

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
ISABELLE FOURNIER

ÉVALUATION DES FONCTIONS ATTENTIONNELLES ET EXÉCUTIVES EN
RÉALITÉ VIRTUELLE CHEZ DES ADOLESCENTS

JUIN 2011

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

DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE (D.Ps.)

PROGRAMME OFFERT PAR L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

ÉVALUATION DES FONCTIONS ATTENTIONNELLES ET EXÉCUTIVES EN
RÉALITÉ VIRTUELLE CHEZ LES ADOLESCENTS

PAR

ISABELLE FOURNIER

Pierre, Nolin, directeur de recherche

Université du Québec à Trois-Rivières

Dany Lussier-Desrochers, évaluateur

Université du Québec à Trois-Rivières

Hélène Forget, évaluatrice externe

Université du Québec en Outaouais

Sommaire

À mesure que les fonctions exécutives sont reconnues comme représentant un concept multidimensionnel, le nombre de tâches neuropsychologiques désignées pour les mesurer se multiplie. Malgré le développement de nombreuses tâches neuropsychologiques traditionnelles et écologiques, certaines difficultés demeurent, notamment au plan de la sensibilité et de la spécificité de telles tâches. La réalité virtuelle est de plus en plus utilisée dans la recherche sur les fonctions attentionnelles et exécutives, dans le but de pallier ces lacunes. Encore peu d'études, cependant, portent sur la validation de telles tâches, et encore moins avec une population d'adolescents. La présente étude propose l'utilisation de la classe virtuelle (ClinicaVR : Classroom), comme mesure des fonctions attentionnelles et exécutives chez des adolescents. Dans une perspective exploratoire, elle vise à vérifier l'étendue des composantes mesurées par le *Continuous performance test* (CPT) -VIGIL dans une classe virtuelle, ainsi que la stabilité de ces variables dans le temps, en le comparant avec une tâche traditionnelle équivalente. L'étude se penche également sur l'exploration des différences de performance entre les groupes d'âge et les genres. Le CPT-VIGIL traditionnel ainsi que son équivalent en classe virtuelle, sont administrés à 68 participants âgés entre 12 et 16 ans. Les résultats montrent que les variables des deux tâches se divisent en trois facteurs distincts. Une différence est relevée entre les âges quant à la régulation, et une différence entre les genres quant à la vitesse de traitement et la résistance à l'interférence. Toutes les variables de la tâche en réalité virtuelle sont stables dans le temps alors qu'une ne

l'est pas dans la tâche traditionnelle. L'apport de la réalité virtuelle dans l'évaluation des fonctions attentionnelles et exécutives est discuté à la lumière des résultats obtenus. D'autres recherches sont nécessaires afin de préciser la pertinence de la classe virtuelle dans l'évaluation des fonctions attentionnelles et exécutives en clinique.

Table des matières

Sommaire.....	iii
Table des matières.....	v
Remerciement.....	vii
Introduction.....	1
Contexte théorique.....	5
Déficits exécutifs.....	8
Développement cognitif.....	10
Évaluation des FE.....	12
Présentation de la RV.....	17
Méthode.....	24
Participants.....	25
Instruments de mesure.....	26
Matériel.....	29
Procédure.....	29
Analyses effectuées.....	30
Résultats.....	31
Analyses factorielles.....	32
Corrélations entre la performance aux tests virtuel et traditionnel des fonctions attentionnelles et exécutives et l'âge.....	34
Comparaison de moyennes aux facteurs selon l'âge.....	34
Comparaison de moyennes aux facteurs selon le genre.....	36
Comparaison de la performance aux tests traditionnel et virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives entre les deux temps de mesure.....	37
Discussion.....	40
Regroupement des variables en facteurs.....	41

Performance selon l'âge.....	46
Performance selon le genre.....	49
Stabilité de la tâche.....	51
Caractéristiques de la RV.....	52
Conclusion.....	55
Références.....	59
Appendice A : Table des corrélations entre les variables des CPT-VIGIL traditionnel et en classe virtuelle.....	65
Appendice B : Table des moyennes et écarts-types aux variables des tests traditionnel et virtuel par groupe d'âge.....	67
Appendice C : Table des moyennes et écarts-types aux variables des tests traditionnel et virtuel par genre.....	69

Remerciement

L'auteure désire remercier Pierre Nolin, Ph.D., directeur de recherche à l'Université du Québec à Trois-Rivières, ayant grandement facilité la construction de cet ouvrage par son écoute, appui et bons conseils.

Introduction

Les fonctions exécutives (FE) sont considérées par Lezak, Howieson et Loring (2004) comme faisant partie des trois dimensions qui définissent le comportement. La première constitue la cognition, qui représente l'information sur le comportement. La deuxième constitue l'émotion et représente la motivation et les sentiments. La troisième, les FE, correspond à la façon dont le comportement est exprimé. Il est généralement admis que les FE constituent un ensemble de processus de contrôle qui guident, dirigent et optimisent les comportements orientés vers un but, particulièrement lors de situations nouvelles et complexes (Frias, Dixon, & Strauss, 2006). Le fonctionnement exécutif et les capacités attentionnelles étant interdépendants, les deux concepts sont souvent abordés ensemble.

Depuis le début de l'intérêt porté au fonctionnement exécutif, le nombre de tâches désignées à l'évaluer se multiplie. Les tâches neuropsychologiques traditionnelles ont l'avantage d'être spécifiques et de prodiguer un contrôle sur la mesure. Elles sont toutefois peu représentatives de la complexité des situations vécues au quotidien et peinent parfois à détecter les déficits réellement vécus chez des patients souffrant d'un syndrome dysexécutif (Andrés & Van der Linden, 2001). Dans le but de pallier cette difficulté, des tâches dites écologiques ont été élaborées. Elles sont plus représentatives des situations vécues et des tâches à réaliser au quotidien. Cependant, les tâches écologiques abordent le fonctionnement cognitif de façon globale et non spécifique et le

contexte d'évaluation limite le contrôle de la mesure. Afin de fidèlement rendre compte du fonctionnement exécutif, un équilibre entre les deux types de tâches s'avère nécessaire.

La réalité virtuelle (RV) est une technologie dont l'utilisation s'est récemment étendue en neuropsychologie. Utilisée à l'aide de matériel informatique et simulant des contextes de vie réels, la RV combine les avantages des tâches traditionnelles et écologiques, tout en atténuant leurs limites. De plus en plus d'études se penchent sur l'apport d'un tel outil dans l'évaluation des FE. Plusieurs auteurs la considèrent comme étant prometteuse dans l'évaluation et même dans la réadaptation cognitive (p.ex., Riva, 1998; Rizzo et al., 2000; Rose & Foreman, 1999). La recherche n'est cependant qu'à ses débuts. Certaines difficultés demeurent, notamment, quant à la validation de construit de certaines tâches en RV. Par exemple, les tâches en RV sont souvent comparées à des tâches non équivalentes, ce qui rend difficile l'interprétation des liens entre les mesures, s'il y en a. Les recherches sont également peu nombreuses sur l'apport de la RV dans le développement des connaissances sur les FE chez les adolescents. L'avancement des connaissances sur la RV permettrait d'offrir aux professionnels des outils novateurs pour l'évaluation des FE, sensibles aux difficultés que rencontrent les adolescents consultant en clinique.

La présente étude propose l'utilisation de la RV comme mesure à la fois écologique, spécifique et objective du fonctionnement attentionnel et exécutif. Plus spécifiquement, le projet se penche sur l'exploration des fonctions attentionnelles et exécutives sous-jacentes à la réalisation d'une tâche neuropsychologique dans le contexte d'une classe virtuelle, en la comparant à la même tâche, en contexte traditionnel. Elle se penche également sur l'apport de la RV dans la compréhension du développement exécutif et attentionnel à l'adolescence ainsi que des différences entre les genres. La question principale réside donc à mieux comprendre ce que la RV apporte dans la compréhension du fonctionnement attentionnel et exécutif, comparativement aux tâches neuropsychologiques traditionnelles.

Contexte théorique

Un des premiers modèles explicatifs des FE est celui associé aux travaux de Baddeley et Hitch (1974). Ces auteurs suggèrent un modèle de la mémoire de travail (MdT) incluant trois composantes : le calepin visuo-spatial, la boucle phonologique et l'administrateur central. Les deux premières permettent d'entreposer temporairement les informations visuelles et auditives, respectivement. La dernière composante, l'administrateur central, constitue un système attentionnel et renvoie aux FE. Le rôle qui lui est associé est celui de superviser les autres composantes et coordonner les informations entrantes et sortantes. Dans ce modèle, le fonctionnement attentionnel est donc inclus dans le fonctionnement exécutif, ce dernier étant vu comme un gestionnaire des ressources attentionnelles.

Dans leur modèle attentionnel, Norman et Shallice (1986) proposent aussi une composante de gestion attentionnelle, celle-ci étant comparable à l'administrateur central proposé par Baddeley et Hitch (1974). Le modèle de Norman et Shallice suggère d'abord l'existence d'un système de gestion de schémas. Il s'agit d'un répertoire d'actions sur-apprises et automatisées permettant de réaliser les activités quotidiennes. Lorsqu'une situation nouvelle survient, les schémas d'action préétablis ne suffisent pas pour résoudre le problème. Le système attentionnel superviseur (SAS), qui correspondrait à l'administrateur central dans le modèle précédent, doit intervenir pour y remédier. Selon les auteurs, le SAS est sollicité lors de cinq situations particulières :

celles qui (a) impliquent un processus de planification ou de prise de décision, (b) impliquent la correction des erreurs, (c) impliquent de nouvelles séquences d'actions ou pour lesquelles les réponses ne sont pas bien apprises, (d) sont difficiles à résoudre et (e) exigent de contrecarrer des réponses habituelles ou automatiques.

Alors que l'administrateur central et le SAS étaient auparavant considérés comme un concept unitaire, il est maintenant admis qu'il puisse être fractionné en plusieurs fonctions distinctes (Baddeley, 1996; Duncan, Johnson, Swales, & Freer, 1997; Jurado & Rosselli, 2007; Miyake et al., 2000). Ces fonctions sont, par exemple, l'inhibition d'une réponse automatique, la planification d'une séquence d'action ou la résistance à l'interférence de stimuli non pertinents, pour ne nommer que celles-ci.

D'autres modèles présents dans la littérature tentent de rendre compte des modèles explicatifs de manière parcimonieuse. Il est remarqué que les modèles, dits attentionnels ou exécutifs, recoupent à la fois des fonctions attentionnelles et exécutives. Par exemple, le modèle attentionnel à trois composantes de Posner et Rothbart (1992) propose de distinguer le contrôle attentionnel, l'attention sélective et l'attention soutenue. Un autre exemple est le modèle exécutif proposé par Anderson (2008), qui distingue le contrôle attentionnel, la flexibilité cognitive et la détermination d'un but. Les deux modèles, l'un dit attentionnel et l'autre exécutif, comprennent des composantes associées aux deux concepts. Il est difficile de distinguer l'attention et les FE puisque les deux concepts sont intimement liés. Par exemple, pour qu'un individu porte son attention vers un stimulus

particulier, certaines FE telles que la capacité à résister à l'interférence de distracteurs internes ou externes doivent intervenir. Dans le présent travail, le terme général FE inclut donc le fonctionnement attentionnel, sauf dans les cas où ils sont abordés de manière spécifique.

