tool for sports concussion in adolescents. *Brain injury*, 26(13-14), 1564-1573.
- Nolin, P., Stipanicic, A., Henry, M., Lachapelle, Y., Lussier-Desrochers, D., Drouin-Germain, A., & Durocher, A.-A. (soumis). ClinicaVR: Classroom-CPT: A new virtual reality tool for assessing attention and inhibition in children and adolescents. *Journal of CyberTherapy and Rehabilitation*. Manuscrit soumis pour publication.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. Dans R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. E. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation*. New York: Plenum Press.
- Parasuraman, R. (1998). *The attentive brain*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Parsey, C. M., & Schmitter-Edgecombe, M. (2013). Applications of technology in neuropsychological assessment. *The Clinical Neuropsychologist*, 27(8), 1328-1361. doi: 10.1080/13854046.2013.834971

- Parsons, T. D., Bowerly, T., Buckwalter, J. G., & Rizzo, A. A. (2007). A controlled clinical comparison of attention performance in children with ADHD in a virtual reality classroom compared to standard neuropsychological methods. *Child Neuropsychology, 13*(4), 363-381. doi: 10.1080/13825580600943473
- Parsons, T. D., Rizzo, A. A., Rogers, S., & York, P. (2009). Virtual reality in paediatric rehabilitation: A review. *Developmental Neurorehabilitation, 12*(4), 224-238. doi: 10.1080/17518420902991719
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 37*(1), 51-87. doi: 10.1111/j.1469-7610.1996.tb01380.x
- Poissant, H., Falardeau, M., & Poëllhuber, B. (1993). L'attention en classe : fonctionnement et applications. *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill, 28*(002).
- Pollak, Y., Shomaly, H. B., Weiss, P. L., Rizzo, A. A., & Gross-Tsur, V. (2010). Methylphenidate effect in children with ADHD can be measured by an ecologically valid continuous performance test embedded in virtual reality. *Cns Spectrums, 15*(2), 125-130.
- Pollak, Y., Weiss, P. L., Rizzo, A. A., Weizer, M., Shriki, L., Shalev, R. S., & Gross-Tsur, V. (2009). The utility of a continuous performance test embedded in virtual reality in measuring ADHD-related deficits. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics, 30*(1), 2-6.
- Poncet, F., Taillefer, C., Chevignard, M., Picq, C., & Pradat-Diehl, P. (2009). Évaluations écologiques du syndrome dysexécutif: un défi de taille pour l'ergothérapie. *La Lettre de médecine physique et de réadaptation, 25*(2), 88-98.
- Pugnetti, L., Mendoza, L., Motta, A., Cattaneo, A., Barbieri, E., & Brancotti, A. (1995). Evaluation and retraining of adults' cognitive impairments: Which role for virtual reality technology? *Computers in Biology and Medicine, 25*(2), 213-227.
- Rapport, M. D., Chung, K.-M., Shore, G., Denney, C. B., & Isaacs, P. (2000). Upgrading the science and technology of assessment and diagnosis: Laboratory and clinic-based assessment of children with ADHD. *Journal of Clinical Child Psychology, 29*(4), 555-568. doi: 10.1207/S15374424JCCP2904_8
- Rasmussen, C., & Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*(2), 137-157. doi: 10.1016/j.jecp.2005.01.004

- Raver, C. C., Jones, S. M., Li-Grining, C., Zhai, F., Bub, K., & Pressler, E. (2011). CSRP's Impact on low-income preschoolers' preacademic skills: Self-regulation as a mediating mechanism. *Child Development*, 82(1), 362-378. doi: 10.1111/j.1467-8624.2010.01561.x
- Rennie, B., Beebe-Frankenberger, M., & Swanson, H. L. (2014). A longitudinal study of neuropsychological functioning and academic achievement in children with and without signs of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 36(6), 621-635. doi: 10.1080/13803395.2014.921284
- Rizzo, A., Parsons, T. D., Kenny, P., & Buckwalter, J. G. (2012). Using virtual reality for clinical assessment and intervention. Dans L. L'Abate & D. A. Kasier (Éds.), *Handbook of technology in psychology, psychiatry and neurology theory, research and practice* (pp. 277-318). Hauppauge, N.Y.: Nova Science Publishers.
- Rizzo, A. A., Bowerly, T., Buckwalter, J. G., Klimchuk, D., Mitura, R., & Parsons, T. (2006). A virtual reality scenario for all seasons: The virtual classroom. *Cns Spectrums*, 11(1), 35-44.
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Bowerly, T., Humphrey, L., Neumann, U., & Rooyen, A. (2001). The virtual classroom: A virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits. *Revista Española de Neuropsicología*, 3(3), 11-37.
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Bowerly, T., Van Der Zaag, C., Humphrey, L., Neumann, U., ... Sisemore, D. (2000). The virtual classroom: A virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits. *Cyberpsychology and Behavior*, 3(3), 483-499.
- Rizzo, A. A., Schultheis, M., Kerns, K. A., & Mateer, C. (2004). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. *Neuropsychological Rehabilitation*, 14(1-2), 207-239. doi: 10.1080/09602010343000183
- Rose, S. A., Feldman, J. F., & Jankowski, J. J. (2011). Modeling a cascade of effects: The role of speed and executive functioning in preterm/full-term differences in academic achievement. *Developmental Science*, 14(5), 1161-1175. doi: 10.1111/j.1467-7687.2011.01068.x
- Sbordone, R. J. (1996). Ecological validity: Some critical issues for the neuropsychologist. Dans R. J. Sbordone & C. J. Long (Éds.), *Ecological validity of neuropsychological testing* (pp. 15-41). New York, NY: St. Lucie Press.

