

## Table des matières

Sommaire .....	iii
Liste des tableaux .....	vii
Remerciements .....	viii
Introduction .....	1
Prévalence des personnes ayant un trouble envahissant du développement .....	2
Classification des troubles envahissant du développement .....	2
Description de la problématique .....	4
Chapitre I. Fonctionnement cognitif des personnes TED .....	8
Théories explicatives .....	9
Les FE chez les individus TED .....	11
Chapitre II. Évaluation neuropsychologique .....	16
Évaluation traditionnelle des FE et ses lacunes sur le plan de la validité écologique .....	21
Évaluation des FE chez les TED avec des tâches informatisées .....	22
Les déficits au niveau des FE dans la vie de tous les jours .....	25
Évaluation écologique .....	25
Les tests écologiques auprès des TED .....	26
Selon l'approche de versimilitude .....	26
Selon l'approche de véridicalité .....	31
Description de la RV .....	33
Notion de présence et cybermalaises .....	34

Les bénéfices de la RV comme outil d'évaluation .....	38
Chapitre III. Les applications de la RV .....	40
La RV comme outil d'évaluation .....	42
L'évaluation des FE et des fonctions attentionnelles .....	42
La Classe virtuelle .....	43
Après d'enfants TDAH .....	44
Après d'enfants présentant une neurofibromatose .....	48
Après d'enfants et d'adolescents ayant subi un traumatisme cranio-cérébral .....	49
Après de sujets sains .....	50
Autres mesures des FE en RV .....	51
L'utilisation de la RV auprès des TED .....	57
La RV comme moyen d'intervention .....	60
La RV comme outil d'évaluation .....	76
Discussion .....	84
Conclusion .....	96
Références .....	99
Appendice A. Critères diagnostiques du trouble autistique selon le DSM-IV-TR .....	116

## Liste des tableaux

### Tableau

1	Liste des tâches écologiques pour évaluer les fonctions exécutives chez les personnes présentant un TED .....	28
2	Études ayant utilisé la RV comme moyen d'intervention auprès des personnes présentant un TED .....	71
3	Études ayant utilisé la RV comme moyen d'évaluation auprès des personnes présentant un TED .....	81

## Remerciements

Je désire remercier d'abord Annie Stipanivic, ma directrice d'essai, sans qui ce travail n'aurait pu être envisageable. Je lui suis reconnaissante pour ses judicieux conseils, ses pistes de réflexion enrichissantes, son soutien, mais aussi sa patience. Je profite de cette occasion pour la remercier de m'avoir initiée au merveilleux monde de la neuropsychologie infantile en tant que superviseure de stage. Les membres de mon jury de correction sont les trois personnes qui ont le plus influencé ma formation professionnelle. Je remercie le professeur Pierre Nolin de m'avoir enseigné les rudiments de la neuropsychologie, mais aussi de m'avoir initiée à l'évaluation écologique, ce qui m'a grandement été utile dans la rédaction de mon essai. J'ai ensuite pu parfaire mes connaissances lors de mon internat avec la docteure Francine Lussier, neuropsychologue. Elle a su me transmettre sa passion pour l'évaluation neuropsychologique auprès des enfants et je lui en suis extrêmement reconnaissante.

Sur un plan plus personnel, je tiens à remercier Émilie, Isabelle et Maude, qui ont contribué à rendre mon parcours académique plus stimulant et plaisant. Aujourd'hui, elles demeurent des personnes ressources sur le plan professionnel, mais aussi des amies formidables.

J'accorde une pensée spéciale à mon amoureux, Jocelyn, mes parents, mes grands-parents ainsi que tous les autres membres de ma famille, mais aussi mes amies pour leur

soutien et leurs encouragements. Je tiens aussi à remercier mon amie Sara et de ma belle-sœur Valérie pour leurs commentaires constructifs sur mon essai.

Je tiens également à remercier mes collègues de travail qui sont passées par un chemin similaire au mien et qui ont su me supporter tout au long de cette réalisation.

## **Introduction**

### **Prévalence des personnes ayant un trouble envahissant du développement**

Selon une recension des études majeure, la prévalence de personnes présentant un trouble envahissant du développement (TED) est estimée à environ 60-70 cas pour 10 000, taux ayant été calculé à partir des données de 17 pays d'un peu partout dans le monde (Fombonne, 2009). Une étude américaine récente rapporte toutefois un taux encore plus élevé, soit de 11,3 cas pour 1 000 (Centers for Disease Control and Prevention, 2012). Cette proportion grandissante s'expliquerait par le nombre croissant d'études à ce sujet entraînant une meilleure connaissance de ce trouble et par le fait même, un meilleur dépistage (Saracino, Noseworthy, Steiman, Reisinger, & Fombonne, 2010). Comme ce trouble demeure l'un des plus fréquents parmi les troubles neurodéveloppementaux, il importe d'en poursuivre l'étude afin de mieux comprendre le fonctionnement des individus qui en sont atteints. De plus, les TED touchent l'ensemble de la population puisqu'on en retrouve parmi toutes les classes sociales et toutes les nationalités (Fombonne, 2003). Ce trouble affecterait toutefois beaucoup plus les garçons que les filles; le ratio serait de 5,75 : 1 (Fombonne, 2003).

### **Classification des troubles envahissant du développement**

Le diagnostic de TED est basé sur la description et l'observation des comportements de la personne à l'aide d'outils standardisés. Même si ce trouble neurodéveloppemental possède une forte composante génétique, à ce jour, aucun marqueur biologique ne peut

l'identifier avec certitude (Abrahams & Geschwind, 2008). Les TED se caractérisent par des altérations dans les quatre domaines suivants : la socialisation, la communication, le jeu et l'imagination, la variété des intérêts et des comportements (Collège des médecins du Québec, Ordre des psychologues du Québec, 2012). Les critères diagnostiques de l'autisme selon le DSM-IV sont présentés en appendice. Les TED comprennent trois principales catégories de diagnostic : l'autisme, le syndrome d'Asperger et le TED non spécifié (TED-NS). Le syndrome de Rett et le syndrome désintégratif de l'enfance font également partie des TED, mais le premier est monogénique et donc de nature différente de l'autisme, alors que le deuxième est très rare et de délimitation incertaine (Mottron, 2009). Pour cette raison, ces deux syndromes ne seront pas considérés dans le cadre de cet essai.

Le syndrome d'Asperger correspond aux mêmes critères que l'autisme en ce qui a trait à l'altération des interactions sociales et au caractère restreint, répétitif et stéréotypé des comportements, des intérêts et des activités, mais il n'existe pas de retard significatif au niveau du langage, du développement cognitif et des capacités d'autonomie (sauf dans le domaine social) et de la curiosité pour l'environnement (DSM-IV-TR; APA, 2003). Quant au trouble envahissant du développement non spécifié (TED-NS), ce diagnostic est émis lorsque l'enfant présente plusieurs symptômes de l'autisme sans toutefois correspondre à tous les critères du DSM-IV. Ce diagnostic comprend alors des altérations sur le plan des interactions sociales en plus de difficultés sur le plan de la

communication ou au niveau des intérêts restreints et comportements stéréotypés (Semrud-Clikeman & Teeter Ellison, 2009).

La réédition prochaine du DSM (DSM-5) remet en question l'approche par catégories en faveur d'une approche en continuum. En effet, on envisage de ne faire qu'une seule catégorie nommée trouble du spectre de l'autisme (TSA), comprenant donc à la fois l'autisme, le syndrome d'Asperger et le TED-NS. Concernant les critères diagnostiques, les aspects sociaux et de communication seront regroupés sous une même catégorie, alors que le critère sur l'aspect restreint et stéréotypé des comportements ou des intérêts sera maintenu (Le réseau national d'expertise en troubles envahissants du développement, 2012). On inclura également le degré de sévérité des symptômes pour les deux domaines, ce qui permettra de mieux guider les interventions. Dans le cadre de ce travail, la terminologie du DSM-IV sera conservée puisqu'elle était en vigueur durant la rédaction de ce texte. Les termes « TED » et « autisme » seront utilisés de façon indifférenciée, à moins que cela ne soit précisé.

### **Description de la problématique**

Dans le but d'expliquer les comportements associés au TED, c'est l'hypothèse du dysfonctionnement exécutif qui demeure à ce jour la plus étudiée. Plusieurs études ont tenté de rendre compte des limitations exécutives à l'aide de tâches traditionnelles de type papier-crayon. Malgré le nombre accru d'études sur le sujet, les résultats paraissent plutôt mitigés (Hill, 2004). La théorie selon laquelle les fonctions exécutives (FE) sont

atteintes dans l'autisme est donc remise en question. Pourtant, dans la vie de tous les jours, il est clair que les individus autistes présentent des difficultés sur ce plan. L'aspect de rigidité fait notamment partie des critères diagnostiques du TED. Il semble alors que les difficultés rencontrées dans la vie quotidienne ne se reflètent pas toujours dans les résultats aux épreuves traditionnelles évaluant les FE. En effet, la majorité de ces tâches impliquent une demande qui diffère de celles de la réalité quotidienne (Rizzo, Schultheis, Kerns, & Mateer, 2004). Cette disparité entraîne alors un questionnement sur la capacité de ces épreuves à prédire le fonctionnement adaptatif (Posner & Rafal, 1987; Rizzo et al., 2001; Wilson, Foreman, & Stanton, 1998). En effet, on critique fortement les tests traditionnels évaluant les FE quant à leur validité écologique, soit leur capacité à correspondre fidèlement à une demande de la vie courante.

De nouvelles tâches à valeur écologique ont donc été créées. Cependant, certaines de ces tâches évaluent le fonctionnement global de l'individu sans véritable égard aux fonctions spécifiques. De plus, le contrôle de la mesure et l'objectivité des résultats peuvent parfois être remis en question. Les tâches papier-crayon à valeur écologique permettent un meilleur contrôle de la mesure, mais leur capacité de reproduire un contexte de vie réelle est discutable. Dans ce contexte, la réalité virtuelle (RV) apparaît être l'outil idéal puisqu'elle permet de créer un environnement réel tout en contrôlant de façon objective les mesures.

La neuropsychologie est une discipline qui peut assurément bénéficier de la RV (Schultheis, Himmelstein, & Rizzo, 2002). Cette nouvelle modalité d'évaluation permettrait d'enrayer à la fois les lacunes reprochées aux tests traditionnels et aux tests écologiques. À l'aide de matériel informatique, un environnement réel est simulé, permettant de mesurer objectivement et précisément plusieurs comportements. L'évaluation des fonctions attentionnelles et exécutives par la RV a particulièrement suscité l'intérêt des chercheurs. La recherche n'en est encore qu'à ses débuts, mais l'apport que pourrait apporter la RV à l'évaluation des FE semble prometteur et les personnes TED pourraient clairement bénéficier de cette innovation.

En clinique, les FE des personnes TED sont évaluées à partir de tests papier-crayon qui sont traditionnels ou à valeur écologique. Certaines tâches traditionnelles ont également été reproduites en version informatisée. Mais la réalité virtuelle serait-elle une modalité plus adéquate pour évaluer les FE chez les personnes présentant un TED? Cet essai vise à répondre à cette question en proposant une recension exhaustive des études portant sur l'utilisation de la RV auprès de cette population.

D'abord, le fonctionnement cognitif des personnes présentant un TED sera décrit à partir des différentes hypothèses explicatives, puis la théorie plus spécifique aux FE sera abordée. L'évaluation neuropsychologique sera expliquée de manière générale pour ensuite laisser place à l'évaluation traditionnelle des FE. Ensuite, l'évaluation écologique sera évoquée, mais tout particulièrement les tests écologiques des FE utilisés auprès des

TED. Puis, la RV et les notions s'y rattachant seront décrites, de même que les bénéfices de ce nouvel outil. Quelques applications de la RV pour l'évaluation des fonctions exécutives et attentionnelles seront discutées et l'utilisation de la RV auprès des TED sera présentée. La RV sera considérée en premier comme moyen d'intervention auprès de cette population puisque la majorité des études ont exploré cet aspect et, en second, comme outil d'évaluation. Finalement, une discussion visera à établir si la RV serait une modalité plus adéquate pour évaluer les FE des personnes présentant un TED.

**Chapitre I**  
Fonctionnement cognitif des personnes TED

## **Théories explicatives**

Certaines théories ont été élaborées afin de mieux comprendre le fonctionnement cognitif des personnes présentant un TED, mais essentiellement dans le but d'expliquer leurs déficits (Rogé, 2008). Le trouble de la cohérence centrale, le déficit de la théorie de l'esprit et le dysfonctionnement des FE font partie des hypothèses explicatives les plus souvent rapportées en ce qui a trait aux symptômes liés à l'autisme.

Frith (1989) associe les anomalies d'intégration de l'information perceptive relatives à l'autisme à un trouble de la cohérence centrale. Cette théorie renvoie à l'approche fragmentée de l'information au détriment d'une intégration plus globale (Rogé, 2008). Cette tendance des personnes autistes à focaliser leur attention sur des éléments distincts peut expliquer leur préoccupation pour certains détails ou certaines parties des objets (Happé, 1999). Elles éprouveraient donc de la difficulté à faire un tout cohérent avec les éléments perceptifs de leur environnement. Ainsi, elles peuvent avoir du mal à intégrer simultanément les indices verbaux et non verbaux lors d'une conversation (Lussier & Flessas, 2009). Leur difficulté à reconnaître les émotions pourrait également provenir du fait que les traits d'un visage sont analysés indistinctement de l'ensemble du visage (McKelvie, 1995). Pour Kanner (1943), les autistes montreraient une difficulté à s'adapter aux changements en raison de cette vision fragmentaire, puisque si la situation

n'est pas identique en tout point à celle à laquelle ils ont été confrontés la première fois, ils ne percevront pas la situation comme étant complète.

L'altération sur le plan des interactions sociales chez les autistes pourrait s'expliquer par un déficit de la théorie de l'esprit. En effet, ces personnes ont dû mal à attribuer des états mentaux aux autres personnes (Baron-Cohen, 1993). En d'autres termes, l'individu autiste a du mal à se mettre à la place d'autrui. Il éprouve alors de la difficulté à ajuster son comportement en fonction des connaissances, des pensées, des croyances et des émotions de l'autre (Rogé, 2008). Cette théorie et celle de la cohérence centrale permettent d'expliquer les difficultés sociales inhérentes au TED, mais ne peuvent à elles seules expliquer les autres manifestations symptomatiques propres à ce diagnostic.

Selon certains chercheurs, parmi les déficits cognitifs, ce seraient ceux liés aux FE qui expliqueraient le mieux les principales caractéristiques de l'autisme (Griffith, Pennington, Wehner, & Rogers, 1999; Hugues, Russell, & Robbins, 1994; Lopez, Lincoln, Ozonoff, & Lai, 2005; Ozonoff, Pennington, & Rogers, 1991). Cette théorie stipule que le dysfonctionnement exécutif chez les autistes serait comparable à celui que l'on retrouve chez les patients qui ont subi des lésions au niveau du lobe frontal (Hill, 2004). Ozonoff et al. (1991) sont les premiers à considérer l'impact des FE pour expliquer les manifestations propres à l'autisme. Certains critères diagnostiques de l'autisme peuvent même s'expliquer par des déficits spécifiques au niveau de la sphère exécutive. Par exemple, la difficulté à s'adapter au changement et la préférence pour les

routines strictes s'expliqueraient par un manque de flexibilité cognitive, alors que les intérêts restreints et les comportements répétitifs seraient liés à de la persévération (Ozonoff et al., 1991). Les conduites rigides et répétitives pourraient également provenir d'une difficulté à inhiber une réponse saillante, donc seraient en lien direct avec un manque d'inhibition (Motttron, 2009). La théorie du trouble des FE est la plus prometteuse puisqu'elle permet à la fois d'expliquer un bon nombre des symptômes diagnostiques du TED, mais aussi de rendre compte des limitations vécues au quotidien. C'est pourquoi cette théorie demeure la plus étudiée à ce jour.

### **Les FE chez les individus TED**

Dans les écrits scientifiques, il n'existe toujours pas de définition générale et exhaustive des FE. Plusieurs conceptions ont été proposées dans le but d'expliquer ce à quoi renvoie ce type de fonctions cognitives. Les premiers modèles élaborés représentent un modèle unitaire des FE, alors qu'aujourd'hui, on les considère plutôt comme des composantes isolées, mais reliées entre elles.