Déficits exécutifs

L'observation de patients présentant des lésions frontales est à l'origine de l'étude des FE (Stuss & Benson, 1986). Les symptômes principalement retrouvés sont aux plans de l'autorégulation et de la direction de l'attention. L'altération de ces fonctions compromet la capacité des individus cérébrlésés à maintenir une vie autonome et productive puisqu'ils rencontrent une diminution de leur motivation, de la flexibilité et de la stabilité dans leurs comportements et interactions sociales (Lezak et al., 2004). Les patients montrent donc généralement une difficulté d'adaptation se manifestant dans toutes les sphères de leur vie.

Le lobe frontal est la région cérébrale associée aux FE. En effet, le concept même est élaboré sur la base d'observations de patients présentant des atteintes frontales. Les fonctions frontales ne sont toutefois pas synonymes de FE puisque cette région cérébrale sous-tend également d'autres fonctions que ces dernières, comme la motricité ou le langage expressif. De plus, certaines études suggèrent que des fonctions associées aux FE ne sont pas altérées par des lésions au lobe frontal. Par exemple, l'étude de Andrés et Van der Linden (2001) montre qu'un groupe de patients ayant des lésions circonscrites

au lobe frontal réussissent des tâches de planification, d'inhibition et d'abstraction aussi bien que la moyenne d'un groupe contrôle. Un désavantage des participants cérébrolésés est tout de même relevé sur le plan de la vitesse d'exécution, lors des conditions complexes. Une autre étude, réalisée par les mêmes auteurs (2002), montre que ces patients ont de la difficulté à rappeler une série de chiffres, mais réussissent aussi bien que la moyenne à performer les doubles-tâches ainsi que les tâches impliquant la mise à jour en mémoire de travail. Ces observations ne concordent pas avec ce qui est attendu. Les auteurs interprètent ces résultats comme étant un appui à l'hypothèse selon laquelle les FE sont soutenues par un réseau cortical distribué dans tout le cerveau plutôt que seulement par les régions cérébrales antérieures (frontales).

Les études ayant auparavant démontré des déficits exécutifs chez des patients ayant des atteintes frontales sont réalisées avec des participants qui présentent des lésions qui s'étendent à d'autres structures cérébrales (Shallice, 1982) ou avec des patients qui viennent tout juste de subir une lésion frontale et dont les séquelles du traumatisme peuvent encore être diffuses (Owen, Downwss, Sanakian, Polkey, & Robbins 1990). Il semble donc que les lésions frontales ainsi que d'autres dommages cérébraux plus diffus peuvent engendrer des déficits semblables, en raison des nombreuses connexions neuronales permettant aux différentes régions cérébrales de communiquer entre elles. Les lobes frontaux échangeant de nombreuses connexions avec ces autres régions, les FE peuvent être altérées par des lésions à maintes localisations.

Outre les atteintes structurales, des déficits exécutifs sont également associés à nombreuses atteintes fonctionnelles : le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH ; Barkley, 1997), les troubles envahissants du développement (Ozonoff & McEvoy, 1994), la dépression (Harvey et al., 2004), etc. Ces difficultés ne se manifestant pas de la même façon au plan quantitatif ni qualitatif dans chaque problématique ou chez chaque individu. Par ailleurs, les différentes FE se développent à des âges différents (Anderson, 1998).

Développement cognitif

Plusieurs études se penchent sur le développement attentionnel et exécutif. Elles permettent d'obtenir des indices en rapport avec le développement de plusieurs fonctions cognitives, telles que la capacité de planification/organisation (Anderson, Anderson, & Garth, 2001; De Luca et al., 2003), la capacité de catégorisation (Smidts, Jacobs, & Anderson, 2004), la mémoire de travail (De Luca al., 2003), l'attention soutenue (Betts, McKay, Maruff, & Anderson, 2006), etc. L'étude de Betts et ses collègues, utilisant plusieurs tâches ciblant la mesure des temps de réaction et de l'attention soutenue, suggère qu'il y aurait un plateau développemental entre 8-9 et 11-12 ans quant à l'attention soutenue. En effet, entre ces groupes d'âge, il n'y a pas de différences quant aux erreurs effectuées. Par contre, la vitesse de réponse serait tout de même plus rapide chez les plus vieux. Une autre étude montre également qu'il n'y a pas de différence entre 7 et 11 ans sur le plan de l'attention soutenue, mais qu'il y a une amélioration entre 11 ans et l'âge adulte (21-48 ans; McKay, Halperin, Schwartz, & Sharman, 1994). Une

amélioration à l'adolescence est donc suggérée, mais il n'est pas possible de savoir à quel âge il y a des changements développementaux. Sur le plan d'autres fonctions, il est suggéré que la vitesse de traitement de l'information augmente en rapidité jusqu'à l'âge de 11-12 ans (Betts et al., 2006), mais la capacité d'inhibition motrice ne connaîtrait pas de changement entre six et 12 ans (Klenberg, Korkman, & Lahti-Nuutila, 2001). Par ailleurs, cette dernière étude montre que la vitesse de traitement de l'information est plus lente chez les filles que chez les garçons. Les garçons, en revanche, ont plus tendance à faire des erreurs de commissions. Les garçons auraient donc une difficulté plus marquée sur le plan de la capacité d'inhibition en comparaison aux filles.

Même si des plateaux développementaux sont retrouvés juste avant l'entrée à l'adolescence, il n'est pas possible de prétendre que le développement attentionnel et exécutif cesse à ce moment. En effet, l'étendue d'âges des populations évaluées ne va souvent pas plus loin que 12 ou 13 ans et peu d'études se penchent sur le développement du fonctionnement attentionnel et exécutif au cours de l'adolescence.

La manifestation de troubles exécutifs varie non seulement en fonction de l'atteinte fonctionnelle, mais également en fonction du niveau de développement acquis par l'individu. Il importe donc d'utiliser des outils normalisés, sensibles et spécifiques afin de rendre compte des difficultés rencontrées. Une évaluation neuropsychologique présentant ces qualités offrirait une valeur diagnostique et d'appréciation du fonctionnement de l'individu, afin de permettre une prise en charge adaptée.

Évaluation des FE

Tâches neuropsychologiques traditionnelles

Les FE sont évaluées de façon objective par la passation de tâches neuropsychologiques spécifiquement conçues pour la mesure d'une seule ou de quelques composantes. La mesure de plusieurs composantes, à l'aide de différents tests, permet de relever facilement les forces et limites d'une personne, sur le plan des différentes FE. De plus, l'administration de ce type de tests est relativement courte et peu coûteuse. Les tâches neuropsychologiques traditionnelles présentent cependant certaines lacunes. Ces dernières peuvent rendre difficile l'appréciation globale du fonctionnement exécutif.

L'analyse des résultats aux tâches neuropsychologiques ne permet pas toujours de rendre compte du fonctionnement quotidien des patients (Bennett, 2001; Norris & Tate, 2000). En effet, tel que soulevé plus haut, des individus ayant des lésions frontales peuvent performer adéquatement aux tests alors qu'ils montrent des déficits importants dans leur vie quotidienne (Andrés, 2003; Andrés & Van der Linden, 2001; 2002). Ceci pourrait être dû à un manque de sensibilité des tâches neuropsychologiques traditionnelles.

Selon Shallice et Burgess (1991), la majorité des tests traditionnels ne peuvent rendre compte des déficits sur le plan des FE, rencontrés au quotidien. Ces tâches sont peu sensibles puisqu'elles sont structurées, elles portent sur du matériel circonscrit et les

consignes spécifient trop clairement les critères de réussite. La réalisation de tâches neuropsychologiques dans un environnement contrôlé permet donc difficilement de prédire les difficultés qui peuvent se manifester dans un environnement plus complexe. En effet, les situations quotidiennes sont souvent imprévisibles et en changement constant. De plus, elles nécessitent l'implication de plusieurs FE en interaction, ce qui n'est pas le cas des tâches traditionnelles. La validité externe de telles tâches est donc remise en question.

Des questionnaires d'évaluation des FE sont souvent utilisés conjointement aux tâches neuropsychologiques traditionnelles afin de compléter les renseignements obtenus. Le *Behavior rating inventory of executive function* (BRIEF; Gioia, Isquith, Guy, & Kenworthy, 2000) est un exemple de questionnaire d'évaluation des FE dans la vie de tous les jours. Avec les enfants et les adolescents, il est complété par les parents ou les professeurs. Il existe également une version dans laquelle le jeune peut répondre lui-même (BRIEF-SR; Guy, Isquith, & Gioia, 2004).

Alors que les questionnaires abordent directement les déficits pouvant être rencontrés au quotidien, ils présentent tout de même certaines limites. Elles concernent, notamment, l'objectivité ou même la validité de tels instruments de mesure. Par exemple, tel que le soutient Denckla (2002), le vocabulaire employé dans le BRIEF peut être mal interprété par la personne qui le complète, ce qui peut nuire à la validité même du questionnaire.

Dans le cas où il est complété par un tiers, d'autres facteurs tels que l'implication émotionnelle du répondant, la fréquence et la durée d'interaction qu'il a avec le patient peuvent influencer le score au questionnaire. Un autre biais engendré par l'utilisation de questionnaires est que les réponses sont rétroactives, c'est-à-dire que le patient se prononce sur la base de ce qui s'est passé avant et non au moment de l'évaluation. Le caractère subjectif du jugement dont le répondant doit faire preuve risque également d'entraîner une grande variabilité dans les scores. Il est ainsi difficile d'obtenir un tableau objectif et représentatif du fonctionnement quotidien avec la seule passation d'un questionnaire.

Tâches écologiques

Afin d'améliorer la validité externe de l'évaluation du fonctionnement exécutif, certaines tâches écologiques ont été développées. Ainsi, des tâches représentatives de celles effectuées au quotidien sont utilisées pour l'évaluation et sont réalisées dans l'environnement de l'individu. Par exemple, le *Multiple Errands Test* (MET; Alderman, Burgess, Knight, & Henman, 2003) permet d'évaluer le fonctionnement exécutif d'une personne, dans un contexte d'emplettes au centre d'achats. Afin de fournir un rendement optimal, il doit planifier ses déplacements et s'exécuter le plus rapidement possible. Selon les auteurs, ce type de test permet de rendre compte du fonctionnement exécutif de l'individu, même en l'absence de déficit dans les tâches neuropsychologiques traditionnelles. La validité interne de ce type de tâches est cependant limitée, particulièrement en raison du manque de contrôle sur la mesure.