- Sbordone, R. J. (2008). Ecological validity of neuropsychological testing: Critical issues. Dans A. M. Horton, Jr. & D. Wedding (Éds.), *The neuropsychology handbook (3rd ed.)*. (pp. 367-394). New York, NY US: Springer Publishing Co.
- Sbordone, R. J., & Guilmette, T. J. (1999). Ecological validity: Prediction of everyday and vocational functioning from neuropsychological test data. Dans J. J. Sweet (Éd.), *Forensic neuropsychology: Fundamentals and practice*. (pp. 227-254). Lisse Netherlands: Swets & Zeitlinger Publishers.
- Sbordone, R. J., & Long, C. J. (1996). *Ecological validity of neuropsychological testing*. Delray Beach, FL England: Gr Press/St Lucie Press, Inc.
- Schultheis, M. T., Himmelstein, J., & Rizzo, A. A. (2002). Virtual reality and neuropsychology: Upgrading the current tools. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(5), 378-394.
- Schultheis, M. T., & Rizzo, A. A. (2001). The application of virtual reality technology in rehabilitation. *Rehabilitation Psychology*, 46(3), 296.
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114(2), 727-741.
- Silver, C. H. (2012). Sources of data about children's executive functioning: Review and commentary. *Child Neuropsychology*, 20(1), 1-13. doi: 10.1080/09297049.2012.727793
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 59(4), 745-759.
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research*, 63(3-4), 289-298.
- Swanson, H. L., & Ashbaker, M. H. (2000). Working memory, short-term memory, speech rate, word recognition and reading comprehension in learning disabled readers: does the executive system have a role? *Intelligence*, 28(1), 1-30. doi: 10.1016/S0160-2896(99)00025-2
- Taylor, H. G., Schatschneider, C., Petrill, S., Barry, C. T., & Owens, C. (1996). Executive dysfunction in children with early brain disease: Outcomes post haemophilus influenzae meningitis. *Developmental Neuropsychology*, 12(1), 35-51. doi: 10.1080/87565649609540639

- Trepagnier, C. G. (1999). Virtual environments for the investigation and rehabilitation of cognitive and perceptual impairments. *Neurorehabilitation*, 12(1), 63.
- Vakil, E. (2012). Neuropsychological assessment: Principles, rationale, and challenges. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 34(2), 135-150. doi: 10.1080/13803395.2011.623121
- Waber, D. P., Gerber, E. B., Turcios, V. Y., Wagner, E. R., & Forbes, P. W. (2006). Executive functions and performance on high-stakes testing in children from urban schools. *Developmental Neuropsychology*, 29(3), 459-477. doi: 10.1207/s15326942dn2903_5
- Wechsler, D. (2005). *Wechsler Individual Achievement Test – Second Edition (WIAT-II)*. Toronto, Canada: Harcourt.
- Welsh, J. A., Nix, R. L., Blair, C., Bierman, K. L., & Nelson, K. E. (2010). The development of cognitive skills and gains in academic school readiness for children from low-income families. *Journal of Educational Psychology*, 102(1), 43-53 doi: 10.1037/a0016738
- Welsh, M. C., Pennington, B. F., Ozonoff, S., Rouse, B., & McCabe, E. R. (1990). Neuropsychology of early-treated phenylketonuria: Specific executive function deficits. *Child Development*, 61(6), 1697-1713.
- Woodcock, R., McGrew, R. & Mather, N. (1999). *Woodcock-Johnson III – Test of Achievement*. Itasca, IL: Riverside Publishing.
- Young, D. (1970). *Group Mathematics Test*. Kent: Hodder and Stoughton.
- Zomeren, A. H. v., & Brouwer, W. H. (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. New York: Oxford University Press.