En effet, pour certains, les FE seraient sous-tendues par une capacité unique (modèle unitaire). Afin d'expliquer les comportements intentionnels, Miller, Galanter et Pribram (1960) suggèrent un système de rétroaction. Le système T.O.T.E (*test-operate-test-exist*) comprend une première étape où la personne détermine son but (*test*), puis, elle intervient pour atteindre ce but (*operate*), ensuite, elle vérifie si son but est atteint

(*test*), s'il l'est le problème est résolu (*exit*) s'il ne l'est pas elle revient à l'étape *operate*. Ce système serait actif jusqu'à ce que le problème soit résolu.

Pour Grafman (1989, 1995), les lobes frontaux sous-tendraient plusieurs schémas d'action qui nous permettraient d'intervenir efficacement dans une situation donnée. Pour chaque situation, nous aurions une sorte de liste d'actions prédéterminées. Grafman réfère les schémas à des *Managerial Knowledge Units* (MKU). Les MKU seraient organisés selon une certaine hiérarchie du plus général au plus spécifique. Au niveau plus général, les MKU peuvent s'appliquer à plusieurs types de comportements et de situations. Puis, à un niveau plus bas de la hiérarchie, les MKU deviennent plus spécifiques et représentent des comportements à adopter pour une activité ou une situation particulière. Par exemple, il y aurait des schémas plus généraux pour un souper au restaurant et des schémas plus spécifiques dans le cas où le serveur ne remettrait pas la monnaie exacte. Les MKU permettraient donc d'accomplir les comportements appropriés lors d'une situation spécifique et nouvelle. Le modèle de Grafman est supporté par les observations d'enfants dont le cortex préfrontal n'a pas atteint la maturité et qui peuvent avoir des comportements inappropriés ou embarrassants dans des situations non-familiales.

Pour d'autres, les FE comprendraient plusieurs fonctions spécifiques qui sont reliées entre elles. Baddeley et Hitch (1974) proposent un modèle de mémoire de travail participant au maintien temporaire d'informations et à la manipulation des informations.

Ce système est composé d'un administrateur central qui supervise et coordonne deux autres systèmes, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial, qui permettent la rétention temporaire d'informations auditivo-verbales et visuo-spatiales respectivement. Pour Baddeley, l'administrateur central correspond au système attentionnel superviseur (SAS) élaboré par Norman et Shallice (1986). Ces auteurs proposent un modèle de traitement hiérarchique dont le niveau de contrôle attentionnel dépend du degré de familiarité de l'activité. Lors d'une activité routinière, les schémas d'action se déclenchent automatiquement, ce qui ne demande qu'un contrôle minimal de l'attention. Par contre, lors d'une situation nouvelle ou complexe, les schémas d'action automatisés ne suffisent plus, alors le SAS doit intervenir. Le sujet entreprend alors des stratégies à partir de ses connaissances antérieures; il doit planifier les différentes étapes de ses actions tout en inhibant les actions non pertinentes. Cependant, pour Norman et Shallice, le SAS ne serait pas une entité homogène, mais sous-tendrait plusieurs fonctions différentes. Ils distinguent alors cinq processus : 1) l'établissement d'un but; 2) la formulation d'un plan; 3) la création des marqueurs, un marqueur étant un message qui indique qu'un comportement ou un événement futur ne doit pas être traité comme le serait une routine; 4) le déclenchement des marqueurs; et 5) la vérification du plan (Van der Linden et al., 2000).

Cette conception des FE se rapproche de celle de Lezak (1995), qui se base sur celle exploitée par Luria. Lezak définit les FE comme les habiletés impliquées lors de la résolution d'un problème pour formuler l'objectif à atteindre, déterminer les étapes

nécessaires en vue d'atteindre un but, mettre à exécution le plan d'action élaboré et vérifier les résultats. Les FE peuvent également être définies comme « l'ensemble des fonctions cognitives élaborées intervenant dans le comportement intentionnel, organisé, volontaire, dirigé vers un but » (Chevignard, Taillefer, Picq, & Pradat-Diehl, 2006). Pour la plupart des auteurs, les FE seraient une variété de capacités reliées entre elles plutôt qu'un processus unitaire. À partir des différents modèles proposés, Gioia et Isquith (2004) font ressortir les principales capacités qui seraient d'adopter un comportement, d'inhiber une réponse non pertinente, de sélectionner des objectifs, de planifier et de mettre en place des stratégies pour résoudre un problème, de trouver des solutions de remplacement pour la résolution du problème si nécessaire, ainsi que de contrôler et d'évaluer son comportement. Il n'existe donc toujours pas de définition universelle des FE, mais chacune d'entre elles permet d'apporter un éclairage sur la description de ces processus.

Les déficits exécutifs peuvent être associés à des dommages cérébraux variés affectant notamment les lobes frontaux ainsi qu'à certains troubles neurodéveloppementaux, comme le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), le trouble obsessionnel-compulsif, le syndrome de Gilles de la Tourette (SGT), la schizophrénie et l'autisme (Ozonoff & Jensen, 1999; Pennington & Ozonoff, 1996; Sergeant, Geurts, & Oosterlaan, 2002).

On remet maintenant en question la théorie du dysfonctionnement exécutif expliquant les symptômes associés à l'autisme. Les deux premières recensions d'écrits abordant la thématique des FE dans le cadre des TED soutenaient la théorie du dysfonctionnement exécutif chez les personnes présentant un TED (Pennington & Ozonoff, 1996; Sergeant et al., 2002). Ces deux études rapportent spécifiquement des difficultés marquées au niveau de la planification et de la flexibilité mentale. Par contre, dans une revue de littérature plus récente (Hill, 2004), les résultats apparaissent plutôt mitigés. Des lacunes sur le plan de la mémoire de travail et de l'inhibition seraient aussi présentes dans le groupe de personnes TED, alors que ces capacités étaient considérées comme étant adéquates par Pennington et Ozonoff (1996). De plus, la variabilité des quotients intellectuels entre les groupes contrôles et les groupes autistes pouvait expliquer les différences de performances dans les tâches mesurant les FE (Hill, 2004). Ainsi, malgré l'intérêt grandissant pour l'étude des FE chez les TED, il existe toujours un manque de consensus sur le fonctionnement exécutif de ces personnes.

**Chapitre II**  
Évaluation neuropsychologique

Les FE sont évaluées dans le cadre d'une évaluation neuropsychologique qui a pour but de mieux comprendre le fonctionnement cognitif d'un individu. Plusieurs fonctions sont évaluées à l'aide de tests neuropsychologiques comme le langage, le raisonnement perceptuel, les habiletés praxiques, la mémoire et l'attention. À partir des performances aux différents tests, le neuropsychologue est amené à identifier les forces et les faiblesses de l'individu dans le but de guider les interventions futures, de donner son avis sur le cheminement scolaire ou le parcours professionnel, d'établir les mesures d'adaptation et de participer au plan d'intervention (Gioia & Isquith, 2004). L'évaluation des FE constitue une partie importante de l'évaluation neuropsychologique. Sur le plan de la recherche, cette dernière permet de mieux comprendre le fonctionnement cérébral et cognitif des personnes en mesurant objectivement leurs comportements ou les habiletés cognitives sous-jacentes. Il est donc essentiel que les fonctions cognitives soient mesurées avec le plus d'exactitude possible.

Tous les tests qu'utilisent les neuropsychologues sont reconnus comme étant à la fois fidèles et valides. La notion de fidélité renvoie à l'exactitude et à la constance des résultats (Urbina, 2004). Un instrument de mesure fidèle doit avoir une marge d'erreur acceptable et reproduire les mêmes résultats chez un même individu s'il était évalué une deuxième fois. Il existe toutefois certaines menaces à la fidélité d'un test neuropsychologique dont on doit tenir compte. D'une part, les examinateurs ou ceux qui

corriger les tests ne s'entendent pas toujours sur l'exactitude de la réponse. Un test fidèle doit en effet avoir un bon degré d'accord interjuge, c'est-à-dire que les examinateurs s'entendent sur le nombre de points accordés à la réponse ainsi qu'à la réussite ou à l'échec à un item. Un test fidèle doit également avoir des procédures standardisées pour son administration en ce qui concerne les instructions données, les limites de temps accordées et le contexte physique. Le contexte de l'environnement où se déroule la passation du test, comme la luminosité de la pièce ou le bruit ambiant, influencerait les performances aux tests (Hogan, 2012). Or, il est difficile d'établir un même environnement pour tous puisque les cliniciens évaluent les individus dans des endroits différents (ex. : des hôpitaux, des cliniques privées). L'état physique et psychologique de la personne évaluée (niveau de fatigue, d'anxiété, de motivation, etc.) pourrait également compromettre la fidélité d'un test (Shum, O'Gorman, Myors, & Creed, 2013). Ces menaces à la fidélité s'adressent à l'ensemble des tests neuropsychologique donc ceux évaluant les FE. Cependant en ce qui concerne la mesure des FE, il existe un problème majeur à propos de la fidélité test-retest. En effet, les FE sont surtout sollicitées lors d'une tâche nouvelle (Rabbitt, 1997). Ainsi, lors de la deuxième passation pour évaluer la fidélité test-retest, la tâche n'est plus nouvelle, et par conséquent, le recrutement des FE atténué.

La validité, quant à elle, renvoie plutôt à la pertinence des conclusions que l'on peut tirer des résultats (Hogan, 2012). En psychométrie, il existe en général trois types de validité : la validité de construit, celle de contenu et celle critériée. La validité de

construit est liée à la cohérence du test avec la théorie sous-jacente au construit (Shum et al., 2013). Ce type de validité dépend donc de la qualité de la construction théorique du concept mesuré. Un test valide doit également mesurer toutes les facettes du concept, c'est la validité de contenu. En ce sens, les différents items d'un test doivent mesurer l'ensemble du construit donné. La validité critériée concerne plutôt la relation entre la performance à un test et un autre critère qui est considéré comme étant un important indicateur du construit (Hogan, 2012). Cet indicateur peut être un critère externe en lien avec le test (ex. : observations cliniques, rendement scolaire), un autre test qui est reconnu comme étant valide ou des groupes contrastés, donc qui permettent de distinguer deux groupes (ex. enfants TDAH et enfants non TDAH).

Comme pour la fidélité, il existe également des menaces à la validité des tests, tout particulièrement lorsqu'il est question de l'évaluation des FE. Tout d'abord, la théorie entourant les FE n'est pas encore clairement établie dans les écrits scientifiques, ce qui a un impact sur la validité de construit, définie plus haut. Certains auteurs perçoivent les FE comme étant un concept unitaire, en un seul processus exécutif distinct, alors que d'autres les considèrent comme des processus reliés, mais distincts entre eux. Ils distinguent alors chaque sous-catégorie des FE (ex. planification, inhibition, flexibilité). La grande majorité des tests évaluant les fonctions exécutives ont cependant été créés selon cette deuxième approche que l'on peut nommer approche modulaire. En effet, les tests évaluant les FE ont été développés dans le but de mesurer isolément chacune des fonctions. Cependant, pour Rabbitt (1997), cette conception serait inappropriée puisque

par définition, le contrôle exécutif sollicite le recrutement simultané de plusieurs processus distincts. Selon ce même auteur, les FE ne sont impliquées que dans l'exécution d'une tâche nouvelle. Pour réaliser la tâche exécutive, le patient ne doit pas pouvoir utiliser des séquences de comportements appris (Van der Linden et al., 2000). Un individu ne peut donc accomplir deux fois la même tâche exécutive. Une autre menace à la validité des tests mesurant les FE est l'implication d'autres fonctions cognitives. En effet, toute tâche exécutive sollicite également des fonctions non exécutives (ex. : langage, balayage visuel). Il est alors difficile d'attribuer l'échec ou la réussite strictement aux FE (Rizzo et al., 2001). Par ailleurs, on ne peut pas prétendre qu'une performance à un test mesurant une fonction spécifique est liée aux habiletés dans la vie quotidienne (Rabbitt, 1997).

En neuropsychologie, la majorité des tests a d'abord été créé dans le but de pouvoir identifier la localisation du dommage cérébral. Un test valide devrait donc permettre de localiser la lésion cérébrale. Or, les objectifs en neuropsychologie clinique ont évolué avec le temps puisque maintenant on souhaite prédire le fonctionnement quotidien (Chaytor & Schmitter-Edgecombe, 2003). Ainsi, un échec à une tâche de planification était lié à une lésion frontale, alors que maintenant on tente de mettre en lien cet échec avec des difficultés de planification dans la vie quotidienne. Malgré ce changement sur le plan de la conception de la neuropsychologie, les tests neuropsychologiques utilisés sont sensiblement les mêmes. Toutefois, pour l'évaluation des FE, un effort est octroyé pour inventer de nouveaux tests neuropsychologiques dans le but de répondre à ce

mandat. Ce constat remet en question la validité écologique des tests neuropsychologiques, c'est-à-dire leur capacité à prédire le fonctionnement d'un individu dans son quotidien.

### **Évaluation traditionnelle des FE et ses lacunes sur le plan de la validité écologique**

Les épreuves neuropsychologiques évaluant les FE sont tout particulièrement visées lorsqu'il est question de la validité écologique. Ces tests sont hautement structurés avec des instructions verbales standardisées qui expliquent le problème et le type de réponses attendues (Joyeux et al., 2006). En plus, un seul problème doit être traité à la fois. Les essais sont de courte durée et l'examineur encourage l'initiative de même que l'achèvement de la tâche, ce qui diffère grandement du contexte quotidien où s'inscrivent les activités d'un individu. Pour cette raison, plusieurs auteurs s'interrogent sur la capacité des tests exécutifs à prévoir les difficultés dans la vie de tous les jours.

Le caractère hautement structuré des tests exécutifs et ses demandes explicites sont des aspects d'autant plus importants à considérer lors de l'évaluation avec des personnes autistes puisque ces dernières sont reconnues pour répondre de façon adéquate dans des environnements structurés (Schopler, Mesibov, & Hearsey, 1995) et lorsque les demandes sont formulées explicitement (Lovass, 1987). Ainsi, les personnes TED accompliraient mieux les tâches en laboratoire que celles dans des contextes de vie réelle (Kenworthy, Yerys, Anthony, & Wallace, 2008). En plus, les tâches neuropsychologiques sont administrées par l'examineur. Or, il est difficile d'attribuer

la performance à la tâche uniquement puisque celle-ci est également influencée par les déficits sociaux et motivationnels observés chez les TED (Kenworthy et al., 2008; Robinson, Goddard, Dritschel, Wisley, & Howlin, 2009). En effet, le patient autiste pourrait ne pas bien saisir la nature de la tâche à effectuer puisque c'est l'examineur qui donne les consignes ou pourrait avoir dû mal à comprendre les rétroactions fournies par celui-ci. Il est également possible que le patient autiste ne soit pas motivé par la tâche à effectuer et ne souhaite pas particulièrement plaire à l'examineur alors il ne fournirait pas les efforts nécessaires pour l'accomplir.

### **Évaluation des FE chez les TED avec des tâches informatisées**

De façon générale, les tests administrés se déroulent de manière « traditionnelle », c'est-à-dire par le neuropsychologue qui explique les règles et fournit des rétroactions. Depuis quelques années, en recherche principalement, un grand nombre de tâches des FE ont été reproduites en version informatisée. Chez les TED, des différences de performance sont obtenues selon l'approche utilisée (standard vs informatisée). Ainsi, on retrouverait des déficits au niveau de la planification, tels que mesurés dans des tests standards comme la *Tour d'Hanoï* et la *Tour de Londres* (Culbertson & Zillmer, 2005). En effet, les personnes présentant un TED réussiraient moins bien ces tâches comparativement à des sujets neurotypiques (Geurts, Verté, Oosterlaan, Roeyers, & Sergeant, 2004; Lopez et al., 2005; Pellicano, Maybery, Durkin, & Maley, 2006; Robinson et al., 2009; Verté, Geurts, Roeyers, Oosterlaan, & Sergeant, 2006). Cependant, en utilisant une version informatisée de la *Tour de Londres*, le *CANTAB*

*Stockings of Cambridge* (Cambridge Cognition, 1996), la majorité des études n'a pu reproduire ce résultat (Goldberg et al., 2005; Happé, Booth, Charlton, & Hughes, 2006; Sinzig, Morsch, Bruning, Schmidt, & Lehmkuhl, 2008). Par contre, Robinson et al. (2009) critiquent l'administration de la tâche en version informatisée puisqu'on y fournirait des consignes supplémentaires qui favoriseraient la réussite de l'épreuve. Par exemple, on encouragerait la personne à s'assurer de sa solution avant de déplacer la première boule et on l'informerait du nombre minimum de déplacements à effectuer. L'absence de différence significative entre les groupes pourrait également s'expliquer par le manque de sensibilité de l'épreuve informatisée chez les enfants de moins de 12 ans (Goldberg et al., 2005). En effet, dans l'étude d'Ozonoff et al. (2004), il n'y avait pas de différence significative entre le groupe âgé de 12 ans et moins présentant un TED et le groupe contrôle, alors qu'on observait une différence avec les groupes de personnes plus âgées.