Lors de la réalisation de tâches écologiques, un moins grand contrôle est effectué sur le contexte d'évaluation que lors de la réalisation des tâches neuropsychologiques traditionnelles. En conséquence, plusieurs facteurs externes peuvent influencer la performance des individus, qui ne sont pas supervisés au long de la réalisation des tâches. Il est donc difficile de connaître les événements qui peuvent survenir en cours et agir sur les résultats. L'évaluateur ne peut donc pas évaluer objectivement l'influence de tels événements sur la performance. De plus, il peut difficilement savoir quel processus exécutif s'est avéré déficitaire ou non dans la réalisation de la tâche. Par ailleurs, plusieurs processus, exécutifs ou non, sont impliqués dans les tâches quotidiennes. Enfin, une fois qu'une tâche a été validée dans un milieu donné, il est difficile de reproduire la même situation d'évaluation dans un environnement différent. Ceci entraîne une difficulté à généraliser la performance à des situations semblables, insérées dans des milieux différents. Il s'en suit une difficulté à élaborer et utiliser des normes valides. Sans norme généralisable à différents contextes, il est difficile de juger la performance d'un individu, de façon objective et relativement à la moyenne des gens présentant des caractéristiques semblables. De plus, les tests en milieu naturel engendrent des coûts importants, particulièrement en termes de temps investi par l'évaluateur ainsi que par le participant.

D'un point de vue général, il est difficile d'obtenir une appréciation du fonctionnement exécutif qui permet d'objectiver ou de prédire les déficits qui peuvent

être rencontrés au quotidien. Selon Chevignard, Taillefer, Picq, Poncet et Pradat-Diehl (2006), il est indispensable d'investiguer le fonctionnement d'une personne à l'aide de tâches traditionnelles et de tâches écologiques. De cette façon, les avantages de chaque type de tâche s'additionnent et la capacité à objectiver les déficits ainsi qu'à les généraliser à la vie quotidienne s'en trouve améliorée. L'inconvénient associé à une évaluation cognitive aussi complète est cependant le coût engendré par le temps qui lui est accordé. Une autre limite pouvant être associée à ce type d'évaluation concerne la difficulté à interpréter la performance de l'individu, de façon à fournir une compréhension globale qui tient compte des nombreux résultats obtenus pour chacune des tâches. En effet, une évaluation neuropsychologique doit être spécifique et parcimonieuse, tout en rendant compte de la complexité des situations pouvant être vécues au quotidien et des mécanismes cognitifs mis en branle. Avec la venue de la réalité virtuelle (RV), il est possible de marier l'approche écologique et l'évaluation neuropsychologique traditionnelle tout en respectant ces caractéristiques importantes d'une bonne évaluation neuropsychologique.

La RV est un outil permettant d'effectuer une évaluation neuropsychologique dans une perspective à la fois écologique et traditionnelle. Elle allie les qualités de contrôle interne, de parcimonie, d'objectivité et de spécificité des tâches neuropsychologiques traditionnelles, et les qualités de validité externe des tâches écologiques et des

questionnaires. Les forces associées à chacune des tâches permettent ainsi d'éliminer les limites associées à chacune d'entre elles.

Présentation de la RV

La RV est une technologie récente pouvant simuler des situations réelles. À l'aide d'une interface spécialisée, le champ de vision de l'individu évalué est projeté dans un environnement en trois dimensions, avec lequel il doit interagir afin de répondre aux instructions données par l'évaluateur. Ces environnements et les tâches qui peuvent y être réalisées sont souvent complexes et dynamiques, et donc similaires et représentatifs d'une situation de la vie quotidienne (Rizzo et al., 2000).

Quelques recherches, à ce jour, se penchent sur l'utilisation de la RV comme contexte d'évaluation permettant l'administration écologique de tâches neuropsychologiques traditionnelles. Par exemple, Elkin, Rubin, Rosenthal, Skoff et Prather (2001) élaborent une variante du *Wisconsin card sorting test* (WCST), une tâche fréquemment utilisée pour la mesure de la flexibilité cognitive et des capacités d'abstraction et à bénéficier des rétroactions. Pour la tâche en RV, les auteurs changent les catégories d'items du WCST (c.-à-d., couleur, forme et nombre de stimuli) pour des catégories représentant des items utilisés à la plage. De plus, l'environnement virtuel utilisé pour l'administration de la tâche est une plage, afin d'offrir une cohérence avec

les stimuli. L'environnement et les stimuli sont donc plus représentatifs des contextes rencontrés et des concepts plus souvent manipulés dans la vie quotidienne. Les auteurs comparent la performance au WCST telle qu'il est traditionnellement administré avec la tâche élaborée en RV. L'étude, effectuée sur une population adulte normale, montre des corrélations significatives entre la tâche en contexte de plage virtuelle et la tâche traditionnelle pour la majorité des mesures utilisées. La tâche en RV s'avère plus difficile que le vrai WCST pour la majorité des mesures également. Cette observation suggère que la tâche en RV pourrait être plus sensible que la tâche traditionnelle à détecter les difficultés vécues au quotidien dont peuvent se plaindre les participants.

D'autres études démontrent également l'utilité de la RV dans la mesure d'autres fonctions cognitives. Par exemple, certaines études démontrent l'utilité de la RV à l'évaluation de fonctions aussi spécifiques que la mémoire, telle qu'habituellement évaluée à l'aide de tâches neuropsychologiques traditionnelles (Matheis et al., 2007; Parsons & Rizzo, 2008). Dans ces études, effectuées avec des participants adultes, des corrélations entre les deux types de tâches, traditionnelles et en RV, sont observées sur certaines variables seulement. Bien que les comparaisons soient effectuées sur deux tâches mnésiques, les tâches ne présentent pas les mêmes stimuli ou le même nombre d'essais, ce qui peut expliquer l'absence de lien sur certaines variables. Par exemple, l'étude de Matheis et de ses collègues compare la performance de patients cérébrolésés à une tâche en RV et au *California verbal learning test* (CVLT). Les items à mémoriser en

RV correspondent à du matériel de bureau, afin qu'ils soient en concordance avec l'environnement virtuel utilisé, soit un milieu de travail. De plus, alors que cinq essais sont alloués pour la mémorisation des items présentés verbalement au CVLT, les participants ont jusqu'à 12 essais pour mémoriser les items en RV, qu'ils entendent et voient dans leur environnement virtuel. Les deux tâches de mémoire ne sont donc pas tout à fait équivalentes. La comparaison de deux tâches équivalentes est donc nécessaire afin d'établir un lien valide entre la passation traditionnelle et la passation en RV.

La technologie à la base de la RV permet de rendre disponibles plusieurs contextes virtuels différents, afin de s'adapter aux différentes situations auxquelles doivent faire face la majorité des individus. Afin d'adapter l'utilisation de la RV au contexte le plus souvent rencontré par les enfants et les adolescents, l'équipe de Rizzo (2000) a développé la Classe virtuelle (CV), dans laquelle une tâche de performance continue (Continuous performance test; CPT) est imbriquée. La CV est présentement surtout à l'étude pour vérifier son utilité pour comprendre le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) ou pour vérifier l'effet de la médication sur l'attention (Rizzo et al.). Le Tableau 1 présente les études publiées jusqu'à maintenant sur l'utilisation de la CV développée par Rizzo et son équipe dans l'évaluation du fonctionnement attentionnel et exécutif. Toutes les études portent sur une population clinique, la majorité implique des enfants présentant un TDAH et deux impliquent des enfants ayant subi un TCC.

Tableau 1

Caractéristiques des études utilisant la classe virtuelle (Rizzo et al., 2000)

Étude	Population	Principaux objectifs en lien avec la CV	Principaux résultats en lien avec la CV
Adams et al., 2009	TDAH; 8 à 14 ans	Investiguer la capacité de la CV à discriminer un groupe d'enfants TDAH d'un groupe contrôle, en la comparant à une tâche traditionnelle similaire.	La différence entre les groupes contrôle et TDAH sur le plan des erreurs de commissions est significative en CV, mais pas avec la tâche traditionnelle; la CV est meilleure que la tâche traditionnelle pour classer les groupes, particulièrement les participants du groupe contrôle.
Bowerly, 2002	TDAH; 8 à 12 ans	Comparer la performance d'enfants TDAH et non TDAH à différentes conditions de la CV et avec d'autres tâches neuropsychologiques.	La CV peut différencier les deux groupes; Les enfants TDAH sont plus facilement distraits face aux distracteurs; les mesures de la CV corréleront fortement avec les tests traditionnels.
Martin & Nolin, 2009	TCC; 8 à 12 ans	Démontrer l'utilité de la RV comme nouvelle approche d'évaluation avec des enfants TCC.	Des différences significatives entre les groupes sont observées avec la tâche en CV, mais pas avec la tâche traditionnelle.
Moreau et al., 2006	TDAH; 9 à 13 ans	Comparer la performance des deux groupes à la CV; comparer le profil cognitif des enfants TDAH au CPT traditionnel et en CV; comparer la performance à la tâche en RV et à une batterie neuropsychologique standard.	La CV est efficace pour distinguer les participants TDAH et contrôles et apporte de nouvelles informations (p.ex., les mouvements de tête); la CV a un apport significatif dans la discrimination des groupes; la CV corréle significativement avec les autres tâches et questionnaires.

Caractéristiques des études utilisant la classe virtuelle (suite)

Nolin et al., 2009	TCC; 8 à 12 ans	Comparer la performance d'enfants TCC au CPT-VIGIL traditionnel et en CV.	Le temps de réaction et le nombre d'erreurs de commissions sont plus élevés dans la CV.
Parsons et al., 2007	TDAH; 8 à 12 ans	Comparer la performance d'enfants TDAH et non TDAH à trois conditions du CPT en CV, au CPT traditionnel, et à d'autres mesures neuropsychologiques.	Les participants TDAH performant moins bien sur la majorité des mesures de la CV et démontrent plus de distractibilité. Des corrélations au moins modérées sont observées entre la CV et les mesures traditionnelles, selon des conditions de la tâche en CV.
Pollak et al., 2010	TDAH; 11 à 17 ans	Comparer la performance d'enfants TDAH sous médication ou non au CPT en CV; Comparer la performance au CPT en CV et à deux CPT traditionnels.	Les trois CPT sont sensibles à l'effet de la médication, le CPT en CV le serait davantage.
Pollak et al., 2009	TDAH; 9 à 17 ans	Comparer la performance d'enfants TDAH et non TDAH en CV et à un CPT traditionnel (<i>Test of Variables of Attention</i>).	Les enfants TDAH performant moins bien à tous les CPT et la taille de l'effet est similaire dans les deux tâches; les participants apprécient utiliser la CV.
Rizzo et al., 2006	TDAH; 6 à 12 ans	Comparer la performance d'enfants TDAH et non TDAH à la CV avec et sans distractions.	Les enfants TDAH sont plus lents et font plus d'erreurs de commissions et d'omissions que les enfants non TDAH et ce, particulièrement dans la condition avec distractions; les enfants TDAH font plus de mouvements de tête que les autres.

De façon générale, les études tentent à démontrer une corrélation significative entre la tâche en RV et le CPT traditionnel (p.ex., Adams, Finn, Moes, Flannery, & Rizzo, 2009) et entre la CV et d'autres tâches neuropsychologiques, lorsqu'elles sont utilisées (p.ex., Parsons, Bowerly, Buckwalter, & Rizzo, 2007). De plus, les résultats rapportés montrent souvent un avantage de la CV dans la classification d'enfants TDAH et non TDAH (p.ex., Adams et al., 2009; Moreau, Guay, Achim, Rizzo, & Lageix, 2006). Il est aussi reconnu, sur la base de ces études, que la CV apporte des informations supplémentaires sur les populations cliniques, notamment quant à la distractibilité mesurée avec les conditions avec ou sans distraction (p.ex., Rizzo et al., 2006) ou avec les mesures de mouvements de tête (p.ex., Moreau et al.). Il semble également que la RV est perçue par les participants comme étant agréable et amusante (Pollak, Shomaly, Weiss, Rizzo, & Gross-Tsur, 2009; Pollak et al., 2010). La classe virtuelle représente donc un outil prometteur pour l'évaluation du fonctionnement attentionnel et exécutif chez les enfants et les adolescents issus d'une population clinique. Par contre, parmi les études ici relevées, seulement deux se penchent sur son utilisation avec des adolescents. De plus,, peu d'effort a été mis sur la validation de la tâche comme instrument de mesure des fonctions attentionnelles et exécutives.