Cette discordance entre les performances aux tâches informatisées et standards est également observée au niveau de la mesure de la flexibilité cognitive. Dans une tâche informatisée semblable à celle du *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST; Heaton, Chelune, Talley, Kay, & Curtis, 1993), le *CANTAB Intradimensional/Extradimensional shift test*, la majorité des études n'a pu trouver de différences significatives entre les performances de personnes TED et les neurotypiques (Edgin & Pennington, 2005; Goldberg et al., 2005; Happé et al., 2006; Landa & Goldberg, 2005; Sinzig et al., 2008). Pourtant, les études rapporteraient clairement des déficits chez les TED en utilisant la

version standardisée du *WCST* (Geurts, Corbett, & Solomon, 2009; Griebeling et al., 2010; Liss et al., 2001; Lopez et al., 2005; Van Eylen et al., 2011; Verté et al., 2006). Toutefois, ce test ne concerne pas seulement la flexibilité cognitive, mais également d'autres capacités, comme l'ajustement en fonction des rétroactions, le maintien en tête de l'objectif et l'inhibition de la réponse précédente. Il est donc difficile d'établir si c'est réellement le manque de flexibilité mentale qui est responsable de l'échec des personnes autistes au *WCST*. Toutefois, que ce soit dans le but d'évaluer la planification ou la flexibilité cognitive, il semble que les personnes autistes réussiraient mieux les tâches en version informatisée qu'en version standard.

Dans l'étude d'Ozonoff (1995), les personnes autistes réussissaient mieux la version informatisée du *WCST*. L'auteure explique cette hausse de performance par la réduction de la demande sociale et verbale dans la version informatisée. La présence de déficits dans les tâches traditionnelles qui sont atténués par l'administration en version informatisée pourrait s'expliquer par le fait que la tâche se déroule dans un contexte social (Kenworthy et al., 2008). Puisque les personnes autistes ont des lacunes sur le plan des habiletés sociales, ces dernières seraient désavantagées par rapport à leurs pairs qui ne présentent pas ce diagnostic lorsque l'administration des tests se fait par un examinateur.

### **Les déficits au niveau des FE dans la vie de tous les jours**

Si les résultats des études sont mitigés quant à l'existence d'un trouble au niveau de la flexibilité cognitive dans un contexte d'évaluation, il apparaît que dans un environnement de vie plus naturel, les personnes avec un TED ont des problèmes dans ce registre. Un critère diagnostique de l'autisme découle même de cette rigidité. De plus, l'entourage de ces personnes remarquerait des problèmes de flexibilité cognitive dans la vie de tous les jours selon leurs réponses au *Behavior Rating Inventory of Executive Function* (BRIEF; Gioia, Isquith, Guy, & Kenworthy, 2000), (Gioia, Isquith, Kenworthy & Barton, 2002; Mackinlay, Charman, & Karmiloff-Smith, 2006). Les difficultés mises en évidence dans la vie de tous les jours ne seraient donc pas toujours en lien avec celles qui sont relevées dans les épreuves neuropsychologiques.

### **Évaluation écologique**

La validité écologique réfère à la capacité du test à refléter le fonctionnement de l'individu dans la vie courante (Chaytor & Schmitter-Edgecombe, 2003). Les différentes épreuves neuropsychologiques peuvent être évaluées en fonction de deux concepts élaborés par Franzen et Wilhelm (1996) : la « versimilitude » et la « véridicalité » (traduction libre de *veridicality*). Ces auteurs décrivent la versimilitude comme étant la correspondance entre la demande cognitive de la tâche et celle dans une activité de la vie courante, tandis que la véridicalité renvoie à la relation entre la performance au test traditionnel et une mesure du fonctionnement quotidien (ex. : questionnaires, observations).

Comme énoncé précédemment, les tests traditionnels évaluant les FE ont été préalablement conçus pour détecter les dysfonctionnements exécutifs dans le cas des troubles acquis (ex. : accident vasculaire cérébral, traumatisme crânien). De fait, ils manquent de sensibilité pour détecter les difficultés subtiles retrouvées dans le cadre de troubles neurodéveloppementaux rendant plus complexe le parallèle possible avec le fonctionnement quotidien (Hill & Bird, 2006). Ce constat récent dans le domaine de la neuropsychologie implique la création de nouveaux tests qui se montreront plus sensibles pour détecter les difficultés que présentent ces populations cliniques d'une part et d'autre part, qui seront capables de les traduire au quotidien.

### **Les tests écologiques auprès des TED**

**Selon l'approche de versimilitude.** Les tests traditionnels ne s'avèrent pas toujours sensibles pour détecter les déficits exécutifs chez les personnes présentant un TED. Par contre, de nouveaux tests de type papier-crayon à valence écologique permettraient de mieux différencier les personnes autistes des personnes neurotypiques. Certains tests ont été créés dans le but de reproduire des situations proches de celles de la vie de tous les jours comme le *Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome (BADS)*; (Wilson, Alderman, Burgess, Emslie, & Evans, 1996); la *BADS*, version pour enfants (*BADS-C*; Emslie, Wilson, Burden, Nimmo-Smith, & Wilson, 2003); le *test de Hayling* (Burgess & Shallice, 1997) ou le *Test of Everyday Attention for Children (TEA-Ch)*; (Manly, Robertson, Anderson, & Nimmo-Smith, 1999). Les tâches demandées par ces différents tests sont décrites dans le Tableau 1. Ces nouveaux outils tentent d'avoir une meilleure

validité écologique au niveau de la versimilitude en utilisant un matériel qui se rapproche de la réalité quotidienne. Les personnes autistes présenteraient des déficits sur le plan des FE avec la majorité des tâches écologiques énoncées précédemment. Par exemple, dans le groupe d'enfants autistes, le score global obtenu à la *BADS* était inférieur à celui du groupe contrôle (Rajendran, Mitchell, & Rickards, 2005). Les adultes présentant un TED réussiraient moins bien la tâche des *Six éléments* de la *BADS* (Hill & Bird, 2006) et le *test de Hayling* (Boucher et al., 2005; Hill & Bird, 2006) suggérant ainsi des déficits au niveau de la planification, de la résolution de problème, de la multitâche et de l'inhibition. En effet, les autistes réussiraient moins bien les épreuves qui exigent l'exécution de plusieurs tâches (Altgassen, Koban, & Kliegel, 2012; Mackinlay et al., 2006). Les épreuves multitâches seraient plus écologiques puisqu'elles ressemblent davantage à des tâches quotidiennes où l'on doit planifier et coordonner plusieurs tâches dans le temps.

Les enfants présentant un TED montreraient également des difficultés au niveau des FE avec les sous-tests moins structurés de la *BADS-C*, tels que le *Key Search task* et la tâche des *Six éléments* ainsi qu'avec la tâche de complétion de phrases de Hayling (White, Burgess, & Hill, 2009). Un déficit au niveau de la flexibilité mentale serait aussi observé au sous-test *Playing cards* de la *BADS* (Harris et al., 2008). Toutefois, certaines études n'auraient pu obtenir de différence significative entre le groupe de personnes TED et le groupe contrôle avec certains sous-tests de la *BADS*, comme le *Zoo Map Test* (Boucher et al., 2005, Harris et al., 2008) ou le *Key Search test* (Harris et al., 2008).

Tableau 1

*Liste des tâches écologiques pour évaluer les fonctions exécutives chez les personnes présentant un TED*

Nom du test	Âge	Description
Dresden Breakfast task (Altgassen et al., 2012)	Adultes	Le participant doit préparer un déjeuner pour 4 personnes en 7 minutes en respectant certaines conditions.
Écouter deux choses à la fois de la TEA-Ch (Manly et al., 1999)	6 à 16 ans	Le participant doit dénombrer dans sa tête des cibles visuelles tout en écoutant un bulletin de nouvelles pour repérer le nom d'un animal.
Key Search task de la BADS-C (Emslie et al., 2003)	8 à 16 ans	Le participant doit élaborer une stratégie efficace pour retrouver ses clés qu'il a perdues.
Marche/Arrête de la TEA-Ch (Manly et al., 1999)	6 à 16 ans	Le participant doit avancer d'une case sur sa feuille seulement après l'écoute d'un seul bip; si le bip est suivi d'une explosion il ne doit pas avancer.
Playing cards de la BADS-C (Emslie et al., 2003)	8 à 16 ans	Dans la première partie du test, le participant doit répondre « oui » lorsque la carte est rouge et « non » lorsque la carte est noire. Dans la deuxième partie, le participant doit s'ajuster au changement de règle; dire « oui » lorsque la carte est de la même couleur que celle précédente et « non » lorsqu'elle n'est pas de la même couleur.

Tableau 1

*Liste des tâches écologiques pour évaluer les fonctions exécutives chez les personnes présentant un TED (suite)*

Nom du test	Âge	Description
Six éléments de la BADS (Wilson et al., 1996)	16 à 87 ans	Le participant doit effectuer trois types de tâches en 10 minutes : 1) Compléter deux calculs arithmétiques; 2) Composer deux textes; et 3) Écrire le nom d'objets sur des images tout en respectant certaines règles.
Six éléments de la BADS-C (Emslie et al., 2003)	8 à 16 ans	Version écourtée de la tâche pour adultes (5 minutes).
Tâche de complétion de phrases de Hayling pour enfants par Shallice (non publié)	Enfants	Tâche s'apparentant à celle pour adultes.
Test de Hayling (Burgess & Shallice, 1997)	18 à 80 ans	Dans la première partie, le participant doit compléter 15 phrases avec un mot qui est lié au contexte et dans la deuxième partie, il doit compléter les mêmes phrases avec un mot qui n'est pas relié au contexte.
Zoo map test de la BADS-C (Emslie et al., 2003)	8 à 16 ans	Le participant doit planifier sa visite au zoo en suivant certaines directives.

Les questionnaires sont également considérés comme étant une mesure faisant partie de l'approche versimilitude. Les résultats aux questionnaires sont basés sur les observations et les perceptions de l'entourage ou de l'individu lui-même par rapport aux difficultés vécues dans la vie de tous les jours. La majorité des études ont utilisé le *BRIEF* afin d'identifier les problèmes au niveau des FE dans la vie quotidienne, mais également le *Dysexecutive Questionnaire* de la *BADS* pour adultes (*DEX*; Wilson et al., 1996) ou pour les enfants (Emslie et al., 2003). Comparativement à l'échantillon normé, les personnes autistes obtiendraient des résultats atteignant le seuil clinique à la majorité des échelles du *BRIEF* qui sont l'inhibition, la rigidité, le contrôle émotionnel, l'initiative, la mémoire de travail, la planification/organisation, l'organisation du matériel et de l'autocontrôle (Gilotty, Kenworthy, Sirian, Black, & Wagner, 2002; Kenworthy et al., 2005; Mackinlay et al., 2006). À l'aide de ce même questionnaire, trois autres études montreraient des déficits au niveau des FE lorsqu'elles comparent le groupe de personnes autistes à un groupe contrôle (Gioia et al., 2002; Rosenthal et al., 2013; Winsler, Abar, Feder, Schunn, & Rubio, 2007). On observerait par ailleurs une augmentation de la sévérité des déficits avec l'âge (Rosenthal et al., 2013). Le groupe de personnes autistes se distinguerait des autres groupes possédant des troubles développementaux (trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité, dyslexie) ou acquis (traumatisme cranio-cérébral) par un déficit plus marqué sur le plan de la mesure de flexibilité dans la vie quotidienne telle que mesurée par le *BRIEF* (Gioia et al., 2002). Le *DEX* aurait également permis de détecter des déficits exécutifs chez des

sujets Asperger (Channon, Charman, Heap, Crawford, & Rios, 2001) et des sujets présentant un TED (Altgassen et al., 2012).

**Selon l'approche de véridicalité.** Peu d'études se sont intéressées à l'approche de véridicalité auprès de la clientèle à l'étude, c'est-à-dire au lien entre les résultats aux tests traditionnels et les mesures du fonctionnement quotidien comme les questionnaires. Cette approche permet de vérifier si les déficits aux tests correspondent aux lacunes observées dans la vie quotidienne chez les personnes autistes. Ainsi, un test traditionnel n'ayant pas été créé dans un but de validité écologique pourrait tout de même prédire les habiletés dans la vie courante (Poletti, 2010). Le *WCST* considéré comme étant un test traditionnel semble détenir une assez bonne validité écologique selon l'approche de véridicalité puisque les comportements stéréotypés/intérêts restreints des autistes seraient liés aux résultats obtenus à ce test (Lopez et al., 2005; South, Ozonoff, & McMahon, 2007). Toutefois, pour Teunisse et al. (2012), les performances au *WCST* de même que celles au *Intradimensional et Extradimensional* de la *CANTAB* (ID/ED) n'étaient pas reliées de manière significative aux observations des parents selon l'échelle de flexibilité du *BRIEF*, alors qu'Ozonoff et al. (2004) rapportaient une relation entre les lacunes observées à deux sous-tests de la *CANTAB*, soit le *Stocking of Cambridge* et le *ID/ED* et les mesures des comportements adaptatifs du *Vineland Adaptive Behaviour Scales* (Sparrow, Balla, & Cicchetti, 1984).

Étant donné le nombre très restreint d'études s'étant penchées sur l'approche de véridicalité avec la population TED, il est difficile de se positionner sur la capacité des tests traditionnels à prédire leurs habiletés dans la vie de tous les jours, bien que la tâche du WCST semble liée aux comportements de rigidité. Par contre, les nouveaux tests neuropsychologiques créés dans le but de reproduire des activités de la vie quotidienne (versimilitude) sembleraient mieux prédire le fonctionnement quotidien puisqu'on observe généralement un lien entre les comportements observés et les résultats aux tests. Dans une tâche nécessitant la mise en action de plusieurs FE, la *Dresden Breakfast task* (Altgassen et al., 2012), un lien était établi entre le temps de complétion et les résultats au *DEX*. Les résultats obtenus à l'épreuve d'attention auditive divisée (*Écouter deux choses à la fois*) et d'inhibition (*Marche/Arrête*) provenant du *TEA-Ch* étaient mis en relation avec les symptômes autistiques (Kenworthy, Black, Harrison, della Rosa, & Wallace, 2009). Un lien était également observé entre les symptômes autistiques chez des adultes présentant un syndrome d'Asperger et leurs résultats obtenus à la tâche des *Six éléments* et le *test de Hayling* (Hill & Bird, 2006). Toutefois, dans une épreuve de multitâches, les résultats obtenus n'étaient mis en relation qu'avec l'échelle initiative du *BRIEF*. Aucune corrélation n'était établie avec les échelles de planification/organisation, d'autorégulation et de flexibilité, alors que ces fonctions étaient nécessaires à l'exécution de ce type de tâches (Mackinlay et al., 2006). Puisque les tests à valeur écologique sont créés dans le but de mieux prédire le fonctionnement adaptatif, il est nécessaire d'établir cette relation avec des questionnaires comme le *BRIEF* ou le *DEX* puisque peu d'études à ce jour ont tenté d'établir ce lien.

La majorité des tests écologiques utilisés dans le cadre d'une évaluation neuropsychologique sont des tests de type papier-crayon (ex. *BADS*, *TEA-Ch*) qui tentent de reproduire une situation s'apparentant à celle de la vie courante, mais avec les avancées en technologie, on peut maintenant soumettre le patient à une situation artificielle de vie réelle. En effet, en recherche, on s'intéresse à la réalité virtuelle comme nouvelle modalité d'évaluation, thème de la prochaine section.