Le but de la présente étude est d'étudier comment se comportent des adolescents à une tâche mesurant les fonctions attentionnelles et exécutives présentée en modalité virtuelle. Les objectifs spécifiques sont de vérifier l'étendue des fonctions mesurées par la tâche ainsi que sa stabilité dans le temps, en la comparant avec une tâche

traditionnelle équivalente. L'étude vise également à explorer les différences de performance entre les groupes d'âge et les genres.

Il est d'abord attendu que les tâches traditionnelle et virtuelle mesurent plus d'une composante attentionnelle et exécutive. Par exemple, les deux tâches devraient offrir une mesure de la vitesse de traitement de l'information, de l'inhibition et de l'attention soutenue. Ensuite, il est attendu qu'une amélioration soit observée au fil de l'avancement en âge aux différentes composantes attentionnelles et exécutives. En conformité avec ce qui est relevé dans la littérature scientifique, il est attendu que les garçons présentent un désavantage par rapport aux filles au plan des composantes associées à la capacité d'inhibition. Enfin, l'étude explore la stabilité temporelle à court terme des tâches traditionnelle et virtuelle des fonctions attentionnelles et exécutives.

Méthode

Participants

Les participants ont été sollicités dans une école secondaire de la ville de Trois-Rivières, reconnue pour les programmes offerts tels que musique-études ou sport-études. Environ 450 élèves sont rencontrés en classe au moment de courtes présentations faites par deux assistants de recherche, durant lesquelles un document d'information et un formulaire de consentement pour l'étude sont remis à chacun. Un total de 117 élèves (26%), âgés entre 12 et 16 ans, ont répondu et ont rapporté un formulaire de consentement dûment signé par eux et un parent. La participation était sur une base volontaire et aucune compensation monétaire n'a été donnée.

Parmi les 117 jeunes ayant manifesté leur intérêt pour l'étude, cinq ne se sont pas présentés à l'évaluation et quatre n'ont pas été retenus en raison de difficultés techniques liées à l'enregistrement des données ou à l'utilisation du matériel. Sur la base des informations obtenues au questionnaire de développement, 43 ont été exclus des analyses en raison de problèmes de santé actuels ou passés pouvant interférer avec la performance aux tâches neuropsychologiques. Précisément, de ces 43 jeunes, 18 avaient eu un diagnostic de commotion cérébrale, 16 avaient déjà reçu un coup à la tête ayant engendré des symptômes commotionnels mais n'avaient pas consulté pour un diagnostic, trois présentaient des symptômes neurologiques tels que des maux de tête ou des pertes de conscience, deux recevaient des services spécialisés en orthopédagogie, un présentait un trouble d'attention, un avait doublé une année scolaire, un souffrait de

dépression et un avait la toux au moment de la passation des tests, ce qui a influencé le nombre de mouvements de tête dans la classe virtuelle. Il est à noter que certains jeunes présentaient à la fois plusieurs conditions d'exclusion, celles rapportées ici sont les principales raisons pour lesquelles chacun a été exclu. Aucun des participants retenus ne présente de TDAH. Au total, 65¹ participants sont retenus au premier temps de mesure, soit 36 garçons et 29 filles, dont la moyenne d'âge est 13,49 ans avec un écart-type de 1,06 an. Les participants évalués au cours de la deuxième semaine sont invités à se présenter pour une seconde évaluation quatre semaines plus tard, ceci afin de mesurer la stabilité temporelle des tests à l'étude. À ce second temps de mesure, 21 participants sont retenus, soit 10 garçons et 11 filles, dont la moyenne d'âge est 13,62 ans avec un écart-type de 1,28 an.

Instruments de mesure

Questionnaire de développement et informations générales sur le participant

Ce questionnaire maison porte sur les informations sociodémographiques, le cheminement scolaire ainsi que les conditions de santé physique et mentale de la période périnatale jusqu'au moment de l'évaluation. Il est utilisé dans le but de contrôler certains aspects pouvant influencer la performance aux tâches neuropsychologiques et de décrire l'échantillon.

¹ Le lecteur notera que le nombre de participants peut varier dans les analyses statistiques en raison de certaines données manquantes pour l'une ou l'autre des variables à l'étude.

Test traditionnel des fonctions attentionnelles et exécutives

Le test traditionnel des fonctions attentionnelles et exécutives utilisé est le CPT-VIGIL (Vigil Continuous Performance Test, 1998). Dans cette tâche informatisée, des lettres apparaissent une à la fois au centre d'un écran d'ordinateur, à un intervalle constant pendant toute la durée de la tâche. La consigne consiste à appuyer sur le bouton gauche de la souris chaque fois que la lettre K apparaît à l'écran lorsqu'elle est précédée de la lettre A. D'une durée de six minutes, la tâche présente un total de 300 stimuli dont 60 nécessitent une réponse. Les trois variables utilisées sont le nombre de commissions (le fait de répondre à la lettre K lorsqu'elle n'est pas précédée de la lettre A ou de répondre à une autre lettre), le nombre de bonnes réponses et le temps moyen de réaction en millisecondes (ms). Il s'agit d'une tâche reconnue en clinique et en recherche comme mesure des fonctions attentionnelles et exécutives. En effet, les variables disponibles dans les tâches de performance continue peuvent couvrir des fonctions telles que l'attention soutenue, la vigilance, l'impulsivité ou le temps de réaction (Egeland & Kovalik-Gran, 2010). Alors que l'attention soutenue et la vigilance représentent des processus attentionnels, l'impulsivité fait référence à une difficulté d'inhibition et a trait au concept des FE.

Test virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives

Le test virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives utilisé est le CPT-VIGIL en classe virtuelle (ClinicaVR : Classroom, Digital MediaWorks). Cette tâche est identique

au CPT-VIGIL traditionnel, sauf pour l'environnement dans lequel elle est présentée. Au lieu d'un écran d'ordinateur, les stimuli sont présentés sur un tableau blanc d'une salle de classe virtuelle. Cette dernière comprend les objets et personnages normalement retrouvés dans une classe réelle, tels que le tableau et des pupitres, ainsi qu'un professeur et des élèves. L'immersion dans l'environnement en trois dimensions est favorisée par le port d'une visière devant les yeux. Celle-ci est munie d'un système détectant les mouvements de tête du participant, lui permettant de regarder jusqu'à 360 degrés autour de lui. À l'aide d'écouteurs rattachés à la visière, le participant peut entendre des sons susceptibles d'être présents dans une vraie salle de classe. Des distractions visuelles et auditives se manifestent donc au long de la réalisation de la tâche, semblables à celles présentes dans un contexte réel de classe. Il s'agit, par exemple, d'une personne qui frappe à la porte, d'une sonnerie annonçant la fin des classes, de rires de jeunes à l'extérieur ainsi que de l'entrée du directeur et du passage d'un avion en papier dans la classe. Les quatre variables utilisées dans le CPT-VIGIL en classe virtuelle sont le nombre de commissions, le nombre de bonnes réponses, le temps de réaction moyen en ms et le nombre de mouvements de tête effectués sur l'axe horizontal. Puisque la classe virtuelle présente un environnement complexe et dynamique, il devrait davantage solliciter l'implication des FE, telles que la résistance à l'interférence.

Matériel

Les sessions expérimentales ont lieu à l'intérieur de locaux calmes et isolés de l'école secondaire ciblée par l'étude. Un ordinateur est utilisé, avec un clavier et une souris, afin de permettre la réalisation des CPT-VIGIL traditionnel et en classe virtuelle. Une visière de type *Emagin Z800*, permettant l'immersion dans l'environnement virtuel, est également utilisée. Elle se porte devant les yeux et est supportée à l'aide d'une ganse sur la tête. La visière comporte des écouteurs placés sur les oreilles, permettant d'entendre les sons de la classe virtuelle.

Procédure

Dix assistants, des niveaux du baccalauréat ou du doctorat en psychologie, sont sélectionnés et formés pour l'administration des tâches neuropsychologiques et du questionnaire de développement et de santé. Les rencontres d'évaluation sont effectuées de façon individuelle sur les heures de classe. Les participants ont droit à une séance de familiarisation avec chacune des tâches avant de débiter. Les CPT-VIGIL traditionnel et en classe virtuelle sont contrebalancés afin d'éviter un effet de pratique ou de fatigue. La période de cueillette de données au premier temps de mesure se déroule sur une période de cinq semaines. Un mois plus tard, dans le but de vérifier la stabilité de l'instrument, le quart des participants est rencontré au second temps de mesure, pour la cueillette de données qui se déroule sur une semaine. Les CPT-VIGIL traditionnel et en classe virtuelle sont administrés dans les deux temps de mesure.

Analyses effectuées

Dans une perspective exploratoire, des analyses factorielles de type *principal axis factoring* sont effectuées avec les sept variables des CPT-VIGIL traditionnel et virtuel, obtenues au premier temps de mesure. Des analyses statistiques sont également effectuées afin de vérifier l'aspect développemental des composantes. D'abord, des analyses corrélationnelles sont faites afin d'évaluer la relation entre, d'une part, l'âge des participants et, d'autre part, les variables utilisées dans les tâches neuropsychologiques. Des analyses de comparaison de moyennes (ANOVA) sont ensuite effectuées afin de vérifier si des différences significatives existent entre les différents groupes d'âge quant aux facteurs obtenus aux analyses factorielles. Des analyses de comparaison de moyennes (test-*t*) sont également effectuées afin de vérifier si des différences de performance sont objectivables entre les genres quant aux facteurs obtenus. Enfin, des analyses sont réalisées afin de vérifier la stabilité de la performance aux tâches dans le temps. Des analyses de comparaison de moyennes (tests-*t*) à données appariées sont donc effectuées avec les sept variables issues des CPT-VIGIL, entre le premier et le deuxième temps de mesure.

Résultats

Analyses factorielles

Dans un premier temps, des analyses factorielles sont effectuées afin de vérifier l'étendue des fonctions mesurées par les tâches. Une analyse factorielle exploratoire de type *principal axis analysis* est effectuée, permettant de dégager certains facteurs parmi les variables des tests traditionnel et virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives. Dans le but de vérifier l'ampleur des corrélations entre les facteurs, une rotation oblique (*oblimin*) est d'abord effectuée. Les corrélations entre les facteurs étant négligeables ou faibles (variant entre - 0,16 et 0,12), une rotation orthogonale (*varimax*) est ensuite effectuée. Les critères assurant la validité de la matrice de corrélations permettant l'interprétation de l'analyse factorielle sont satisfaits. En effet, le déterminant de corrélation est supérieur à 0,00001, l'indice de sphéricité de Barlett est inférieur à 0,05 et l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin est égal à 0,57 et est donc compris entre 0,50 et 0,90, suggérant l'adéquation de l'échantillonnage. Les facteurs sont identifiés sur la base de l'examen des *Eigenvalues* ($> 1,00$). Les corrélations entre les variables des CPT-VIGIL traditionnel et en classe virtuelle sont présentées à l'Appendice A.

Trois facteurs sont issus de l'analyse, expliquant 54,67% de la variance totale (voir Tableau 2). Le premier facteur se compose du nombre de commissions au CPT-VIGIL en classe virtuelle ainsi que du nombre de commissions et du nombre d'omissions au

CPT-VIGIL traditionnel. Ce facteur explique 22,11 % de la variance totale. Le second facteur inclut le temps de réaction du CPT-VIGIL en classe virtuelle ainsi que le temps de réaction de la tâche en classe virtuelle. Ce dernier explique 21,56 % de la variance totale. Le troisième facteur comprend le nombre de mouvements de tête dans la classe virtuelle et explique 11,00 % de la variance.

Tableau 2

Table des poids factoriels entre les sept variables des CPT-VIGIL traditionnel et classe virtuelle et leurs facteurs respectifs

Variables du CPT-VIGIL	Facteurs		
	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
Classe virtuelle			
Nombre de commissions	0,77	- 0,22	- 0,11
Omissions	0,52	0,16	- 0,03
Temps de réaction	0,00	0,91	0,07
Mouvements de tête	0,01	- 0,04	0,68
Traditionnel			
Nombre de commissions	0,72	- 0,20	0,46
Omissions	0,32	-0,12	0,06
Temps de réaction	- 0,27	0,75	- 0,29

Corrélations entre la performance aux tests virtuel et traditionnel des fonctions attentionnelles et exécutives et l'âge

Des analyses corrélationnelles sont effectuées afin de vérifier la relation entre l'âge et les variables des tests utilisés. Le Tableau 3 présente les corrélations entre l'âge et la performance aux tests traditionnel et virtuel. Les corrélations entre la performance aux tâches neuropsychologiques utilisent l'âge réel des participants, en années. Les corrélations de Pearson montrent que l'âge est inversement lié au nombre d'erreurs de commissions à la classe virtuelle ($r(62) = -0,34, p = 0,01$). Plus les participants sont âgés, moins ils font d'erreurs de commission. Aucune corrélation significative n'est obtenue entre l'âge et le nombre de commissions au CPT-VIGIL traditionnel ($r(61) = -0,20, p = 0,12$), le nombre d'omissions à la classe virtuelle ($r(62) = -0,10, p = 0,44$) ou au CPT-VIGIL traditionnel ($r(61) = -0,08, p = 0,51$), le temps de réaction à la classe virtuelle ($r(62) = -0,07, p = 0,56$) ou au CPT-VIGIL traditionnel ($r(61) = -0,02, p = 0,87$) et le nombre de mouvements de tête à la classe virtuelle ($r(62) = -0,11, p = 0,40$).

Comparaison de moyennes aux facteurs selon l'âge

Des ANOVAs sont effectuées afin de vérifier si la performance des participants à chacun des facteurs diffère selon l'âge. Les moyennes et écarts-types des différents groupes d'âge aux trois facteurs issus des analyses factorielles sont présentés dans le Tableau 4. Comme mentionné précédemment, les participants de 15 et 16 ans sont regroupés, de sorte qu'il y a quatre groupes d'âge. Les analyses de comparaison de

Tableau 3

Corrélations entre la performance aux tests traditionnel et virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives et l'âge

	Âge
CPT-VIGIL en classe virtuelle	
Nombre de commissions	- 0,34**
Omissions	- 0,10
Temps de réaction	- 0,07
Mouvements de tête	- 0,11
CPT-VIGIL traditionnel	
Nombre de commissions	- 0,20
Omissions	- 0,08
Temps de réaction	- 0,08

** $p < 0,01$

moyennes indiquent qu'il existe une différence significative entre les groupes d'âge quant à la performance au premier facteur ($F(3,59) = 4,11$; $p = 0,01$), mais pas au second ($F(3,59) = 0,56$; $p = 0,65$), ni au troisième ($F(3,59) = 0,13$; $p = 0,94$). L'analyse post hoc de type *LSD* montre que les groupes de participants de 12 ans et celui de 13 ans diffèrent significativement du groupe de participants de 15-16 ans ($p < 0,05$ et $p < 0,01$, respectivement), quant au premier facteur. Il n'y a pas de différence significative entre les participants de 14 ans et les trois autres groupes d'âge ($p = 0,74$

avec le groupe 12 ans ; $p = 0,07$ avec le groupe 13 ans ; $p = 0,06$ avec le groupe 15-16 ans). Les participants de 15-16 ans offriraient une meilleure performance que ceux de 12 et 13 ans au premier facteur, qui comprend le nombre de commissions des deux tâches ainsi que le nombre d'omissions de la tâche en classe virtuelle. Les moyennes et écarts-types des performances des différents groupes d'âge aux variables simples sont présentés en à l'Appendice B.

Tableau 4

Moyennes et écart types des différents groupes d'âge aux trois facteurs issus des analyses factorielles

	12 ans $n = 12$		13 ans $n = 20$		14 ans $n = 20$		15-16 ans $n = 11$	
	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>
Facteur 1	0,04	0,46	0,41	1,01	-0,06	0,94	-0,67	0,40
Facteur 2	-0,15	0,82	0,18	1,01	0,03	1,07	-0,22	0,60
Facteur 3	-0,03	0,79	0,09	1,04	-0,05	0,66	-0,05	0,57

Comparaison de moyennes aux facteurs selon le genre

Des tests-*t* sont effectués afin de vérifier si la performance des participants à chacun des facteurs diffère en fonction du genre. Aucune différence significative n'est observée entre les genres quant au premier facteur ($t(61) = 1,86$; $p = 0,07$). Il y a cependant une

différence significative entre les genres pour le second facteur ($t(61) = -3,18 ; p < 0,01$) et le troisième facteur ($t(61) = 2,15 ; p < 0,05$). Les filles feraient moins de mouvements de tête que les garçons et auraient des temps de réaction plus grands. Les moyennes et écarts-types des performances des différents groupes d'âge aux variables simples sont présentés à l'Appendice C.

Tableau 5

Moyennes et écarts-types des garçons et des filles aux trois facteurs issus des analyses factorielles

	Garçons <i>n</i> = 35		Filles <i>n</i> = 28	
	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>
Facteur 1	0,18	0,99	-0,23	0,68
Facteur 2	-0,31	0,75	0,39	1,00
Facteur 3	0,19	0,88	-0,23	0,61

Comparaison de la performance aux tests traditionnel et virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives entre les deux temps de mesure

Le Tableau 6 montre les moyennes et écarts-types obtenus à chacune des variables issues des tests traditionnel et virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives aux deux temps de mesure. Des tests-*t* avec groupes appariés sont effectués afin de vérifier si les résultats obtenus au premier temps de mesure diffèrent des résultats obtenus au second temps de mesure, un mois plus tard. Au CPT-VIGIL en classe virtuelle, il n'y a

pas de différence significative entre le premier et le second temps de mesure quant au nombre de commissions ($t(20) = -0,80 ; p = 0,44$), au nombre d'omissions ($t(20) = -0,09 ; p = 0,93$), au temps de réaction ($t(20) = -0,47 ; p = 0,64$) et au nombre de mouvements de tête ($t(20) = -0,23 ; p = 0,82$). Les scores sont donc stables entre les deux temps de mesure. Aux variables du CPT-VIGIL traditionnel, il n'y a pas de différence significative entre les deux temps de mesure quant au temps de réaction ($t(19) = 1,5 ; p = 0,14$) ni quant au nombre de commissions ($t(19) = -2,03 ; p = 0,06$). Une différence significative est cependant obtenue entre les deux temps de mesure quant au nombre d'omissions du CPT-VIGIL traditionnel ($t(19) = 2,27 ; p < 0,05$). Les participants font significativement moins d'erreurs d'omission lors de la seconde passation au test.

Tableau 6
Moyennes et écarts-types aux tests entre les deux temps de mesure

Variables du CPT-VIGIL	Temps A		Temps B	
	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>
Classe virtuelle				
Commissions	3,33	2,20	4,00	4,15
Omissions	2,38	3,29	2,43	2,46
Temps de réaction	382,40	48,50	386,70	38,72
Mouvements de tête	39,29	31,56	40,95	26,39
Traditionnel				
Commissions	5,65	5,06	4,15	3,01
Omissions	4,85	4,06	2,85	3,00
Temps de réaction	322,14	34,97	312,74	39,86

Discussion

Le but de la présente étude était d'explorer les caractéristiques du CPT-VIGIL en classe virtuelle comme mesure des fonctions attentionnelles et exécutives chez les adolescents. L'étude comparait la tâche en classe virtuelle avec son équivalent en condition traditionnelle. Les objectifs étaient de vérifier l'étendue des fonctions mesurées par les tests traditionnel et virtuel utilisés. L'étude visait également à explorer les différences de performance selon les âges et les genres. Enfin, elle se penchait sur la stabilité des mesures dans le temps.

Regroupement des variables en facteurs

L'analyse factorielle divise l'ensemble des sept variables issues des deux tâches des fonctions attentionnelles et exécutives en trois composantes distinctes et relativement indépendantes. Le regroupement des variables en trois facteurs distincts suggère que plus d'un processus attentionnel et exécutif sont mis en branle dans la réalisation des CPT-VIGIL traditionnel et virtuel. Les variables de la tâche en RV se retrouvent dans chacun des trois facteurs, alors que seulement deux facteurs comprennent des variables de la tâche traditionnelle. Par ailleurs, toutes les variables du CPT-VIGIL en classe virtuelle se retrouvent sur les facteurs. Quant à la tâche traditionnelle, seulement deux des trois variables utilisées se retrouvent sur les facteurs ressortis. En effet, le nombre d'omissions dans le CPT-VIGIL traditionnel n'est pas inclus dans les facteurs issus des analyses. Toutes les variables de la classe virtuelle semblent donc utiles afin de rendre

compte des fonctions mesurées et semblent couvrir une plus grande étendue de composantes. Sur la base des variables regroupées sur les facteurs, il est possible d'inférer les fonctions attentionnelles et exécutives qu'ils représentent. Ainsi, le premier facteur serait associé à la régulation, le second serait associé à la vitesse de traitement de l'information et le troisième serait associé à la résistance à l'interférence.