### **Description de la RV**

La réalité virtuelle (RV) est un procédé informatique qui permet de simuler un environnement réel ou imaginaire en trois dimensions (3D) où l'utilisateur peut produire des actions en temps réel. L'interaction avec un environnement en 3D est ce qui distingue la RV des autres technologies (Schultheis et al., 2002). La RV peut se présenter sous différentes interfaces, dont les plus courantes sont le simple écran d'ordinateur, l'écran de projection avec port de lunettes 3D, le visiocasque et la voûte immersive. Lors de l'utilisation d'un écran d'ordinateur conventionnel (*Desktop VR*), l'individu interagit avec un monde virtuel transposé par des logiciels démontrant des aspects tridimensionnels, tels que la perspective, la rotation des objets ou l'interposition des objets. On peut aussi jumeler l'écran d'ordinateur au port de lunettes 3D (*Projected VR*) où l'illusion du monde virtuel est créée comme dans un film 3D. L'interface permettant à l'utilisateur de se sentir complètement immergé par l'environnement virtuel est le visiocasque (*Head Mounted Display* ou *HMD*). Ce système est muni de deux petits écrans situés à la hauteur de chaque œil. Le capteur de localisation permet de suivre les

mouvements de la tête et ainsi, lorsque la personne bouge la tête, l'environnement tridimensionnel se déplace sous ses yeux pour adopter son point de vue en temps réel. L'immersion peut aussi se présenter sans visiocasque, dans la voute immersive (*CAVE*). L'individu porte des lunettes 3D et l'environnement virtuel est projeté sur chaque mur de la voute, mais aussi sur le plancher et le plafond afin que l'utilisateur ait l'impression de faire partie du monde virtuel. Différents dispositifs peuvent être ajoutés à ces interfaces afin de solliciter des modalités sensorielles spécifiques, tels que des sons ou des odeurs.

**Notion de présence et cybermalaises.** L'expérience en RV dépendrait, entre autres, de l'interface utilisée et se caractérise par la notion de présence. Celle-ci serait l'élément essentiel de l'expérience en RV (Sacau, Laarni, & Hartmann 2008; Steuer, 1992). Le sentiment de présence peut être défini comme étant « l'état psychologique d'avoir l'impression d'être là par l'intermédiaire d'un environnement qui sollicite nos sens, capte notre attention et favorise notre participation active » (traduction libre, Witmer, Jerome, & Singer, 2005). En d'autres termes, le sentiment de présence renvoie à une expérience subjective où le participant a l'impression que l'environnement virtuel représente une situation de la vie courante (Slater et al., 2006). Même si l'utilisateur est conscient que l'environnement virtuel n'est pas réel, il répondra aux événements de la même manière que si ces derniers se produisaient dans la réalité (Sanchez-Vives & Slater, 2005). La mesure du sentiment de présence permettrait d'évaluer l'efficacité de l'environnement virtuel et pour le mesurer des questionnaires ont été développés, comme le *Sense of Presence Inventory* (ITC-SoPI; Lessiter, Freeman, Keogh, & Davidoff, 2001)

ou le *Presence Questionnaire* (PQ; Witmer & Singer, 1998). Le sentiment de présence serait influencé par les qualités inhérentes de l'outil utilisé comme la fidélité des composantes sensorielles et la nature de la tâche à effectuer (Witmer et al., 2005), mais également par des caractéristiques individuelles (Sacau et al., 2008). Ainsi, les personnes moins anxieuses devant cette technologie et meilleures dans des tâches spatiales se sentiraient plus facilement immergées par l'environnement virtuel engendrant ainsi un sentiment de présence plus élevé (Sacau et al., 2008). L'interface utilisée influencerait également le sentiment de présence. Notamment, l'usage du visiocasque serait associé à un plus grand sentiment de présence comparativement à l'écran d'ordinateur (Nichols, Haldane, & Wilson, 2000).

L'expérience d'immersion en RV peut provoquer des effets secondaires que l'on nomme cybermalaises. En effet, après ou pendant l'exposition en RV, des nausées, une fatigue oculaire ou un inconfort visuel peuvent se faire ressentir (Hill & Howarth, 2000). La théorie actuelle qui expliquerait le mieux ce phénomène est celle du conflit sensoriel entre le système visuel et le système vestibulaire (Nichols & Patel, 2002). Le système visuel perçoit un mouvement du corps dans l'écran, alors que le système vestibulaire n'enregistre aucun déplacement (Nichols & Patel, 2002; Stanney, Mourant, & Kennedy, 1998). En effet, la personne peut se déplacer dans l'environnement virtuel, alors qu'en réalité, elle est dans une position statique. Dans les systèmes en RV, il existe un certain délai entre le moment où la personne effectue un mouvement (ex. : tourner la tête à droite) et le moment où l'ordinateur enregistre le mouvement et change la position de

l'image (Stanney et al., 1998). Ce décalage de millisecondes entraîne une discordance entre ce que perçoivent le système vestibulaire et le système visuel, ce qui peut entraîner chez certaines personnes des cybermalaises.

Certains facteurs contribueraient à l'apparition de cybermalaises : les caractéristiques reliées au système de RV (ex. interface utilisée, résolution de l'image), les caractéristiques reliées à la tâche (ex. durée, entraînement) et les caractéristiques des sujets (ex. âge, sexe, personnalité) (Nichols & Patel, 2002). L'apparition de cybermalaises varierait selon l'interface de l'environnement virtuel (visiocasque, ordinateur, écran de projection, théâtre virtuel), la luminosité de la pièce (éclairée ou sombre) et la notion de contrôle (actif ou passif). Certains utilisateurs rapporteraient davantage de malaises avec le visiocasque par rapport aux autres modes d'utilisation (Nichols & Patel, 2002; Sharples, Cobb, Moody, & Wilson, 2008). Dans l'étude de Sharples et al., (2008), la luminosité de la pièce durant l'administration de la tâche virtuelle n'influçait pas le degré de symptômes rapportés. Par contre, les participants qui ne pouvaient pas exercer de contrôle sur leurs mouvements dans l'environnement virtuel ont expérimenté plus de malaises que ceux qui pouvaient les contrôler. Une grande proportion des participants, soit entre 60 et 70 %, ont subi une forte intensification de leurs symptômes après une session de 30 minutes dans l'environnement virtuel avec un visiocasque, l'écran de projection et le théâtre virtuel, contrairement à l'utilisation de l'ordinateur, qui compte seulement entre 35 et 40 % des participants. Par contre, dans l'étude de Nichols et Patel (2002), qui compte beaucoup

plus de sujets ( $n = 221$ ) que celle de Sharples et al. (2008) ( $n = 71$ ), la même proportion de participants, soit 70 %, avait ressenti une intensification des malaises 10 minutes après la fin de l'exposition, mais ceux-ci étaient décrits comme étant légers et de courte durée. Les personnes ayant subi des malaises plus sévères et de plus longue durée avaient cependant des antécédents de migraines.

Il existerait beaucoup de variabilité entre les individus en ce qui a trait à l'expérience des cybermalaises. Les femmes seraient plus vulnérables aux cybermalaises (Golding, 2006; Nichols & Patel, 2002), les personnes qui ont le mal des transports (Nichols & Patel, 2002) et les enfants âgés de 6 à 12 ans (Golding, 2006). La présence de cybermalaises affecterait le sentiment de présence, mais cette relation n'est pas encore bien établie (Nichols & Patel., 2002). Il se pourrait que le sentiment de présence et les cybermalaises ne soient pas liés d'un point de vue physiologique (Nichols & Patel, 2002). Par contre, les deux pourraient être reliés à une troisième variable comme une caractéristique du système de RV. Un faible sentiment de présence se produirait chez les personnes ayant une tendance à la claustrophobie ou à se sentir désorientées, ce qui engendrerait par le fait même des cybermalaises (Nichols & Patel, 2002).

Les personnes présentant un TED semblent bien réagir à cette nouvelle technologie. Le sentiment de présence et l'apparition de cybermalaises engendrés par un environnement virtuel de type immersif ont été comparés entre un groupe d'enfants ayant un TED ( $n = 10$ ) et un groupe d'enfants neurotypiques ( $n = 14$ ) (Wallace et

al., 2010). Les résultats montrent que les participants autistes avaient un sentiment de présence comparable à celui des participants neurotypiques selon leurs réponses à l'inventaire de sentiment de présence (*ITC-SoPI*). De plus, l'ensemble des participants ne rapportait aucun cybermalaise, comme des nausées ou des étourdissements.

**Les bénéfices de la RV comme outil d'évaluation.** De manière générale, la RV permet de pallier les lacunes engendrées par l'évaluation neuropsychologique traditionnelle. En effet, elle pourrait améliorer la fidélité et la validité du test neuropsychologique. La RV permet de contrôler l'administration du test pour que celle-ci soit uniforme pour tous. L'environnement perceptif ainsi que les stimuli présentés sont contrôlés et les mesures obtenues sont plus précises et exactes (Rizzo et al., 2001). La RV permet également de recueillir plusieurs données (ex. : précision, délai de réponse, constance) de manière objective permettant une analyse détaillée et plus fine des résultats (Rizzo et al., 2004). Le principal avantage à l'utilisation de la RV comme outil d'évaluation des habiletés cognitives réside dans sa capacité à produire un environnement plus naturel et semblable à la vie courante, corrigeant ainsi la principale critique adressée aux tests neuropsychologiques traditionnels (Schultheis, et al., 2002; Rizzo et al., 2006). En d'autres mots, la RV accroît la validité écologique de l'instrument. De plus, elle permet d'examiner directement la relation entre les déficits cognitifs et son impact dans la vie quotidienne, lien très peu évalué par les tests neuropsychologiques traditionnels (Schultheis et al., 2002). Les tâches de la vie courante nécessitent l'implication de plusieurs habiletés cognitives différentes et comme la RV

permet d'évaluer des processus cognitifs plus complexes, elle semble tout particulièrement indiquée pour l'évaluation neuropsychologique.

**Chapitre III**  
Les applications de la RV

Malgré les avantages qu'offre la RV en tant qu'outil d'évaluation, la plupart des études se sont penchées sur son efficacité thérapeutique. La RV a notamment été utilisée dans le traitement des phobies spécifiques, l'anxiété sociale, le syndrome de stress post-traumatique, les troubles d'abus de substance, mais aussi comme outil d'enseignement (Brown, Neale, Cobb, & Reynolds, 1998; Goldsmith & LeBlanc, 2004, Gorrindo & Groves, 2009).

C'est vers le début des années 1990 que les chercheurs ont commencé à évaluer les bénéfices de la RV comme outil éducatif (Brown et al., 1998). En effet, la RV serait efficace comme moyen d'enseignement et favoriserait la motivation (Youngblut, 1998). Elle a notamment été utilisée pour aider les enfants présentant des incapacités intellectuelles à acquérir de meilleures habiletés dans la vie quotidienne, comme faire l'épicerie, préparer la nourriture et s'orienter dans une ville (Standen & Brown, 2005). Puisque la RV permet de recréer un environnement réel, elle semble être une voie à privilégier pour l'acquisition de nouvelles habiletés ou pour entraîner celles qui ont été perdues (Castelnuovo, Lo Priore, Liccione, & Cioffi, 2003; Lee et al., 2003; Lo Priore, Castelnuovo, Liccione, & Liccione, 2003).

La majorité des études se sont intéressées à l'application de la RV comme moyen d'intervention. Cependant, très peu d'études ont utilisé cette technologie comme outil

d'évaluation. Pourtant, plusieurs processus cognitifs ou perceptifs peuvent être évalués à l'aide de la RV. Des études en ont évalué la pertinence pour mesurer la mémoire, les fonctions attentionnelles et les fonctions exécutives. Dans le cadre de cet essai, un aperçu de certaines études portant sur l'évaluation des fonctions attentionnelles et exécutives sera présenté.

### **La RV comme outil d'évaluation**

#### **L'évaluation des FE et des fonctions attentionnelles**

Comme mentionné ultérieurement, les personnes autistes présentent des difficultés liées au fonctionnement du lobe frontal comme des difficultés sur le plan des fonctions exécutives, mais également sur le plan attentionnel. À l'exception d'une seule, les études en RV n'ont pas évalué spécifiquement ces déficits avec cette population. Pourtant, une grande proportion d'enfants TED, soit entre 59 et 83 % selon les études, présenterait également les critères diagnostiques du trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH) (Frazier et al., 2001; Goldstein & Schwebach, 2004; Ogino, Hattori, Abiru, Nakano, Oka, & Ohtsuka, 2005; Scheirs & Timmers, 2009; Yoshida & Uchiyama, 2004). Cependant, les études qui ont évalué la pertinence de l'utilisation de la RV pour mesurer l'attention et les mécanismes d'inhibition l'ont fait auprès d'enfants présentant uniquement un TDAH, une neurofibromatose ou ayant subi un traumatisme crânio-cérébral (Adams, Finn, Moes, Flannery, & Rizzo, 2009; Gilboa et al., 2011; Martin & Nolin, 2009; Moreau, Guay, Achim, Rizzo, & Lageix, 2006; Nolin, Stipanovic,

Henry, Joyal, & Allain, 2012; Parsons, Bowerly, Buckwalter, & Rizzo, 2007; Pollak, Shomaly, Weiss, Rizzo, & Gross-Tsur, 2010; Rizzo et al., 2001, 2006).

**La Classe virtuelle.** La *Classe virtuelle* est un programme en RV de type immersif nécessitant le port d'un visiocasque. Elle a été conçue par une équipe de chercheurs dans le but d'évaluer les processus attentionnels et inhibiteurs chez les enfants (Rizzo et al., 2001). On justifie le port du visiocasque dans le but d'éliminer les distractions du monde extérieur. La *Classe virtuelle* représente une classe rectangulaire aux dimensions standards contenant trois rangées de pupitres, le bureau de l'enseignant, l'enseignant, un tableau sur le mur situé à l'avant de la classe. Sur le mur du côté gauche se trouve une large fenêtre donnant sur la rue où des véhicules et des piétons se déplacent, alors que sur le mur de droite se trouve une porte. L'enfant est donc assis à un pupitre virtuel et doit réaliser une tâche attentionnelle tout en faisant abstraction des distracteurs, comme le son de la cloche, des avions en papier qui volent, les autos qui circulent dans la rue ou autres. Différentes options s'offriraient à l'examineur qui peut programmer sur mesure son évaluation en choisissant par exemple, la place assignée, le nombre d'élèves présents dans la classe ou le sexe de l'enseignant. La nature de la tâche attentionnelle correspond à celle des tests traditionnels qui sont introduits à l'intérieur de la *Classe virtuelle* afin d'évaluer les capacités attentionnelles et les fonctions exécutives. Cette épreuve serait fortement écologique puisqu'elle permet de reproduire des conditions de distraction s'apparentant à celles d'une classe réelle.

*Auprès d'enfants TDAH.* La première étude expérimentale de Rizzo et al. (2006) avec la *Classe virtuelle* consistait à comparer la performance de huit garçons atteints d'un TDAH à celles de 10 garçons non TDAH. La tâche soumise aux enfants était celle du *Continuous Performance Test* (CPT), où des lettres défilaient sur le tableau de l'enseignant et les participants devaient appuyer sur la souris le plus rapidement possible après la présentation d'un X précédé d'un A sans faire d'erreur. Deux tâches de 10 minutes devaient être accomplies par les participants; l'une d'elles présentant des distracteurs (ex. : son de la cloche, des avions en papier qui volent, les autos qui circulent dans la rue ou autres), et l'autre, non. Les résultats montrent que les enfants présentant un TDAH avaient des temps de réaction aux items corrects plus lents que les enfants normaux dans la condition où il y a des distracteurs. De plus, les jeunes ayant un TDAH commettent plus d'erreurs d'omission (cibles non détectées) et de commission (réponse impulsive en l'absence d'une cible) que les enfants sans TDAH. Ils faisaient également plus d'erreurs d'omission dans la condition avec distractions que dans la condition sans distractions. En ce qui concerne les mouvements moteurs enregistrés sur la tête, les jambes et les bras, les enfants présentant un TDAH montraient des niveaux d'activation plus élevés que les enfants sans TDAH. Par ailleurs, dans les deux groupes, aucun symptôme significatif de cybermalaises n'est rapporté. Le groupe d'enfants présentant un TDAH se distinguait donc des enfants non TDAH sur plusieurs mesures de la *Classe virtuelle*. Ces résultats laissent supposer que la *Classe virtuelle* serait un outil efficace pour évaluer le TDAH.

Moreau et al. (2006) ont, eux-aussi, utilisé la *Classe virtuelle* comme outil d'évaluation pour le TDAH chez des enfants. La tâche en RV était sensiblement la même que celle de Rizzo et al., (2006) à l'exception que la cible à détecter était la lettre K précédée d'un A. Les résultats de leur étude montrent que le groupe d'enfants TDAH commettait plus d'erreurs d'omissions et leur temps de réponse était plus variable que dans le groupe d'enfant non-TDAH. De plus, on enregistrait plus de mouvements de tête que dans le groupe contrôle. Par contre, les temps de réaction et le nombre de commissions n'étaient pas significativement différents ce qui diverge des résultats de Rizzo et al., (2006). Il faut toutefois préciser que la durée de la tâche était plus longue dans celle de Rizzo et al. (2006). Les performances de la *Classe virtuelle* étaient reliés à celles d'autres tâches neuropsychologiques traditionnelles comme le *Stroop*, le *d2* (Brickenkamp & Zillmer, 1998) et le *CPT-II*. On observait également un lien entre certaines mesures (ex. nombre d'omissions, les mouvements de tête) et les réponses des parents à différents questionnaires évaluant les comportements dans la vie de tous les jours.

Lors d'une subséquente expérimentation avec la *Classe virtuelle*, Parsons et al., (2007) ont ajouté une nouvelle condition à la procédure utilisée par Rizzo et al. (2006). En plus d'avoir à effectuer le CPT avec et sans distracteurs dans la *Classe virtuelle*, les participants devaient exécuter une tâche d'attention divisée bimodale avec la présence des distracteurs. Des dessins d'objets usuels tirés du *Boston Naming Test* (Kaplan, Goodglass, & Weintraub, 1983) apparaissaient au tableau et, simultanément,

l'enseignante nommait correctement ou incorrectement le nom de cet objet. Les participants devaient appuyer sur la souris seulement lorsque le nom de l'objet mentionné par l'enseignante était incorrect. Selon les chercheurs, cette nouvelle tâche est plus écologique que les deux autres puisqu'en classe, les modalités visuelle et auditive sont souvent sollicitées en même temps. Comme pour Rizzo et al., (2006), les enfants présentant un TDAH commettaient plus d'erreurs d'omission et de commission à la tâche du CPT en plus de bouger davantage que les enfants non TDAH. Dans la nouvelle condition, soit celle d'attention divisée bimodale, les enfants TDAH faisaient plus d'erreurs de commission et de mouvements moteurs, mais les temps de réponse et les erreurs d'omission ne différaient pas de ceux du groupe d'enfants non TDAH. Par ailleurs, les résultats obtenus correspondaient à ceux de tests traditionnels, mais également aux observations des parents et des enseignants selon leurs réponses au questionnaire *SWAN Behavior Checklist* (Swanson et al., 2006). La *Classe virtuelle* permet donc de cerner les déficits attentionnels et exécutifs chez des enfants présentant un TDAH. De plus, les performances étaient liées avec les comportements observables dans la vie de tous les jours.

Un autre groupe de chercheurs, Adams et al. (2009), ont étudié la capacité de la *Classe virtuelle* à discriminer les enfants ayant un TDAH de ceux qui n'en ont pas en comparant ces résultats à celui d'un test d'attention traditionnel informatisé, soit le *Vigil* (Psychological Corporation, 1996). Les performances de garçons ayant un TDAH, âgés de 8 à 14 ans, ont été comparées à celles de garçons non TDAH. Les résultats montrent

une forte corrélation entre le pourcentage de réponses correctes à la *Classe virtuelle* et au *Vigil*. Toutefois, le *Vigil* ne parvenait pas à différencier les deux groupes au niveau du pourcentage de bonnes réponses et le nombre total de commissions, alors que dans la *Classe virtuelle*, les performances des garçons TDAH étaient moins bonnes sur ces deux mesures. De plus, dans le groupe TDAH, une corrélation significative existait entre le pourcentage de réponses correctes et l'échelle de problèmes attentionnels du questionnaire auto-rapporté complété par les parents, le *Behavior Assessment System for Children* (BASC; Reynolds & Kamphaus, 1998). La tâche en *Classe virtuelle* était meilleure que celle traditionnelle pour identifier correctement les contrôles (garçons n'ayant pas de TDAH) avec une exactitude de 87,5 %, comparativement au *Vigil* avec une exactitude de 68,8 %. Toutefois, les deux tâches permettent de classer correctement seulement 50 % des garçons avec un TDAH. Ce résultat laisse supposer que la *Classe virtuelle* pourrait améliorer la spécificité, mais pas la sensibilité de l'instrument. En ce sens, le test permettrait d'identifier correctement les enfants non TDAH, alors qu'il aurait plus de mal à détecter les enfants qui présentent un TDAH. Certaines limites étaient toutefois soulevées par les auteurs de l'étude. La moitié des participants du groupe expérimental avait pris une médication avant de se présenter à l'expérimentation. Même si aucune différence significative n'était relevée entre les enfants ayant pris leur médication et ceux n'en ayant pas, il est possible que les différences entre le groupe contrôle et celui expérimental aient été plus grandes. Par ailleurs, le groupe d'enfants TDAH comprenait plusieurs sous-types de ce trouble. Il

serait alors pertinent d'examiner les performances d'enfants selon le sous-type de TDAH, soit avec ou sans hyperactivité.

Pollak et al., (2010) ont utilisé la *Classe virtuelle* pour démontrer l'effet de la médication sur les capacités attentionnelles d'adolescents ayant un TDAH. Ils ont comparé l'efficacité de la RV à des méthodes d'évaluation plus courantes, le CPT et le *Test of Variables of Attention* (TOVA) sur un écran d'ordinateur. Vingt-sept enfants âgés de 11 à 17 ans, tous ayant reçu le diagnostic de TDAH par un neurologue, ont participé à cette étude. Il s'agit d'une expérimentation à double aveugle où les participants recevaient au hasard un placebo ou 0,3 mg/kg de Méthylphénidate. Les résultats indiquent que les trois outils (RV, CPT et TOVA) seraient sensibles à l'effet de la médication en ce qui concerne la variabilité des temps de réaction et la proportion d'erreurs d'omission. Par contre, parmi les trois tâches, c'est celle en RV qui demeurerait la plus sensible aux erreurs d'omission. Par ailleurs, les adolescents ont perçu la tâche en RV comme étant plus amusante que les deux autres.

*Auprès d'enfants présentant une neurofibromatose.* Dans les études, la *Classe virtuelle* a été majoritairement utilisée auprès des enfants présentant un TDAH. Une étude réalisée par Gilboa et al. (2011) s'est cependant intéressée aux enfants présentant une neurofibromatose de type 1 (NF1), en comparant leurs processus attentionnels à ceux d'enfants normaux couplés selon l'âge et le sexe. Les participants ont été soumis à une tâche similaire à celle effectuée dans les études précédentes, mais les lettres ont été

remplacées par des chiffres. Les performances des enfants ayant un NF1 étaient plus faibles que celles des enfants contrôles. Ils commettaient plus d'erreurs d'omission et de commission, alors qu'aucune différence significative n'était notée sur les temps de réaction et sur les mouvements de la tête. De façon similaire à Adams et al. (2009), une relation existait entre le nombre de bonnes réponses et les observations des parents aux questionnaires, plus précisément à l'échelle de problèmes cognitifs/d'inattention du *Conners*. Les auteurs concluent que la *Classe virtuelle* apparaît comme étant un instrument sensible, doté d'une bonne validité écologique pour l'identification des déficits attentionnels chez les enfants présentant un NF1.

*Auprès d'enfants et d'adolescents ayant subi un traumatisme cranio-cérébral.* Un groupe de chercheurs de l'UQTR (Martin & Nolin, 2009; Nolin et al., 2012) s'est intéressé à l'utilisation de la *Classe virtuelle* pour évaluer les processus attentionnels et inhibiteurs d'enfants et d'adolescents ayant subi un traumatisme cranio-cérébral (TCC). Dans la première étude (Martin & Nolin, 2009), les enfants ayant subi un TCC faisaient davantage d'erreurs d'impulsivité et bougeaient plus la tête que les enfants témoins dans la tâche du CPT en RV laissant suggérer plus de distractibilité dans le groupe TCC et une moins grande capacité d'inhibition. Par contre, le CPT traditionnel ne permettait pas de mettre en lumière des différences entre les deux groupes quant aux erreurs d'omissions, de commissions et des temps des réponses. Dans la seconde étude (Nolin et al., 2012) auprès d'adolescents ayant subi une commotion cérébrale en pratiquant une activité sportive, on observait des résultats très similaires. Comparativement aux sujets

sains, les adolescents ayant subi une commotion cérébrale commettaient plus d'erreurs de commissions et bougeaient plus la tête laissant ainsi suggérer un certain manque d'inhibition. La condition en RV semblait plus sensible aux déficits causés par les commotions cérébrales puisque ce n'est que dans cette condition qu'on pouvait observer des différences de performances entre les deux groupes.

En somme, la *Classe virtuelle* semble posséder une bonne validité écologique au niveau de la versimilitude). La nature de la tâche à effectuer s'apparente à la réalité des enfants ou des adolescents puisqu'en classe ils doivent demeurer attentifs à ce que l'enseignant écrit au tableau tout en inhibant les stimuli externes. En effet, dans une classe, il y a plusieurs distractions visuelles (les fenêtres, les autres élèves qui bougent) ou sonores (personnes qui marchent, bavardent). L'élève doit donc être capable de résister aux distractions, mais aussi de maintenir son attention dans le temps et ces deux aspects sont présents dans la *Classe virtuelle*. De plus, les résultats obtenus dans la tâche virtuelle sont en lien avec les observations des parents ou de l'enseignant.

*Auprès de sujets sains.* Les concepteurs de la *Classe virtuelle* (Rizzo et al., 2006) décrite ci-haut y ont intégré la tâche du *Stroop* (Trenerry, Crosson, DeBoe, & Leber, 1989). Des étudiants de psychologie ont pris part à l'étude et les résultats indiquent que l'effet *Stroop* peut être reproduit de façon virtuelle. Dans cette tâche, les participants devaient appuyer sur la souris lorsque la couleur dite par l'enseignante correspondait à la couleur présentée au tableau. Dans la première condition, des carrés de couleurs

apparaissaient sur le tableau, alors que dans la deuxième condition, des mots de couleurs étaient écrits de différentes couleurs. Par exemple, le mot « ROUGE » était écrit avec la craie rouge. Dans cette condition où il y a concordance entre le mot écrit et la couleur de la craie le participant devait appuyer sur la souris. Par contre, lorsqu'il y avait une divergence entre le mot et la couleur, le participant ne devait pas appuyer, par exemple si le mot ROUGE était écrit avec une craie bleue. Les temps de réaction étaient plus lents dans la condition de discordance que dans celle de concordance suggérant que l'effet *Stroop* peut se faire également dans un environnement tridimensionnel.

**Autres mesures des FE en RV.** La RV a également été utilisée auprès de personnes présentant un trouble psychiatrique ou neurologique, mais aussi auprès de sujets sains afin d'évaluer leurs fonctions exécutives (FE). Certains chercheurs ont créé de nouvelles tâches dans un environnement virtuel, alors que d'autres ont modifié des tâches plus traditionnelles pour l'adapter en RV.

Klinger, Chemin, Lebreton et Marié (2006) ont conçu une tâche de planification dans un environnement virtuel représentant un supermarché (traduction libre de *Virtual Action Planning-Supermarket :VAP-S*). La tâche consiste à trouver dans le supermarché certains articles, puis à passer à la caisse pour les payer et finalement, sortir du supermarché. Dans cette étude, les participants atteints de Parkinson ont pris plus de temps pour effectuer l'épreuve que les sujets sains et se déplaçaient sur une plus longue distance. Ces différences étaient attribuables à leurs hésitations, à des pauses fréquentes

et à des pertes d'objectif. Les auteurs pensent donc que c'est un déficit au niveau de la planification qui a contribué aux moins bonnes performances des participants atteints de Parkinson.

Des résultats similaires ont été obtenus auprès de participants atteints d'un trouble cognitif léger (Werner, Rabinowitz, Klinger, Korczyn, & Josman, 2009) avec le même instrument, soit le VAP-S. Comme dans le groupe de Parkinsoniens, ils ont pris plus de temps pour compléter la tâche, ont parcouru une plus grande distance, ont commis plus d'actions non-pertinentes et prenaient plus de pauses pendant l'exécution de la tâche comparativement aux sujets sains. Selon les auteurs de cette étude, la VAP-S pourrait être sensible pour identifier des déficits exécutifs chez des personnes atteintes de trouble cognitif léger.

Ce même environnement virtuel, le VAP-S, a également été utilisé par Josman, Schenirderman, Klinger et Shevil (2009), mais cette fois-ci, auprès de patients schizophrènes. Cette tâche a permis de discriminer efficacement les personnes schizophrènes de celles qui ne l'étaient pas. De plus, les performances obtenues permettaient de différencier les personnes qui possédaient un faible déficit au niveau des fonctions exécutives de celles présentant un déficit plus important.

Brooks, Rose, Potter, Jayawardena et Morling (2004) ont construit une tâche en RV pour évaluer la mémoire prospective qui consistait à organiser un déménagement en

suivant des instructions bien précises. Ils ont voulu comparer les performances de personnes victimes d'un accident vasculaire cérébral (AVC) à un groupe de sujets sains. Tel qu'attendu, les participants victimes d'un AVC réussissaient moins bien la tâche en RV que les sujets sains. En plus, la tâche en RV était plus sensible pour détecter les problèmes de mémoire prospective que celle provenant de la batterie d'évaluation pour la mémoire, la *Rivermead Behavioural Memory Test* (RBMT; Wilson, Cockburn, & Baddeley, 1985).

La tâche en RV élaborée par Brooks et al. (2004) a été reprise auprès de femmes présentant un syndrome de fatigue chronique (Attree, Dancey, & Pope, 2009). Bien que les participantes du groupe clinique rapportaient plus de problèmes dans la vie quotidienne sur le plan de la mémoire prospective, elles ne se distinguaient pas du groupe contrôle dans la tâche en RV, mais aussi dans la tâche de la RBMT.

Sweeney, Kersel, Morris, Manly et Evans (2010) ont également utilisé la tâche en RV de Brooks et al. (2004) mais cette fois-ci auprès de personnes cérébro-lésées. Comme pour Brooks et al. (2004), les participants cérébro-lésés réussissaient moins bien la tâche en RV que les sujets sains laissant ainsi supposer des difficultés au niveau de la planification et de la mémoire prospective.

Une tâche de planification en RV a été créée par Zalla, Plassiart, Pillon, Grafman et Sirigu (2001). Des patients ayant subi une lésion cérébrale au niveau de cortex préfrontal

devaient dans un premier temps, élaborer verbalement la liste des actions lors d'une routine matinale puis, dans un deuxième temps, effectuer ces actions dans l'environnement virtuel qui représentait un appartement. Des erreurs de planification étaient notées dans le groupe de patients cérébro-lésés durant la tâche en RV.

Certains auteurs ont modifié des tâches neuropsychologiques dites traditionnelles pour les rendre plus écologiques. Notamment, Elkind, Rubin, Rosenthal, Skoff et Prather (2001) ont mis au point une tâche s'appuyant sur un principe similaire au *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), mais qui s'applique à un contexte plus familier : *Looking for a Match* (LFAM). L'environnement virtuel recrée une plage et le participant doit aller porter des frisbees, des boissons, des popsicles ou des ballons de plage à des baigneurs qui sont sous un parasol représentant ces mêmes objets. Ainsi, un article est dessiné sur chaque parasol qui diffère selon l'objet, la couleur et le nombre. Le participant sélectionne le parasol où il pense que l'article doit aller et le baigneur lui répond : « C'est ça! » ou « Ce n'est pas ce que je veux ». Les performances de sujets sains ont été comparées entre les deux tâches (WCST version informatisée et le LFAM) et les performances concordaient entre elles, suggérant que ces deux tâches sollicitent les mêmes FE. Par ailleurs, la majorité des participants, soit 60 % de l'échantillon de sujets sains, affirmaient que la tâche en réalité virtuelle (LFAM) était plus difficile que le WCST, mais pourtant plus agréable à effectuer.