Le premier facteur comprend le nombre de commissions des deux tâches ainsi que le nombre d'omissions du CPT-VIGIL en classe virtuelle. Les poids factoriels de ces variables par rapport à leur facteur respectif indiquent que plus le nombre de commissions est élevé, plus le nombre d'omissions l'est également. Les erreurs de commission sont généralement associées à l'inhibition ou à l'impulsivité alors que les erreurs d'omission sont généralement associées à l'attention sélective soutenue. Il est probable que le processus sous-jacent à la combinaison de ces mesures revoie à des processus de régulation. En effet, pour réussir la tâche, le participant doit arriver à réguler son attention et ses actions afin de répondre lorsqu'il doit le faire et de s'abstenir de répondre lorsqu'il ne le doit pas. Une étude réalisée par d'Egeland et Kovalik-Gran (2010) suggère, par ailleurs, que jusqu'à cinq composantes attentionnelles peuvent être évaluées par les mesures d'une tâche CPT semblable à celle utilisée dans la présente étude (Conners' CPT). Dans leur étude, les erreurs d'omission et de commission se regroupent sur deux facteurs distincts. Sur la base de ces variables, et des autres mesures

regroupées sur les mêmes facteurs, ces auteurs les ont nommés *focus* et *hyperactivité/impulsivité*, respectivement.

Dans la présente étude, la raison pour laquelle le nombre d'omissions des deux tâches ne se retrouve pas sur le même facteur n'est pas évidente. Par ailleurs, le nombre d'omissions de la tâche traditionnelle n'est pas lié à aucune autre variable. Étant associé au nombre de commissions, erreurs davantage liée à l'inhibition d'une réponse automatique et donc relevant des FE, il est probable que la capacité à répondre à tous les stimuli d'intérêt dans la classe virtuelle fasse davantage appel à l'implication des FE. En effet, en raison de son contexte complexe et dynamique, la réalisation de la tâche en classe virtuelle demande une plus grande allocation des ressources attentionnelles, permise par l'implication des FE. La tâche traditionnelle étant plus simple, seule la vigilance ou l'attention soutenue seraient nécessaires afin de réaliser la tâche.

Le second facteur comprend le temps de réaction de chacune des deux tâches. Ce facteur peut donc être associé au temps de réaction de base ou à la vitesse de traitement de l'information. La direction des poids factoriels de ces variables est positive, de sorte que plus le temps de réaction est grand au CPT-VIGIL en classe virtuelle, plus il l'est dans la tâche traditionnelle, et vice versa. Selon ces résultats, les temps de réaction se distingueraient du facteur formé par le nombre d'erreurs (facteur 1). Pourtant, dans l'étude d'Egeland et Kovalik-Gran (2010), les temps de réaction sont regroupés sur le

même facteur que les commissions. Dans cette dernière étude, plus le temps de réaction était court, plus le nombre de commissions augmentait.

Le troisième facteur comprend le nombre de mouvements horizontaux de tête effectués à la classe virtuelle. Puisque les mouvements de tête correspondent généralement à la poursuite visuelle de stimuli dans l'environnement, ce facteur est associé à la résistance à l'interférence. En effet, dans la classe virtuelle, le participant doit résister à l'interférence que peuvent engendrer les stimuli nouveaux présentés dans l'environnement dynamique. Puisqu'il compose à lui seul le troisième facteur, le nombre de mouvements de tête semble se distinguer des autres composantes. De plus, pour les participants ayant une période de familiarisation avec l'environnement virtuel, ces mouvements ne peuvent être associés à la simple curiosité. Le nombre de mouvements de tête représente donc une mesure indépendante, qui ajoute à la compréhension des comportements associés à la réalisation de la tâche. Par ailleurs, l'étude de Nolin, Martin et Bouchard (2009), réalisée avec la même tâche virtuelle, montre que seul le nombre de mouvements de tête permet de discriminer les participants ayant subi un traumatisme craniocérébral des participants normaux, chez une population âgée de huit à 12 ans. Sans qu'il n'y ait de lien significatif dans la présente étude, il est probable que le nombre de mouvements de tête soit lié à l'impulsivité. En effet, en résistant à l'interférence de stimuli non-pertinents, le participant doit inhiber le comportement qui serait de tourner la tête et diriger le regard vers ceux-ci.

Certaines fonctions soulevées par l'analyse factorielle ont également déjà été relevées dans les recherches sur le fractionnement des FE. Par exemple, l'étude de Brocki et Bohlin (2004), dans laquelle plusieurs tâches exécutives sont administrées à des participants de 6 à 13 ans, permet d'identifier trois fonctions distinctes. Il s'agit de l'inhibition, la vitesse de traitement de l'information ainsi que la mémoire de travail. Ces deux premières fonctions sont en effet également dégagées dans la présente étude, mais pas la mémoire de travail. Les fonctions identifiées sur la base d'analyses factorielles ne peuvent être reconnues comme étant les uniques fonctions que représente le concept. En effet, les facteurs dégagés dépendent non seulement des tests, mais également des variables utilisées pour les analyses. Par exemple, l'implication de la mémoire de travail est plutôt faible dans la réalisation du CPT-VIGIL, expliquant pourquoi une telle fonction n'a pas été dégagée. De plus, il est possible que l'inclusion d'autres tâches avec les mesures du CPT-VIGIL aurait pu faire ressortir différentes autres composantes attentionnelles et exécutives.

Mis à part l'utilisation de plusieurs tâches, il est possible que l'utilisation de plus de variables ait pu faire ressortir davantage de composantes de l'analyse factorielle effectuée dans la présente étude. Par exemple, l'étude d'Egeland et Kovalik-Gran (2010) fait ressortir cinq facteurs parmi 13 variables du Connors' CPT. Il est donc possible que le CPT-VIGIL puisse impliquer un aussi large éventail de fonctions. L'analyse de plus de variables permettrait d'en apprécier l'étendue complète. Il n'a pas été possible de le

faire dans la présente étude afin de garder une puissance statistique qui tenait compte du ratio « nombre de participants » versus « nombre de variables ». Cela pourrait être l'objectif d'une prochaine étude en augmentant le nombre de participants.

Performance selon l'âge

Les résultats indiquent que la performance du groupe de participants de 15 à 16 ans est meilleure que la performance des groupes de 12 et 13 ans au plan de la capacité de régulation. Il semble donc que cette capacité ne soit pas entièrement acquise à l'âge de 13 ans. La performance à 14 ans, cependant, n'est pas significativement différente de celle des participants plus jeunes ou plus âgés. Il est donc possible que l'amélioration entre 13 et 14 ans puis entre 14 et 15 soit plus lente au fil de l'adolescence. Cette observation n'est pas en concordance avec le constat fait dans le relevé de littérature d'Anderson (1998). En effet, certains auteurs auraient montré que le contrôle de l'impulsivité atteindrait sa maturité à l'âge de 12 ans, alors que d'autres affirment même qu'elle est acquise dès l'âge de 6 ans. Par exemple, d'après les résultats de l'équipe de Klenberg (2001), l'inhibition motrice et le contrôle de l'impulsivité atteignent le niveau de performance de 12 ans dès l'âge de six et sept ans. Cette étude, qui évalue l'attention sélective et soutenue de façon distincte de l'inhibition (ce qui ne peut être fait ici puisque les mesures sont regroupées sur un même facteur), montre que la performance aux mesures attentionnelles est acquise vers l'âge de 10 ans. L'étendue des âges dans l'échantillon de Klenberg et ses collègues (2001) ne permet cependant pas d'affirmer

que le niveau atteint à 12 ans corresponde à celui d'un adulte. Ainsi, même si l'inhibition motrice et l'attention sélective/soutenue atteignent précocement le niveau de performance de 12 ans, la présente étude suggère que ce niveau n'est pas pleinement mature à 12 ans.

Même si c'est le facteur nommé régulation qui a permis de déceler une différence entre les âges dans les analyses, il est à noter que seul le nombre de commissions de la classe virtuelle présente une corrélation significative avec les tranches d'âges. Après cette variable, le nombre de commissions dans la tâche traditionnelle est la plus corrélée avec l'âge. Il est donc probable qu'un manque de puissance statistique soit à l'origine de l'absence de lien dans ce dernier cas.

Dans la présente étude, sans que cela soit statistiquement significatif, les participants de 12 ans semblent offrir une meilleure performance que les participants de 13 ans, sur les mesures incluses dans le premier facteur. Il est donc possible que la capacité de régulation connaisse un pic en début d'adolescence, mais redescende par la suite, avant une amélioration consolidée et permanente. Par ailleurs, une étude de type longitudinal, plutôt que de type transversal, comme c'est le cas de la présente étude, permettrait de mieux comprendre les composantes développementales des fonctions attentionnelles et exécutives.

D'après les résultats ici obtenus, la vitesse de traitement de l'information et la capacité de résistance à l'interférence se développent plus précocement que la capacité de régulation. Il est possible que ces dernières fonctions soient déjà bien acquises à l'âge de 12 ans, ce qui expliquerait l'absence de différence entre les groupes d'âge quant à ces facteurs. Chez les plus jeunes, l'étude de Betts et al. (2006) montre, par ailleurs, que le temps de réaction de jeunes de 11 à 12 ans est plus rapide que celui de jeunes de 8 à 9 ans, dans un autre type de tâche d'attention soutenue. Ces deux groupes d'âge ne seraient cependant pas différents en termes du nombre de bonnes réponses. L'âge de 12 ans ne correspondrait cependant pas à la maturité des capacités attentionnelles. L'étude de Rebok et al. (1997) suggère que la performance à une tâche similaire connaît une amélioration rapide entre 8 et 10 ans et une amélioration graduelle entre 10 et 13 ans. Cette étude longitudinale n'a cependant pris que trois mesures, soit à 8, 10 et 13 ans, ce qui ne permet pas de savoir si l'amélioration est vraiment présente jusqu'à 13 ans ou cesse peu après 10 ans.

En somme, concernant le développement cognitif au fil de l'adolescence, une légère amélioration seulement est observée dans la présente étude. D'après les données issues des études utilisant des mesures électro-encéphalographiques (EEG), l'étendue d'âges de 12 à 16 ans, tel que ciblée ici, ne connaîtrait pas une maturation cérébrale majeure. En effet, le lobe frontal connaîtrait d'abord une maturation significative jusqu'à l'âge d'environ 10 ans, puis une autre entre 18 et 21 ans (Hudspeth & Pribram, 1990). Les

résultats de la présente étude suggèrent tout de même que les structures cérébrales sous-tendant le fonctionnement attentionnel et exécutif ne sont pas en arrêt total de maturation entre 12 et 16 ans.

Encore trop peu d'études se penchent soit sur l'enfance ou sur l'adolescence, ce qui rend difficile l'appréciation du développement cognitif du début jusqu'à la pleine maturité. Néanmoins, les observations issues de la présente étude, ainsi que des précédentes, indiquent que les fonctions attentionnelles et exécutives ne se développent pas toutes en même temps au cours de l'enfance et de l'adolescence. Ceci vient donc en appui à une conception multidimensionnelle des FE, tel que le soulève Anderson (1998). Il serait pertinent de reproduire l'étude avec des échantillons d'âges plus étendus, de la petite enfance à l'âge adulte, afin de déterminer avec plus de précision les poussées et les plateaux développementaux au plan de l'inhibition ou même des autres FE jusqu'à l'âge adulte.