Certaines équipes de chercheurs se sont inspirées de la tâche des errances multiples de Shallice et Burgess (1991) afin d'en créer une nouvelle à l'aide de la RV (McGeorge et al., 2001). Cinq participants cérébro-lésés présentant des difficultés de planification selon le personnel médical ont pris part à l'étude. En se basant sur la tâche des errances multiples de Shallice et Burgess (1991), ils ont créé une tâche similaire dans un environnement réel et dans un environnement virtuel. Les performances des participants cérébro-lésés étaient moins bonnes que celles des sujets sains dans la tâche d'errances multiples dans un environnement réel, mais aussi virtuel. Par contre, à la BADS, les participants cérébro-lésés ne montraient pas de problèmes exécutifs selon les normes. La RV pourrait donc détecter des difficultés de planification qui ne sont pas relevées dans des tests d'évaluation standardisés comme la BADS.

Dans l'étude de Rand, Katz et Weiss (2007), 14 participants qui ont subi un AVC ont utilisé un environnement virtuel, le *VMall*, où il devait effectuer une tâche semblable à celle des errances multiples de Shallice et Burgess (1991) dans un supermarché virtuel. Comparativement aux sujets sains, les patients atteints d'un AVC prenaient plus de temps pour compléter la tâche en raison, possiblement, de leurs troubles moteurs et/ou déficits exécutifs. Les auteurs suggèrent donc que le *VMall* est un outil d'évaluation sensible auprès de cette population puisqu'il permet de distinguer le groupe de personnes lésées à celui des sujets sains.

Dans une seconde étude, Rand, Rukan, Weiss et Katz (2009) ont voulu établir la validité écologique et la validité de construit du *VMall*. Pour ce faire, ils ont comparé les performances de trois groupes de personnes; des participants qui ont subi un AVC, des participants jeunes et en santé puis des participants plus âgés, mais en santé. Le *VMall* pouvait discriminer chacun des groupes entre eux. Le groupe ayant commis le plus d'erreurs est celui des participants ayant subi un AVC, suivi du groupe de participants en santé plus âgés et enfin, celui du groupe de participants plus jeunes. Par ailleurs, on retrouvait des performances comparables entre le *VMall* et la tâche des errances multiples de Shallice et Burgess (1991) chez les patients qui ont subi un AVC et le groupe de participants sains plus âgés. Selon les auteurs, ce résultat laisse supposer que le *VMall* serait un outil d'évaluation des FE détenant une bonne validité écologique. Raspelli et al. (2010) soutiennent également la pertinence de la *VMall* pour l'évaluation des FE auprès des patients présentant des troubles cognitifs suite à un AVC.

En somme, les demandes cognitives exigées à l'intérieur des tâches en réalité virtuelle semblent plus complexes que les tâches de type papier-crayon et de fait, elles ressemblent plus à celles de la vie quotidienne. Même les tâches ayant été conçues dans un but de validité écologique comme la *BADS* ou la *RBMT* peuvent être insuffisamment sensibles pour détecter des déficits légers chez certaines populations cliniques, alors que celles en RV semblent plus sensibles. Pour ces raisons, la RV semble être un outil tout à fait pertinent dans le cadre d'une évaluation neuropsychologique. Les personnes présentant un TED pourraient elles aussi profiter de cette innovation.

### **L'utilisation de la RV auprès des TED**

Depuis plusieurs années, la technologie informatique est fréquemment utilisée auprès des personnes présentant un TED, que l'on pense à des soutiens à la vie quotidienne ou à des modalités d'entraînement visant des apprentissages spécifiques. Au fil du temps, les systèmes informatiques se sont perfectionnés et l'environnement bidimensionnel projeté par les ordinateurs peut maintenant reproduire avec plus de réalisme des scènes visuelles de tout genre en trois dimensions.

La RV s'avérerait particulièrement efficace comme outil d'intervention avec les enfants ayant un TED (Herrara et al., 2008; Parsons & Mitchell, 2002). Cette technologie offre des possibilités qui sont particulièrement avantageuses pour ce type de population. Son avantage principal résiderait dans le fait que la RV permet de créer un environnement sécuritaire et non menaçant (Kandalaft, Didehbani, Krawczyk, Allen, & Chapman, 2012, Parsons & Mitchell, 2002). Le monde extérieur peut parfois être déconcertant pour une personne autiste parce qu'elle a de la difficulté à en saisir toute la complexité. Puisque la RV laisse place à un environnement non réel et contrôlé, la personne autiste peut donc exercer certaines habiletés sans avoir peur des conséquences éventuelles qui pourraient se produire dans un contexte de vie réel (Parsons, Mitchell, & Leonard, 2004). Des hypersensibilités sensorielles sont répertoriées chez cette population. Ainsi, la personne autiste peut se sentir envahie par les nombreux stimuli de l'environnement extérieur, alors que la RV parvient à en ajuster la quantité (Strickland, Mesibov, & Hogan, 1996). D'ailleurs, l'environnement virtuel peut facilement être

adapté à chaque individu en fonction de ses besoins particuliers. On peut ainsi créer des programmes d'intervention individualisés pour chaque enfant ou groupes d'enfants (Wang & Reid, 2011). Sachant que les personnes ayant un TED ont des particularités différentes, par exemple certaines peuvent parler alors que d'autres, non, la RV permet de créer un environnement personnalisé en fonction des forces et des faiblesses de l'individu ainsi qu'à partir de ses intérêts pour renforcer la qualité de sa participation au programme d'intervention (Wang & Reid, 2011).

En plus, avec la RV, il est possible d'augmenter graduellement le niveau de difficulté et de modifier les contextes pour permettre une meilleure généralisation des apprentissages (Parsons & Mitchell, 2002). Les personnes ayant un TED ont des difficultés au niveau des représentations mentales et de la créativité (Herrera et al., 2008). Ainsi, pour elles, il est difficile de faire semblant ou d'imaginer une scène. La RV permet donc de pallier cette difficulté en créant pour elles une scène fictive représentant la réalité. Latash (1998) et Howlin (1998) mettent toutefois en garde les utilisateurs de ce type de programme d'intervention en raison de son caractère artificiel. Selon eux, la RV peut devenir trop sécuritaire et trop attrayante pour l'individu. Celui-ci peut devenir dépendant de ce nouveau monde parce qu'il est plus accessible et pourrait en venir à fuir les interactions avec le monde réel. Pour le moment, la RV n'est utilisée qu'en milieu clinique sous surveillance, alors les risques d'abus et de dépendance seraient bien contrôlés (Parsons & Mitchell, 2002). De plus, il est suggéré de jumeler les interventions en RV avec des méthodes plus « classiques », comme des scénarios sociaux ou des jeux

de rôles (Mitchell, Parsons, & Leonard, 2007). Quoi qu'il en soit, les bénéfices potentiels de la RV auprès des enfants ayant un TED semblent beaucoup plus importants que les dangers potentiels.

Sur le plan de l'intervention, la RV semble être une modalité efficace auprès des personnes TED puisqu'elles y démontrent de l'intérêt et y répondent bien. La première étude recensée examinant l'utilisation de la RV avec cette population avait pour objectif de déterminer si deux enfants autistes avec peu de capacités verbales pouvaient tolérer un environnement virtuel de type immersif et y répondre (Strickland et al., 1996). L'environnement projeté dans le visiocasque représentait une rue avec des voitures et une signalisation routière pour enseigner aux enfants comment traverser la route de façon sécuritaire. L'un des enfants a été capable de marcher vers le panneau d'arrêt et de s'arrêter devant, alors que l'autre enfant pouvait le localiser, mais ne se déplaçait pas jusqu'à lui. Ce dernier ne semblait pas bien saisir que ces mouvements étaient reproduits dans l'environnement virtuel. D'ailleurs, il essayait d'enlever le visiocasque pour regarder l'image sur l'écran. Malgré tout, les deux enfants étaient capables de se promener dans l'environnement virtuel et de nommer certaines caractéristiques de celui-ci, comme la couleur des voitures. Puisqu'il n'y avait pas de mesures prétests, les auteurs n'ont pas pu vérifier au fil des rencontres l'amélioration des comportements devant l'environnement virtuel. Toutefois, ces résultats préliminaires suggèrent que les enfants autistes seraient intéressés par cette nouvelle technologie. Il semble d'ailleurs que dans cette étude, les enfants aient été capables de supporter la visiocasque, même si

plusieurs enfants présentant un TED, en raison de leurs particularités sensorielles, pourraient éprouver de la difficulté à la supporter, n'appréciant pas avoir la vision perturbée ou un poids supplémentaire sur la tête (Mineo, Ziegler, Gill, & Salkin, 2009). Pour cette raison, peu d'études ont utilisé le visiocasque comme interface. Son port est toutefois avantageux puisqu'il protège des distracteurs visuels environnementaux et permet ainsi une meilleure mobilisation de l'attention, bien que les environnements virtuels soient conçus de manière à capter l'attention des utilisateurs (Strickland, McAllister, Coles, & Osborne, 2007).

En effet, la RV est un outil technologique qui capte l'intérêt des personnes ayant un TED. Mineo et al. (2009) ont observé les comportements des enfants autistes selon le média qui leur était présenté. Les types de médias étaient les suivants : un vidéo d'eux exécutant une routine familière, un enregistrement vidéo d'une autre personne utilisant la RV de type immersif et un enregistrement vidéo d'eux-mêmes interagissant avec la RV par l'immersion. Les résultats de cette étude montrent que les enfants réagissaient davantage (par plus de vocalisations) lorsqu'ils interagissaient avec la RV ou regardaient la vidéo d'une autre personne utilisant un environnement virtuel.

### **La RV comme moyen d'intervention**

La majorité des études ont utilisé la RV comme moyen d'intervention auprès des personnes présentant un TED, notamment sur le plan des habiletés sociales. Toutefois, certaines de ces études n'évaluaient pas spécifiquement l'effet de la RV au niveau des

habiletés sociales, mais plutôt la façon dont les personnes TED naviguaient à l'intérieur de l'environnement virtuel. C'est le cas de l'étude de Parsons et al. (2004), qui ont construit un café virtuel dans lequel douze participants présentant un TED devaient compléter certaines tâches de nature sociale, comme trouver une place pour s'asseoir, commander et payer de la nourriture. Les participants étaient capables d'utiliser un environnement virtuel et leurs performances s'amélioraient avec la pratique. Précisément, le temps de navigation dans un environnement virtuel s'améliorait d'essai en essai, et ce, peu importe le niveau de fonctionnement exécutif des participants. Par contre, ceux ayant de meilleures capacités de planification sont ceux qui ont pris le moins de temps à réaliser toutes les tâches dans le café virtuel.

Mitchell et al. (2007) ont également utilisé ce même café virtuel afin d'enseigner des conventions sociales à six participants autistes âgés de 14 à 16 ans. Après deux sessions d'entraînement dans l'environnement virtuel, les participants devaient regarder des vidéos qui simulent l'environnement d'un café et d'un autobus, puis choisir un siège et expliquer leur choix. Les résultats montrent que, pour quatre participants, le niveau d'acceptation sociale d'une action, soit choisir un siège approprié pour s'asseoir, augmentait après avoir expérimenté l'environnement virtuel. Cependant, tous les participants voyaient leur niveau de raisonnement social sous-tendant l'action s'améliorer. Selon ces auteurs, la RV serait l'outil idéal pour enseigner les habiletés sociales. Les résultats de cette étude semblent prometteurs au niveau de l'amélioration des habiletés sociales, mais elle comporte certaines limites. En effet, les mesures

d'acceptation et de raisonnement sociaux s'appuyaient sur le jugement de 10 évaluateurs et demeuraient donc subjectives. De plus, l'accord interjuge n'est pas mentionné dans l'article.

Une autre équipe de chercheurs s'est intéressée à l'utilisation de la RV comme moyen d'intervention visant à améliorer les compétences sociales. Schmidt, Laffey, Schmidt, Wang et Stichter (2012) ont construit un environnement virtuel tridimensionnel d'apprentissage (traduction libre de « three-dimensional virtual learning environment ») permettant aux utilisateurs d'interagir entre eux en temps réel. Le programme *iSocial* avait pour but d'aider les jeunes présentant un TED à développer de meilleures habiletés sociales. Différents environnements virtuels ont été créés (château, bateau de pirates, restaurant) dans lesquels les enfants communiquaient entre eux par le biais d'un avatar. L'étude pilote comprenait quatre participants, âgés de 11 à 14 ans. L'objectif de l'étude n'était pas de mesurer l'effet thérapeutique du programme, mais plutôt de décrire les comportements des utilisateurs dans *iSocial*. Ce programme n'a pas été conçu dans le but d'apprendre aux utilisateurs à développer de meilleures compétences sociales, mais servait plutôt de contexte social favorisant les interactions entre adolescents TED. Le programme permettait d'analyser de façon détaillée les comportements des utilisateurs et la façon dont ils interagissaient entre eux. Par exemple, les résultats montrent que les participants utilisaient la verbalisation comme principal mode d'interaction. Cet outil s'avère intéressant puisqu'il permettait de mesurer objectivement et finement une multitude de comportements à valeur sociale.

Dans l'étude précédente, aucune rétroaction n'était donnée aux participants quant à leur fonctionnement social dans l'environnement virtuel. L'implication d'un clinicien qui fournit des rétroactions sur les échanges semblerait toutefois nécessaire pour favoriser les habiletés sociales. Kandalaf et al. (2012) ont fait une expérimentation avec huit jeunes adultes (âgés de 18 à 26 ans) présentant un TED dans laquelle des situations sociales en RV engendraient une interaction entre le participant et un clinicien spécialisé avec les TED par le biais d'avatars. Les scénarios proposés incluaient des contextes variés, comme rencontrer de nouvelles personnes, avoir un conflit avec un colocataire, prendre une décision financière ou sociale, et avoir une entrevue pour un emploi. Le clinicien rencontrait le participant en personne après la simulation afin d'échanger sur leurs impressions. Le coach offrait également des rétroactions sur les comportements du participant, puis une reprise du scénario était effectuée pour donner l'occasion au participant d'intégrer les commentaires reçus. Après les dix sessions, les participants étaient meilleurs pour reconnaître des émotions sur des visages ou à partir des tons de voix, et ils s'amélioraient sur le plan de la théorie de l'esprit. De plus, ils avouaient avoir de meilleures compétences sociales dans leur vie quotidienne : ils étaient plus capables de maintenir une conversation, de comprendre le point de vue de l'autre et de créer des relations avec autrui. Il semble alors que la RV est plus efficace lorsqu'elle est combinée à des rétroactions par un spécialiste pour favoriser les habiletés sociales.

Cheng, Chiang, Ye et Cheng (2010) ont utilisé un environnement virtuel afin d'améliorer un aspect spécifique des compétences sociales, soit l'empathie chez des enfants présentant un TED. L'environnement virtuel exposait un restaurant où quatre situations sociales se déroulaient et contribuaient à générer de l'empathie chez les participants. Trois garçons âgés de huit à dix ans ayant un rendement intellectuel dans la moyenne ou supérieur à la moyenne ont participé à six séances de 40 minutes chacune. Chaque participant devait choisir un avatar le représentant qui lui permettait de naviguer dans l'environnement virtuel. Ensuite, il devait se déplacer à l'intérieur du restaurant où se produisait un événement (ex. : une boisson se renverse sur le plancher) de façon à engendrer de l'empathie chez lui. Un professeur virtuel posait des questions au participant en lien avec la situation sociale afin d'accroître son sentiment d'empathie. Les résultats obtenus montrent qu'à la suite des interventions en RV, leur niveau d'empathie a augmenté lorsqu'ils devaient résoudre des problèmes similaires à ceux exposés en RV et que les apprentissages se maintenaient dans le temps. De plus, les apprentissages tendaient à se généraliser puisque les participants possédaient plus d'empathie dans leur vie quotidienne à la suite des interventions en RV. Celle-ci semble donc être un moyen d'intervention efficace dans l'amélioration des habiletés sociales pour les jeunes présentant un TED lorsque le soutien d'un professionnel leur est fourni.