Performance selon le genre

Les résultats obtenus indiquent que les filles ont des temps de réaction plus lents que les garçons. À une tâche CPT similaire à celle employée dans la présente étude, les résultats de Rebok et ses collègues (1997) montrent également que le temps de réaction est plus grand chez les filles que chez les garçons. Cette différence entre les genres se

maintiendrait donc à l'adolescence. Une vitesse de traitement plus grande peut être bénéfique, mais peut cependant impliquer une incidence plus grande de commissions, tel que soulevé précédemment. Dans la présente étude, seule une tendance est observée, non significative, à ce que la performance au plan du facteur de régulation soit meilleure chez les filles. Dans l'étude de Rebok, cependant, les garçons font significativement plus de commissions que les filles. Il est possible que l'inclusion de plus de participants dans la présente étude aurait permis d'observer une différence significative entre les genres au plan de la capacité d'inhibition. Il est possible que l'inclusion des erreurs d'omissions et de commissions sur un même facteur atténue la différence entre les genres quant à la capacité de régulation.

Même si une plus grande impulsivité n'est pas observée chez les garçons par l'intermédiaire des erreurs de commissions, elle peut être observée par la mesure des mouvements de tête. En effet, les résultats de la présente étude indiquent que les garçons font plus de mouvements de tête que les filles. Ces dernières présenteraient donc une meilleure résistance à l'interférence et les garçons présenteraient, de fait, une plus grande impulsivité. En effet, tel qu'objectivé, ils répondent plus rapidement et sont davantage portés à regarder ce qui se passe autour d'eux.

D'autres études ont déjà montré une supériorité de la performance des filles par rapport aux garçons dans la réalisation de certaines tâches attentionnelles et exécutives.

Par exemple, dans l'étude de Klenberg et ses collègues (2001), effectuée auprès de participants de 3 à 12 ans, la performance des filles est meilleure que celle des garçons dans cinq sous-tests exécutifs de la NEPSY, dont ceux de l'attention visuelle et de l'attention auditive et réponses associées. Ces sous-tests impliquent l'attention sélective soutenue et le dernier implique, en plus, la capacité d'inhibition. Les filles présenteraient donc un avantage par rapport aux garçons sur le plan de certaines fonctions attentionnelles et exécutives.

Stabilité de la tâche

À la tâche traditionnelle, le temps de réaction et le nombre de commissions sont stables, alors que le nombre d'omissions présente une diminution entre la première et la deuxième passation. Quant au CPT-VIGIL en classe virtuelle, les résultats indiquent que la performance à chacune des variables présente une stabilité à court terme. La tâche en RV semble donc présenter une plus grande stabilité dans le temps que la tâche traditionnelle. Il est possible que la complexité de l'environnement virtuel dans lequel la tâche est insérée, par les distractions auditives et visuelles, soit à l'origine de cette plus grande stabilité. Il est aussi possible que l'environnement virtuel augmente la motivation du participant, puisqu'il est plus attrayant que le test traditionnel. La stabilité d'un instrument de mesure est, par ailleurs, particulièrement importante lorsqu'il est utilisé en clinique.

Caractéristiques de la RV

La réalité virtuelle semble présenter un outil intéressant pour mesurer les fonctions attentionnelles et exécutives chez les adolescents. En effet, le CPT-VIGIL en classe virtuelle couvre un plus grand ensemble de composantes et offre plus de variables que la tâche traditionnelle. Elle permet donc de rendre compte d'un plus large éventail de fonctions attentionnelles et exécutives et elle possède une meilleure stabilité temporelle. Différentes caractéristiques de la RV, exposées par Rizzo, Schultheis, Kerns et Mateer (2004), appuient également son utilisation en évaluation. D'abord, la RV permet d'accéder au fonctionnement cognitif en contournant les difficultés associées à des limites motrices ou sensorielles que peuvent présenter certains individus. Par exemple, il est possible d'utiliser un contexte d'évaluation qui minimise le besoin de se déplacer dans l'espace. Une autre limite contournée par l'utilisation de la RV est le manque de motivation de l'individu évalué. En effet, l'interface de la RV ainsi que les tâches à effectuer sont souvent semblables à un jeu vidéo. Puisque les jeunes sont souvent intéressés par ce type de jeux, la RV a le potentiel de les fasciner et ainsi augmenter leur motivation à être évalués. Plusieurs études relèvent, par ailleurs, que les participants évalués avec la RV trouvent cette technologie amusante et intéressante (Elkin et al., 2001), et aimeraient avoir à l'utiliser en différents autres contextes (Kang et al., 2001).

À l'aide de la RV, il est possible d'administrer à des participants des tâches neuropsychologiques traditionnelles dans un environnement plus représentatif de la vie

quotidienne. Parmi les caractéristiques que propose Rizzo et al. (2004) sur la RV en évaluation neuropsychologique, certaines chevauchent des caractéristiques qui appartiennent généralement aux tâches neuropsychologiques traditionnelles. L'une d'entre elles concerne la capacité de la RV à présenter des stimuli à un individu, de façon systématique et à conserver leur contrôle. Le cas échéant serait difficile par d'autres moyens, notamment dans une situation en vie réelle. Puisque les tâches en RV sont informatisées, il est également possible de prendre une mesure objective de la performance d'un individu dans une situation quasi naturelle, sous plusieurs perspectives. Ceci évite les biais pouvant être engendrés par le manque de contrôle sur la mesure ou les biais liés aux différences entre les évaluateurs. Cette possibilité permet de rendre compte, de façon objective, de l'évolution de la performance lors d'une réévaluation ou même de comparer la performance entre différents individus. Pour obtenir une telle qualité dans une tâche, il faut tout de même utiliser un protocole de passation précis. La classe virtuelle, quant à elle, demeure un outil bien structuré et dont les consignes sont claires et explicites, des caractéristiques souvent reprochées aux tâches exécutives traditionnelles. Cette particularité représente cependant ce qui lui permet de prodiguer une bonne validité interne.

En plus des caractéristiques qui sont déjà associées aux tâches neuropsychologiques traditionnelles, Rizzo et al. (2004) présentent d'autres avantages de la RV, qui sont habituellement associés aux qualités des tâches écologiques. D'abord, cette technologie

offre la capacité de créer des scénarios qui présentent une validité externe plus importante que la majorité des tâches généralement utilisées en clinique ou en recherche. En effet, les environnements virtuels et les comportements à émettre dans la réalisation des tâches en RV sont semblables aux situations réelles. De plus, elle permet d'effectuer une évaluation sécuritaire, éliminant les risques pouvant survenir dans une vraie situation. Il est également possible d'intégrer des personnages à l'environnement virtuel, nommés avatars, avec lesquels l'individu évalué peut interagir dans la réalisation de la tâche. Ces éléments améliorent le réalisme de la tâche et sa représentativité des situations de la vie de tous les jours. Une tâche écologique largement utilisée en clinique est la *Behavioural assessment of the dysexecutive syndrome* (BADS; Wilson, Alderman, Burgess, Emslie, & Evans, 1996). Ce type de tâche n'est cependant pas aussi représentatif des activités réalisées dans la vie de tous les jours qu'il ne le prétend. Une tâche en RV, au contraire, peut reproduire ces activités avec une grande fidélité.

Conclusion

La présente étude a permis de comparer une tâche en RV à une tâche identique, présentée de façon traditionnelle. La tâche en RV présente un avantage par rapport à la tâche traditionnelle. En clinique, elle pourrait ainsi permettre d'évaluer un plus large éventail de fonctions attentionnelles et exécutives ainsi que des comportements associés à la passation du test, de façon à la fois écologique et objective. La présente étude ne s'est cependant penchée que sur quatre des multiples variables mesurées par la classe virtuelle. Par exemple, parmi les variables disponibles, il est possible de saisir les mesures en fonction de trois blocs de temps et ainsi d'évaluer la stabilité de la performance au fil de la réalisation de la tâche. Il est également possible de décortiquer les erreurs de commission, ce qui permet de vérifier s'il s'agit d'erreur d'anticipation, de perception, etc. L'inclusion de plus de variables dans les analyses statistiques aurait pu permettre de dégager d'autres informations utiles à la compréhension de la performance à la tâche. Par ailleurs, Fisk et Sharp (2004) suggèrent qu'un facteur devrait être composé d'au moins quatre variables, ce qui n'est pas le cas dans la présente étude. Il est possible que l'utilisation de variables supplémentaires ait pu permettre d'obtenir des facteurs plus complets, ce qui aurait augmenté la validité de l'interprétation des résultats.

Cet éventail de mesures et de fonctions impliquées dans la tâche en classe virtuelle peut aider à mieux décrire et comprendre les profils de différentes populations cliniques

ou même à documenter le développement des FE avec le temps. Par ailleurs, la tâche est assez simple pour être utilisée avec des enfants aussi jeunes que six ans et l'environnement de classe demeure semblable à un contexte réel pour toute la période de l'école primaire et secondaire. Il est également envisageable de transposer la tâche dans un contexte virtuel similaire à ceux rencontrés dans la vie de tous les jours chez les adultes et les personnes âgées. Il serait ainsi possible d'évaluer les fonctions attentionnelles et exécutives auprès de ces populations, autant en clinique qu'en recherche. La stabilité de la tâche la rend également propice à son utilisation en clinique et en recherche. Par exemple, il serait possible de l'utiliser pour évaluer l'efficacité d'une intervention pour le TDAH, sans qu'il n'y ait un effet de pratique notable. La classe virtuelle pourrait également être utile dans une étude longitudinale afin d'évaluer le développement des FE avec l'âge.

Dans la présente étude, l'aspect écologique de la tâche est inféré en raison des caractéristiques de l'environnement virtuel. En effet, la classe virtuelle reproduit une situation tout à fait similaire à ce à quoi les adolescents sont généralement confrontés. La capacité de la tâche à rendre compte des difficultés rencontrées au quotidien n'est cependant pas abordée directement. Il serait pertinent, par exemple, de comparer la performance à la classe virtuelle avec des observations en classe et avec les résultats scolaires des adolescents. L'utilisation de la RV et, plus spécifiquement, de la classe

virtuelle, n'est qu'à ses débuts, mais représente une avenue prometteuse dans l'évaluation du fonctionnement cognitif.

Références

- Adams, R., Finn, P., Moes, E., Flannery, K., & Rizzo, A.A. (2009). Distractibility in attention/deficit/hyperactivity disorder (ADHD) : The virtual reality classroom. *Child Neuropsychology, 15*, 120-135.
- Alderman, N., Burgess, P.W., Knight, C., & Henman, C. (2003). Ecological validity of a simplified version of the multiple errands shopping test. *Journal of the International Neuropsychological Society, 9*, 32-44.
- Anderson, V. (1998). Assessing executive functions in children : Biological, psychological, and developmental considerations. *Neuropsychological rehabilitation, 8*(3), 319-349.
- Anderson, P. (2008). Towards a developmental model of executive function. Dans V. A. Anderson, R. Jacobs, & P. J. Anderson (Éds), *Executive functions and the frontal lobes : A lifespan perspective* (pp. 3-22). Hove, England : Psychology Press.
- Anderson, P., Anderson, V., & Garth, J. (2001), Assessment and development of organizational ability : The Rey complex figure organizational strategy score (RCF-OSS). *The Clinical Neuropsychologist, 15*(1), 81-94.
- Andrés, P. (2003). Frontal cortex as the central executive of working memory: time to revise our view. *Cortex, 39*, 871-895.
- Andrés, P., & Van der Linden, M. (2001). Supervisory attentional system in patients with focal frontal lesions. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 23*(2), 225-239.
- Andrés, P., & Van der Linden, M. (2002). Are central executive functions working in patients with focal frontal lesions? *Neuropsychologia, 40*(7), 835-845.
- Baddeley, A.D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49A*, 5-28.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G. (1974). Working memory. Dans G. Bower (Éds), *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 47-89). New-York : Academic Press.
- Barkley, R. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions : Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin, 121*(1), 65-94.
- Bennett, T.L. (2001). Neuropsychological evaluation in rehabilitation planning and evaluation of functional skills. *Archives of Clinical Neuropsychology, 16*, 237-253.