La RV serait également un instrument intéressant pour enseigner des comportements sécuritaires aux enfants présentant un TED. Notamment, Strickland et al. (2007) ont utilisé un jeu virtuel afin d'enseigner des conduites sécuritaires en cas

d'incendie à des enfants TED de 3 à 6 ans. L'environnement virtuel présentait un personnage animé, *Buddy*, qui exécutait les différents gestes à poser lors d'un incendie. Après l'avoir observé, l'enfant devait réaliser la même procédure sous les encouragements de Buddy. Pour se déplacer dans la maison, les enfants utilisaient les flèches d'un clavier d'ordinateur. Les résultats montrent que la majorité des participants, 11 parmi les 14, ont obtenu des performances parfaites à la fin des sessions d'entraînement. Il semble également que plus de la moitié des participants ont généralisé leurs apprentissages dans un contexte de vie réel.

Une autre équipe de chercheurs (Self, Scudder, Wehaba, & Crumrine, 2007), se sont également intéressés à l'utilisation de la RV afin d'enseigner des habiletés sécuritaires en cas d'incendie ou de tornade avec un groupe d'enfants autistes plus âgés. En effet, huit enfants autistes âgés de 6 à 12 ans, utilisant le langage comme moyen d'expression et étant capables d'utiliser de manière indépendante un ordinateur, ont participé à un programme d'entraînement. Une méthode d'enseignement traditionnelle a été offerte à la moitié des participants, comprenant entre autres des scénarios sociaux, des cartes imagées, des vidéos et des jeux de rôles; l'autre moitié a participé à un programme d'entraînement en RV. À la suite des sessions d'enseignement, les deux groupes d'enfants étaient capables de répondre de manière efficace à l'alerte d'un incendie ou d'une tornade dans un contexte scolaire réel. Par contre, certains enfants pouvaient agir de manière complètement indépendante, alors que d'autres avaient besoin de sollicitations spécifiques (ex. : « montre-moi »). La différence majeure entre les deux

méthodes d'enseignement résidait dans la durée des sessions d'entraînement, celle-ci étant beaucoup plus courte en RV. Bref, que ce soit par un enseignement de type « traditionnel » ou par la RV, les enfants ont développé de meilleures stratégies, mais la RV permet d'enseigner plus rapidement les comportements sécuritaires à adopter.

Afin d'enseigner à des enfants et des adolescents présentant un TED à traverser la rue de manière sécuritaire, Josman, Ben-Chaim, Friedrich et Weiss (2008) ont employé un environnement virtuel. L'environnement présenté aux six participants autistes représentait une rue avec des voitures qui y circulent et le participant devait traverser la rue sans avoir d'accident. Le degré de difficulté augmentait à mesure que le participant progressait à travers les neuf stades. À la fin des séances d'entraînement, tous les participants se sont améliorés pour traverser la rue dans l'environnement virtuel de manière sécuritaire puisqu'ils regardaient plus souvent à droite et à gauche avant de traverser la rue et avaient moins d'accidents en traversant aux feux de circulation. La moitié de ceux-ci avaient également généralisé leurs apprentissages en adoptant des conduites sécuritaires pour traverser la rue dans une situation de vie réelle. La RV semble encore une fois dans ce contexte être un moyen efficace pour apprendre à des enfants autistes à utiliser des règles sécuritaires et à les appliquer dans leur vie quotidienne.

Herrera et al. (2008) se sont également servis de la RV comme outil éducatif. Ils ont créé un programme nommé : « *Je vais faire comme si* » (traduction livre de « *I am going*

*to act as if*») afin d'accroître l'utilisation du jeu symbolique chez des personnes présentant un TED. Deux participants chez qui les méthodes d'enseignement traditionnelles pour encourager le jeu et l'imagination n'avaient pas fonctionné ont pris part à l'étude. L'entraînement en RV se déroulait en quatre étapes distinctes. Lors de la première, les participants achetaient différents articles dans un magasin à grande surface, qui était l'environnement virtuel, en se référant à une liste. Puis, on montrait aux participants l'utilisation fonctionnelle de l'objet acheté. Ensuite, les sujets regardaient un vidéo présentant un enfant jouant avec une version miniature de l'objet (montré à l'étape 2). Par exemple, un enfant habillant une poupée avec des pantalons (ceux ayant été achetés à l'étape 1). Pour finir, ils visionnaient le même objet des phases précédentes se transformer en un autre. Les pantalons de poupée pouvaient alors devenir une route. Après 28 sessions, les deux participants ont développé de meilleures habiletés de jeu symbolique telles que mesurées par le *Structured Test of Pretend Play* (ToPP; Lewis & Boucher, 1997). Par ailleurs, un des deux participants pouvait utiliser des objets de substitution dans la vie courante après les sessions d'entraînement. Les auteurs expliquent l'absence de généralisation au quotidien pour l'autre participant par son niveau de langage peu développé et son manque de contact social avec son environnement.

À la lumière de ces résultats, la RV semble un outil pédagogique efficace auprès des enfants présentant un TED. Cependant, certains enfants semblent profiter davantage de cette technologie puisque pour la plupart des études décrites ci-dessus, environ la moitié

de l'échantillon était capable d'appliquer ses apprentissages dans un contexte de vie réelle. Les études subséquentes devraient tenter d'identifier les caractéristiques de ces enfants puisque le but ultime de la RV comme outil éducatif vise justement la reproduction des comportements dans la vie courante. Quoi qu'il en soit, il est intéressant d'observer que, pour certaines personnes TED, la RV semble être un moyen plus efficace que les méthodes d'enseignement plus traditionnelles pour leur enseigner diverses habiletés sociales et pragmatiques.

À ce jour, seulement une étude a tenté d'utiliser la RV comme instrument psychothérapeutique auprès des TED. Austin, Abbott et Carbis (2008) ont employé la RV sans présence d'avatars auprès de deux adolescents autistes dans le but de les amener dans un état hypnotique afin d'atténuer l'anxiété et les symptômes associés à l'autisme, tels que l'hyperactivité, la pauvreté du contact visuel et l'hypersensibilité auditive. Les résultats obtenus ne font ressortir aucune modification au niveau de l'anxiété et des symptômes autistiques selon les questionnaires complétés par les parents. Toutefois, les garçons et les parents ont apprécié ce nouveau traitement et ces derniers révèlent que leurs enfants semblaient tout de même plus détendus immédiatement après les sessions. Afin de justifier l'absence de résultats, les auteurs affirment qu'aucun traitement non pharmacologique de cette durée, soit quatre sessions sur une période de deux semaines, n'a démontré une efficacité. De plus, les auteurs suggèrent d'ajouter des mesures d'anxiété, telles que des observations cliniques et des mesures physiologiques, afin d'étayer les résultats.

En résumé, la RV a surtout été utilisée avec les personnes TED comme moyen d'intervention au niveau des habiletés sociales, de la pensée symbolique et des comportements sécuritaires ainsi qu'au niveau de l'intervention psychothérapeutique (voir le Tableau 2 pour un résumé des études). On ne peut conclure pour le moment à l'efficacité de cette technique d'intervention auprès des personnes ayant un TED. Par contre, il est clair que cette population s'adapte bien à cette méthode et y est intéressée. Selon Parsons, Leonard et Mitchell (2006), l'environnement virtuel permettrait d'accroître chez les personnes ayant un TED la motivation devant l'intervention et l'implication dans celle-ci. Les résultats des différentes études portent à croire que les interventions en RV sont efficaces auprès de ces personnes, mais les études sont encore trop peu nombreuses. La plupart des études se veulent exploratoires et tentent d'observer le comportement des personnes autistes dans un environnement virtuel. Par ailleurs, la taille des échantillons des études est très petite et il existait parfois de grandes variations entre les participants présentant un TED. Par exemple, certains pouvaient utiliser le langage comme moyen d'expression, alors que d'autres, non. Mis à part les études de Self et al., (2007) et d'Herrera et al., (2008), aucune autre n'a comparé l'intervention en RV à des méthodes traditionnelles. Pourtant, il aurait été intéressant de pouvoir comparer ces deux méthodes afin de mieux cerner les bénéfices de la RV en intervention. La majorité des études ont utilisé le portable comme interface sans port du visiocasque, ce qui peut engendrer une diminution du sentiment de présence (Nichols & Patel, 2002). On ne sait donc pas à quel point les participants se sont sentis absorbés par

la RV et si l'environnement reproduit correspondait à une situation de la vie courante puisque les participants n'ont pas rempli un questionnaire de sentiment de présence.

Tableau 2

*Études ayant utilisé la RV comme moyen d'intervention auprès des personnes présentant un TED*

Auteurs	But de l'utilisation de la RV	Nombre de sujets	Âge	Interface utilisée	Description des résultats
Austin et al. (2008)	Diminuer l'anxiété et les symptômes associés à l'autisme par l'hypnose	2 TED	14 et 15 ans	Immersion avec port du visiocasque	Aucune modification au niveau de l'anxiété et des symptômes autistiques
Cheng et al. (2010)	Accroître le sentiment d'empathie	3 TED	8 et 10 ans	Environnement virtuel sur un portable avec soutien d'un professeur virtuel	Niveau d'empathie ↑ Maintien des apprentissages dans le temps Généralisation à d'autres contextes
Herrera et al. (2008)	Accroître l'utilisation du jeu symbolique	2 TED	8 et 15 ans	Environnement virtuel sur un portable	Amélioration des habiletés de jeu symbolique pour les deux participants et dans la vie courante pour l'un d'entre eux

Tableau 2

*Études ayant utilisé la RV comme moyen d'intervention auprès des personnes présentant un TED (suite)*

Auteurs	But de l'utilisation de la RV	Nombre de sujets	Âge	Interface utilisée	Description des résultats
Josman et al. (2008)	Enseigner des comportements sécuritaires	6 TED	8 et 16 ans	Environnement virtuel sur un portable	Amélioration des comportements sécuritaires dans l'environnement virtuel et dans une situation de vie réelle
Kandalaf et al. (2012)	Améliorer les habiletés sociales, la cognition sociale et le fonctionnement social	8 TED	18 et 26 ans	Environnement virtuel sur un portable avec rétroactions par un spécialiste sur les TED	Amélioration au niveau de la reconnaissance des émotions, de la théorie de l'esprit et des compétences sociales
Mineo et al. (2009)	Dégager le type de média qui provoque le plus d'intérêt	42 TED	6 à 18 ans	Visionnement d'une vidéo et immersion par une scène projetée sur les murs	Intérêt pour la RV ↑ Vidéo
Mitchell et al. (2007)	Enseigner des conventions sociales	6 TED	14 et 16 ans	Environnement virtuel sur un portable	Amélioration du jugement social

Tableau 2

*Études ayant utilisé la RV comme moyen d'intervention auprès des personnes présentant un TED (suite)*

Auteurs	But de l'utilisation de la RV	Nombre de sujets	Âge	Interface utilisée	Description des résultats
Parsons et al. (2004)	Investiguer sur les capacités de navigation	12 TED 12 neurotypiques appariés selon le QIV 12 neurotypiques appariés selon le QINV	13 et 18 ans	Environnement virtuel sur un portable	Capacité à utiliser efficacement la RV ↑ des performances avec la pratique
Schmidt et al. (2012)	Décrire les comportements sociaux adoptés dans un environnement virtuel interactif (iSocial)	4 TED	11 et 14 ans	Environnement virtuel sur un portable	La verbalisation est le principal mode d'interaction utilisé
Self et al. (2007)	Enseigner des comportements sécuritaires avec la RV et avec une méthode traditionnelle	8 TED	6 et 12 ans	Environnement virtuel sur un portable	RV=méthode traditionnelle, mais l'enseignement est plus rapide en RV

Tableau 2

*Études ayant utilisé la RV comme moyen d'intervention auprès des personnes présentant un TED (suite)*

Auteurs	But de l'utilisation de la RV	Nombre de sujets	Âge	Interface utilisée	Description des résultats
Strickland et al. (2007)	Enseigner des comportements sécuritaires	14 TED	3 et 6 ans	Environnement virtuel sur un portable	11 participants ont obtenu des performances parfaites à la fin des sessions d'entraînement; 7 participants ont reproduit leurs apprentissages dans un contexte de vie réelle

Note. TED= Trouble envahissant du développement, QIV= Quotient intellectuel verbal, QINV= Quotient intellectuel non verbal.

Il existe sans doute des limites à l'utilisation de la RV pour intervenir auprès des enfants TED. Sachant que les TED sont caractérisés par des comportements stéréotypés et une rigidité, il se pourrait que les personnes autistes apprennent à effectuer les activités dans l'environnement virtuel sans toutefois faire de liens avec le monde réel (Parsons et al., 2006). Dans ce cas-ci, la généralisation des apprentissages en RV dans des contextes de vie réelle se ferait difficilement. Or, la majorité des études actuelles n'ont pas évalué la généralisation des apprentissages à d'autres contextes ou dans d'autres environnements (Costa, De Carvalho, Drummond, Wauke, & De Sá Guimaraes, 2002; Wang & Reid, 2011). Celles qui l'ont fait rapportent qu'environ la moitié de leur échantillon a reproduit ses apprentissages dans un contexte de vie réelle (Herrera et al., 2008; Josman et al., 2008; Self et al, 2007; Strickland et al., 2007) et pour une étude, les participants ont généralisé leurs apprentissages à d'autres contextes (Cheng et al., 2010). Par ailleurs, certains participants considéraient la RV comme un jeu plutôt qu'une simulation de la réalité (Parsons et al., 2006). Ainsi, ils se permettaient de faire certains comportements inappropriés qu'ils ne feraient pas dans la vie courante, ce qui a pour conséquence de diminuer l'effet d'apprentissage. De plus, certains étaient portés à tester les limites du logiciel, par exemple, en essayant de marcher sur les personnes. Malgré ces limites, l'utilisation de la RV s'avère une avenue prometteuse pour les personnes ayant un TED. Toutefois, l'efficacité des programmes d'intervention en lien avec la RV auprès des personnes TED doit continuer d'être explorée puisqu'à priori ses bénéfices seraient considérables. Il serait pertinent de démontrer les caractéristiques des sujets qui répondent favorablement à la RV, les sphères d'intervention qui s'améliorent avec cette

modalité, les types d'interface qui sont les plus efficaces et les caractéristiques propres au programme en RV qui augmente les chances de réussite.

### **La RV comme outil d'évaluation**

La plupart des études se sont intéressées à la RV dans un but d'intervention, mais certaines, plus récentes en majorité, l'ont utilisé comme outil d'évaluation. Les personnes TED présentent souvent des difficultés attentionnelles; or la RV est une modalité avantageuse puisqu'elle permet de contrôler l'aspect attentionnel. De plus, au lieu d'employer des images bidimensionnelles, certains chercheurs ont préféré l'utilisation d'images tridimensionnelles en RV puisque celles-ci s'apparentent beaucoup plus à la réalité. Les études se sont penchées sur l'utilisation de la RV pour évaluer le fonctionnement perceptif, la reconnaissance des émotions, le jugement social, l'adhésion aux conventions sociales et les habiletés de mémorisation des personnes TED.

Certains chercheurs se sont servis de la RV pour l'évaluation des caractéristiques proprioceptives chez les personnes TED en raison de ses qualités technologiques. Greffou et al. (2012) ont utilisé la RV en immersion pour mesurer la réactivité et le contrôle postural chez elles. Les participants avaient l'impression de se trouver dans un tunnel où l'on créait une perturbation au niveau du système visuel et vestibulaire. Les chercheurs justifient le choix de la RV par le fait qu'elle permet de manipuler facilement les caractéristiques de l'environnement, soit le tunnel, afin d'examiner ses effets sur la vision et la posture. De plus, elle permet de diminuer l'impact des variables confondantes comme l'inattention.

Grynszpan et al. (2011) ont également utilisé la RV en raison de ses propriétés technologiques hautement précises. Afin de mesurer le mouvement des yeux de personnes autistes dans une conversation avec autrui, ils ont créé une tâche où les participants devaient regarder un personnage virtuel. La RV a été choisie comme modalité d'évaluation puisqu'elle permet de concevoir des expressions faciales très fidèles, avec des traits du visage qui semblent bien réels. Les résultats montrent que les participants autistes ont un pauvre contact visuel, ce qui concorde avec la théorie existante sur le sujet.