- Betts, J., McKay, J., Maruff, P., & Anderson, V. (2006). The development of sustained attention in children : The effect of age and task load. *Child Neuropsychology, 12*, 205-221.
- Bowerly, T.D. (2002). The virtual classroom : An application in the assessment of attention defici-hyperactivity disorder (ADHD) (Thèse de doctorat, Fuller Theological Seminary - School of Psychology, 2002). *Dissertation Abstract International*, AAT 3046362
- Brocki, K.C., & Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13 : A dimensional and developmental study. *Developmental Neuropsychology, 26*(2), 571-593.
- Chevignard, M., Taillefer, C., Picq, C., Poncet, F., & Pradat-Diehl, P. (2006). Évaluation du syndrome dysexécutif en vie quotidienne. Dans P. Pradat-Diehl, P. Azouvi & V. Brun (Eds.), *Fonctions exécutives et rééducation* (pp. 47-65). Paris : Masson.
- De Luca, C.R., Wood, S.J., Anderson, V., Buchanan, J-A., Proffitt, T.M., Mahony, K., et al. (2003). Normative data from the cantab. I : Development of executive function over lifespan. *Journal of Clinical and experimental neuropsychology, 25*(2), 242-254.
- Denckla, M.B. (2002). The Behavior rating inventory of executive function : Commentary. *Child Neuropsychology, 8*(4), 304-306.
- Duncan, J., Johnson, R., Swales, M., & Freer, C. (1997). Frontal lobe deficits after head injury : Unity and diversity of function. *Cognitive Neuropsychology, 14*(5), 713-741.
- 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.
- Elkin, J.S., Rubin, E., Rosenthal, S., Skoff, B., & Prather, P. (2001). A simulated reality scenario compared with the computerized Wisconsin card sorting test : An analysis of preliminary results. *CyberPsychology & Behavior, 4*(4), 489-496.
- Fisk, J. E., & Sharp, C. A. (2004). Age-related impairment in executive functioning : Updating, inhibition, shifting, and access. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 26*, 874-890.
- Frias, C. M., Dixon, R. A., & Strauss, E. (2006). Structure of four executive functioning tests in healthy older adults. *Neuropsychology, 20*, 206-214.
- Gioia, G.A., Isquith, P.K., Guy, S.C., & Kenworthy, L. (2000). *The Behavior Rating Inventory of Executive Function professional manual*. *Child Neuropsychology, 6*(3), 235-238.

- Guy, S.C., Isquith, P.K., & Gioia, G.A. (2004). Behavior rating inventory of executive function – Self report version. *Journal of Psychoeducational Assessment, 24*(4), 394-403.
- Harvey, P.O., Le Bastard, G., Pochon, J.B., Levy, R., Allilaire, J.F., Dubois, B., et al. (2004). Executive functions and updating of the contents of working memory in unipolar depressions. *Journal of Psychiatric Research, 38*(6), 567-576.
- Hudspeth, W., & Pribram, K. (1990). Stages of brain and cognitive maturation. *Journal of Educational Psychology, 82*, 881-884.
- Jurado, M.B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions : a review of our current understanding. *Neuropsychological Review, 17*, 213-233.
- Kang, Y.J., Ku., J., Han, K., Kim, S.I. Yu, T.W. Lee, J.H., et al. (2008). Development and clinical trial of virtual reality-based cognitive assessment in people with stroke. *CyberPsychology & Behavior, 11*(3), 329-339.
- Klenberg, L., Korkman, M., & Lahti-Nuutila, P. (2001). Differential development of attention and executive functions in 3- to 12-year-old finnish children. *Psychology Press, 20*(1), 407-428.
- Lezak, M.D., Howieson, D.B., & Loring, D.W. (2004). *Neuropsychological assessment* (4e ed.). New York : Oxford University Press.
- Matheis, R.J., Schultheis, M.T., Tiersky, L.A., DeLuca, J., Millis, S.R., & Rizzo, A.A. (2007). Is learning and memory different in a virtual environment? *Clinical Neuropsychology, 21*, 146-161.
- Martin, C., & Nolin, P. (2009). Virtual reality as a novel evaluation approach in neuropsychology : The example of a virtual tutorial with child experiencing traumatic brain injury. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant, 21*(1), 28-32.
- McKay, K.E., Halperin, J.M., Schwartz, S.T., & Sharman, V. (1994). Developmental analysis of three aspects of information processing : Sustained attention, selective attention and response organization. *Developmental Neuropsychology, 10*(2), 121-132.
- 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*, 49-100.
- Moreau, G., Guay, M-C., Achim, A., Rizzo, A.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*, 7, 240-242.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action : Willed and automatic control of behaviour. Dans R.J. Davidson, G.E. Schwartz, & D. Shapiro (Éds.), *Consciousness and self-regulation* (pp. 1-18). New York : Plenum.
- Norris, G., & Tate, R.L. (2000). The Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome (BADS) : ecological, concurrent and construct validity. *Neuropsychological Rehabilitation*, 10(1), 33-45.
- Owen, A.M., Downss, J.D., Sanakian, B.J., Polkey, C.E., & Robbins, T.W. (1990). Planning and spatial working memory following frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 28, 1021-1034.
- Ozonoff, S., & McEvoy, R.E. (1994). A longitudinal study of executive function and theory of mind development in autism. *Development and Psychopathology*, 6(3), 415-431.
- Parsons, T.D., Bowerly, T.D., 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, 363-381.
- Parsons, T.D., & Rizzo, A.A. (2008). Initial validation of a virtual environment for assessment of memory functioning : Virtual Reality Cognitive Performance Assessment Test. *CyberPsychology and Behavior*, 11, 17-25.
- Pollak, Y., Shomaly, H.B., Weiss, P.L., Rizzo, A.A., & Gross-Tsur, V. (2010). Methylphenidate effect in children with ADHA 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., et al. (2009). The utility of a continuous performance test embedded in virtual reality in measuring ADHA-related deficits. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 30(1), 2-6.
- Posner, M.I., & Rothbart, M.K. (1992). Les mécanismes de l'attention et l'expérience consciente. *Revue de Neuropsychologie*, 2, 85-115.
- Rebok, G.W., Smith, C.B., Pascualvaca, D.M., Mirsky, A.F., Anthony, B.J., & Kellam, S.G. (1997). Developmental changes in attentional performance in urban children from eight to thirteen years. *Child Neuropsychology*, 3(1), 28-46.

- Riva, G. (1998). Virtual reality as assessment tool in psychology. Dans G. Riva (Éds), *Virtual Reality in Neuro-Psycho-Physiology* (pp. 71-79). Amsterdam, Netherlands : IOS Press.
- Rizzo, A.A., Bowerly, T.D., Buckwalter, J.G., Klimchuck, D., Mitura, R., & Parsons, T.D. (2006). A virtual reality scenario for all seasons : The virtual classroom. *CNS Spectrums*, 11, 35-44.
- Rizzo, A.A., Buckwalter, J.G., Bowerly, T.D., Van Der Zaag, C., Humphrey, L., Neumann, U., et al. (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.
- Rose, D., & Foreman, M. (1999). Virtual reality. *The Psychologist*, 12(11), 550-554.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B* 298,199-209.
- Shallice, T., & Burgess, P.W. (1991) Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114, 727-741.
- Smidts, D.P., Jacobs, R., & Anderson, V. (2004). The object classification task for children (OCTC) : A measure of concept generation and mental flexibility in early childhood. *Developmental neuropsychology*, 26(1), 385-401.
- Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. New York : Raven Press.
- Vigil Continuous Performance Test. (1998). Toronto, Psychological Corporation, 1998.
- Wilson, B.A., Alderman, N., Burgess, P., Emslie, H., & Evans, J. (1996). *The behavioural assessment of the dysexecutive syndrome*. Thames Valley Test Company. Flempton, Bury St Edmunds.

Appendice A

Table des corrélations entre les variables des CPT-VIGIL traditionnel et en classe virtuelle

Tableau 7

Corrélations entre les variables des CPT-VIGIL traditionnel et en classe virtuelle

	CPT-VIGIL traditionnel		CPT-VIGIL en classe virtuelle			
	Nombre d'omissions	Temps de réaction	Nombre de commissions	Nombre d'omissions	Temps de réaction	Mouvements de tête
CPT-VIGIL traditionnel						
Nombre de commissions	- 0,24	- 0,48**	0,58**	- 0,31*	-0,14	0,33**
Nombre d'omissions		0,22	-0,24	0,23	- 0,11	- 0,06
Temps de réaction			-0,32*	0,03	0,66**	- 0,22
CPT-VIGIL en classe virtuelle						
Nombre de commissions				- 0,34**	0,23	- 0,06
Nombre d'omissions					- 0,16	- 0,01
Temps de réaction						- 0,01

* $p < 0,05$. ** $p < 0,01$

Appendice B

Table des moyennes et écarts-types aux variables des tests traditionnel et virtuel par groupe d'âge

Tableau 8

Moyennes et écarts-types aux variables des tests traditionnel et virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives par groupe d'âge

Variables du CPT-VIGIL	12 ans		13 ans		14 ans		15-16 ans	
	(10 garçons, 3 filles)		(10 garçons, 10 filles)		(11 garçons, 10 filles)		(5 garçons, 6 filles)	
	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>
Classe virtuelle								
Commissions	4,23	1,70	4,80	3,46	3,75	2,68	1,36	1,29
Omissions	1,38	1,39	3,15	4,22	1,90	3,24	1,00	1,79
Temps de réaction	374,79	37,21	392,32	46,78	380,74	46,88	368,59	30,69
Mouvements de tête	33,85	18,69	33,70	28,47	33,15	19,87	27,27	26,18
Traditionnel								
Commissions	5,92	4,27	6,80	4,84	5,15	4,50	3,73	2,33
Omissions	3,33	3,28	4,35	3,66	3,30	3,59	3,09	3,42
Temps de réaction	324,35	42,33	316,28	39,66	326,23	56,49	322,68	24,80

Appendice C

Table des moyennes et écarts-types aux variables des tests traditionnel et virtuel par genre

Tableau 9

Moyennes et écarts-types aux variables des tests traditionnel et virtuel des fonctions attentionnelles et exécutives selon le genre

Variables du CPT-VIGIL	Garçons (<i>n</i> = 36)		Filles (<i>n</i> = 29)	
	<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>
Classe virtuelle				
Commissions	4,47	3,08	2,86	2,17
Omissions	2,08	2,89	1,96	3,56
Temps de réaction	368,42	36,36	397,31	45,02
Mouvements de tête	38,94	26,27	24,11	15,71
Traditionnel				
Commissions	6,89	4,90	3,93	2,76
Omissions	3,77	3,42	3,39	3,460
Temps de réaction	307,61	35,80	340,19	46,09