Moore, Cheng, McGrath et Powell (2005) ont utilisé la RV pour évaluer la reconnaissance des émotions de base chez des enfants de 7 à 16 ans ayant un TED. Ceux-ci devaient reconnaître les émotions sur des visages, inférer des émotions à partir d'une situation sociale et associer des situations sociales à une émotion particulière. Les résultats montrent que la majorité des enfants évalués (30 sur 34) ont répondu à un taux de bonnes réponses de plus de 50 %. Cette étude est exploratoire, mais il aurait été intéressant de voir la différence entre des jeunes neurotypiques et des TED quant à la reconnaissance des émotions dans un environnement virtuel. Les auteurs concluent que la RV est une technologie novatrice qui mérite d'être considérée auprès de cette population.

Une étude a comparé le niveau de jugement social entre des adolescents présentant un TED sans déficience intellectuelle et des adolescents neurotypiques (Wallace et

al., 2010). Deux scénarios ont été présentés aux participants par la RV : dans le premier, le personnage qui se nomme *Danny* interagit avec eux et pose des actions socialement acceptables, alors que dans le deuxième, les actions posées sont non acceptables. Ensuite, les participants devaient répondre à un questionnaire papier à propos de leur interaction avec *Danny* et à quel point ils désireraient se lier d'amitié avec lui. Les résultats indiquent que les sujets neurotypiques reconnaissent *Danny* comme étant « beaucoup plus » un ami potentiel dans le premier scénario que dans le deuxième, alors qu'il n'y a aucune différence entre les deux scénarios pour les participants présentant un TED. Puisque ces derniers présentent également des difficultés à interpréter les intentions des pairs dans la vie de tous les jours, les auteurs concluent que la RV permettrait de simuler des situations sociales qui reflètent bien leurs difficultés.

Dans le but d'explorer les comportements des personnes autistes dans un environnement virtuel et leur adhésion aux conventions sociales, Parsons, Mitchell et Leonard (2005) ont créé une tâche en RV où les sujets devaient effectuer un trajet pour se rendre dans un café et effectuer une commande. Les participants autistes avaient des comportements sociaux moins appropriés, comme marcher sur le gazon et les fleurs au lieu d'emprunter les trottoirs comparativement aux sujets non autistes. Un certain nombre d'entre eux (4 sur 12 participants autistes) avaient des comportements non reliés à la tâche, comme marcher autour du café, derrière le comptoir ou sur les personnes. Il semble donc que certaines personnes autistes profiteraient davantage de cette modalité

que d'autres. Par ailleurs, l'étude a permis de démontrer que les participants avaient du mal à adhérer aux conventions sociales dans la tâche virtuelle.

Trepagnier, Sebrechts et Peterson (2002) ont utilisé la RV pour évaluer la mémorisation de visages et d'objets chez des autistes comparativement à des non autistes. La tâche consistait à mémoriser une série de visages et d'objets présentés virtuellement à l'aide d'un visiocasque. Par la suite, on leur montrait une série de visages et d'objets et ils devaient indiquer si oui ou non, il les avait vus préalablement. Les résultats indiquent que les sujets autistes seraient meilleurs que ceux non autistes pour reconnaître les objets, alors que ces derniers seraient meilleurs pour se souvenir des visages. Ce résultat reflète alors ce qui est présent dans les écrits scientifiques : les TED mémoriseraient moins bien les visages.

En somme, la RV est utilisée en contexte d'évaluation avec les TED en raison de ses qualités technologiques permettant de recréer des visages ou des situations qui reflètent la réalité (voir le Tableau 3 pour un résumé des études). De plus, elle permettrait de favoriser l'attention des TED, capacité qui tend à être plus limitée chez cette population. Les résultats des études citées ci-haut sont cohérents avec ce que l'on retrouve dans les écrits scientifiques chez les TED. Les tâches en RV ont permis de démontrer chez cette population un pauvre contact visuel, un jugement social amoindri, un manque d'adhésion aux conventions sociales et une difficulté à mémoriser des visages. La RV s'avérerait

donc un outil d'évaluation pertinent avec les TED puisqu'elle permet de mesurer objectivement les comportements associés à ce diagnostic.

À ce jour, seulement deux études ont tenté d'évaluer les fonctions exécutives des enfants présentant un TED à l'aide de la RV (Rajendran et al., 2011; Stipanivic & Nolin, 2012). Dans l'étude de Rajendran et al. (2011) une tâche virtuelle d'errances multiples se déroulait dans une école. Les performances de 18 adolescents autistes (âge moyen de 13,9 ans; QIG moyen de 96,2) ont été comparées à celles de 18 adolescents neurotypiques couplés selon l'âge et le sexe. Les participants devaient se déplacer sur les trois étages de l'école afin d'accomplir les six tâches réclamées par l'enseignante en huit minutes (ex. : « Prends un livre du local S15 et va le porter au local S9 »). La tâche virtuelle a été validée par le biais de la tâche des six éléments de la *BADS-C*. Les résultats montrent que les performances des sujets autistes sont inférieures à celles du groupe contrôle à la tâche d'errances multiples en RV. De plus, les participants autistes commettaient plus de bris de règles et exécutaient davantage les tâches de la liste dans l'ordre comparativement aux neurotypiques. À la lumière de ces résultats, les auteurs suggèrent qu'une rigidité, des difficultés au niveau du contrôle de l'inhibition et au niveau de la mémoire prospective sous-tendraient les difficultés dans une tâche comportant plusieurs étapes. De plus, ils affirment que les environnements virtuels offriraient tous les éléments nécessaires pour reproduire les demandes d'une tâche de la vie quotidienne tout en assurant un contrôle expérimental. Cette tâche serait par ailleurs une mesure plus sensible aux difficultés exécutives que les autres tâches en laboratoire.

Tableau 3

*Études ayant utilisé la RV comme moyen d'évaluation auprès des personnes présentant un TED*

Auteurs	Habilités évaluées	Nombre de sujets	Âge	Interface utilisée	Description des résultats
Greffou et al. (2012)	Fonctionnement perceptif	8 TED comparés à 11 neurotypiques du même âge 8 TED comparés à 23 neurotypiques du même âge	12 et 15 ans 16 et 33 ans	Immersion avec port du visiocasque	Reproduction de l'effet avec d'autres instruments qui renvoient une image bidimensionnelle
Grynszpan et al. (2011)	Contact visuel	13 TED 14 neurotypiques	13 à 31 ans	Environnement virtuel sur un portable	Pauvreté du contact visuel
Parsons et al. (2005)	L'adhésion aux conventions sociales	12 TED 12 neurotypiques appariés selon le QIV 12 neurotypiques appariés selon le QINV	13 et 18 ans	Environnement virtuel sur un portable	Comportements sociaux moins appropriés chez les TED ( $p < 0,05$ )
Rajendran et al. (2011)	Fonctions exécutives	18 TED 18 neurotypiques	11 et 18 ans	Environnement virtuel sur un portable	Rigidité Impulsivité et difficultés au niveau de la mémoire prospective

Tableau 3

*Études ayant utilisé la RV comme moyen d'évaluation auprès des personnes présentant un TED (suite)*

Auteurs	Habilités évaluées	Nombre de sujets	Âge	Interface utilisée	Description des résultats
Stipanagic et Nolin (2012)	Attention et impulsivité	12 TED 12 neurotypiques	Âge moyen= 10,4  Âge moyen= 10,2	Immersion avec port du visiocasque	Impulsivité chez les TED
Trepagnier et al. (2002)	Mémorisation de visages et d'objets	5 TED 6 neurotypiques	Âge moyen= 18,4  Âge moyen= 19,5	Immersion avec port du visiocasque	Mémorisation des objets: autistes>neurotypiques  Mémorisation des visages: neurotypiques>autistes

Note. TED= Trouble envahissant du développement, QIV= Quotient intellectuel verbal, QINV= Quotient intellectuel non verbal.

Stipanovic et Nolin (2012) ont examiné les manifestations d'inattention et d'impulsivité chez un groupe d'enfants TED à l'aide du CPT traditionnel et celui de la *Classe virtuelle*. Les performances au CPT traditionnel ne permettaient pas de distinguer les deux groupes. Par contre, les enfants autistes commettaient beaucoup plus d'erreurs d'impulsivité et bougeaient la tête plus souvent que les enfants neurotypiques dans le CPT de la *Classe virtuelle*. Toutefois, les deux groupes d'enfants ne se distinguaient pas en ce qui a trait au taux de bonnes réponses. La *Classe virtuelle* se montrerait donc sensible pour détecter la présence d'impulsivité dans le groupe TED, mais pas pour les symptômes d'inattention. En plus, les mouvements de tête étaient reliés avec les observations des parents concernant l'agitation/impulsivité au *Conners*. Cet instrument semble donc sensible pour mesurer l'impulsivité et l'agitation chez les TED.

## Discussion

Il est clair que dans la vie de tous les jours, les personnes autistes présentent des problèmes au niveau de leur fonctionnement exécutif. En effet, les cliniciens, les intervenants et l'entourage de ces personnes remarquent de la rigidité, un manque d'inhibition, un manque d'initiative, des difficultés d'autorégulation et des problèmes d'organisation. Ces observations ont d'ailleurs pu être confirmées par leurs parents dans des questionnaires comme le *BRIEF* ou le *DEX*. Par contre, ces difficultés vécues au quotidien ne se refléteraient pas toujours dans leurs performances aux tâches neuropsychologiques traditionnelles. En effet, les tâches évaluant les FE sont reconnues pour manquer de validité écologique puisqu'elles ne représenteraient pas les demandes associées aux activités quotidiennes. De plus, les performances des TED aux tâches traditionnelles peuvent être influencées par leurs déficits sociaux puisque dans ce type de tâche c'est l'examineur qui explique les consignes et fournit les rétroactions. Il est donc nécessaire de construire des tâches exécutives qui puissent rendre compte de leurs limitations exécutives tout en diminuant les exigences sociales.

Jusqu'à présent, les études se sont penchées sur l'évaluation des FE chez les TED à l'aide de tâches traditionnelles de type papier-crayon, comme le *WCST*, le *Stroop*, la *D-KEFS*, la *Tour de Londres* ou la *Tour d'Hanoï* pour n'en nommer que quelques-unes. Ces tâches peuvent toutefois être critiquées sur le plan de la validité écologique,

notamment en ce qui concerne le concept de versimilitude. En effet, ces tâches s'éloignent des demandes cognitives des activités de la vie quotidienne. En revanche, elles offrent un bon niveau de contrôle expérimental et permettent de mesurer isolément la FE qu'elles souhaitent évaluer. Concernant le concept de véridicalité, bien peu d'études se sont intéressées au rapport entre les déficits observés à ces tâches chez les TED et une mesure de la vie quotidienne comme les questionnaires. Il semble toutefois que le *WCST* détiendrait une bonne validité au niveau de la véridicalité puisque les déficits à ce test étaient liés à la rigidité observée par l'entourage. Cette relation entre les performances aux tâches traditionnelles et les questionnaires mériterait d'être étudiée davantage par les chercheurs. En ayant une meilleure connaissance des tâches traditionnelles qui font ressortir les limitations des TED dans la vie quotidienne, les neuropsychologues pourraient choisir leurs tests neuropsychologiques avec plus de discernement.

Comme il a été mentionné ultérieurement, les tâches traditionnelles évaluant les FE ne s'apparentent pas toujours aux demandes des activités de la vie courante et de fait manquent de validité écologique au niveau de la versimilitude. De plus, les tâches traditionnelles prétendent mesurer isolément une FE, mais cette conception des FE serait inappropriée puisque, par définition, le contrôle exécutif solliciterait le recrutement simultané de plusieurs processus distincts (Rabbitt, 1997). Ainsi, de nouvelles épreuves de type multitâches ont été créées à partir de cette définition et, par le fait même, ressembleraient beaucoup plus à une activité de la vie courante. Ces tâches seraient donc

plus appropriées pour relever les difficultés exécutives présentes dans la vie quotidienne. Il semble que les personnes TED réussissent moins bien les épreuves qui impliquent le recrutement de plusieurs processus exécutifs simultanément (Altgassen et al., 2012; Kenworthy et al., 2008; Mackinlay et al., 2006). Dans la vie de tous les jours, la plupart des activités et des tâches font appel à l'ensemble des FE : ces épreuves de multitâches semblent donc potentiellement écologiques. En revanche, un échec à ce type de tâches permet de constater qu'il existe un déficit au niveau du fonctionnement exécutif général, mais on ne peut connaître la FE sous-jacente qui est principalement déficitaire. Ces tâches n'en sont toutefois qu'au stade expérimental; elles ne sont pas encore utilisées par les neuropsychologues dans leur pratique.

En clinique, les neuropsychologues utilisent toutefois des batteries d'évaluations comportant des tests papier-crayon à valeur écologique comme la *BADS* et la *TEA*, offrant toutes les deux des versions enfants, ainsi que le *test de Hayling*. Comme pour les épreuves de multitâches, on retrouverait des difficultés sur le plan des FE chez les individus autistes dans les études récentes qui utilisent ce type d'épreuves (Hill & Bird, 2006, Mackinley et al., 2006, White et al., 2009). Ces tests seraient en effet plus aptes à prédire leur fonctionnement au quotidien puisque la demande de la tâche ressemblerait à une situation de la vie courante. Par contre, ce serait dans les épreuves moins structurées et offrant des alternatives que les FE seraient particulièrement sollicitées et que les personnes autistes auraient davantage de difficultés. Ces tâches se rapprochent donc davantage de la théorie des FE puisqu'ici on laisse plus d'initiative au patient que dans

les autres tâches des FE, où l'on explique clairement les comportements attendus. Dans l'étude de White et al. (2009), les individus TED se distinguaient des individus neurotypiques seulement dans les tâches ouvertes (traduction libre de « open-ended ») ou mal structurées (traduction libre de « ill-structured ») de la *BADS*, soit le *Key Search task* et le *Six Parts Test*. Les performances amoindries à ces tâches pourraient s'expliquer par un dysfonctionnement exécutif, mais aussi par leurs difficultés sociales. En effet, l'expérimentateur ne donne pas de consignes spécifiques sur la réalisation de la tâche et l'individu doit inférer ce à quoi s'attend l'expérimentateur. La personne TED peut alors ne pas saisir qu'elle doit effectuer la tâche le plus efficacement possible (White et al., 2009). En plus, ces épreuves, tout comme les épreuves de multitâches, comportent une grande composante langagière. Même si l'expérimentateur ne donne pas de ligne de conduite sur les comportements à effectuer, il doit tout de même énoncer les consignes qui contiennent plusieurs informations verbales à traiter et le patient TED doit être en mesure de bien les comprendre afin de réaliser efficacement la tâche. Cependant, les TED sont reconnus pour présenter des anomalies sur le plan de la communication verbale. Il est fortement envisageable que leurs déficits à ces tests soient teintés d'une part de problèmes exécutifs, mais d'autre part, de lacunes langagières et sociales.

En effet, lorsqu'on élimine la composante sociale de l'évaluation des FE en utilisant une tâche informatisée, les déficits n'apparaissent plus alors qu'on en relevait avec la version standard. Il se pourrait que l'administration standard des tâches, qui implique alors une interaction sociale, augmente les déficits au niveau des fonctions exécutives

qui sont subtiles et/ou que les tâches informatisées atténuent les déficits exécutifs qui sont présents (Happé et al., 2006). La passation informatisée est tout de même intéressante auprès des TED en raison de la diminution du caractère social associé à l'administration standard. Toutefois, puisque les tests informatisés sont reproduits à partir d'une tâche traditionnelle, leur validité écologique demeure faible puisque la tâche ne ressemble pas à celles de la vie courante. Par contre, il est maintenant possible de réunir les bienfaits d'un test informatisé tout en se rapprochant des exigences de la vie quotidienne en utilisant la RV. Selon Chevignard et al. (2006),

Il est nécessaire d'utiliser des situations expérimentales intermédiaires entre le laboratoire et la vie quotidienne, suffisamment contraignantes pour permettre une évaluation objective, mais suffisamment souples pour laisser apparaître des difficultés analogues à celles que le patient rencontre dans la vie quotidienne. (p. 50).

Dans ce contexte, la RV apparaît être un instrument privilégié puisqu'elle permet de mesurer objectivement des comportements tout en créant des situations semblables à celles de la vie quotidienne. Puisque le clinicien ne peut mesurer objectivement les fonctions exécutives de son patient dans une situation de la vie quotidienne, la RV permet de créer une situation artificielle dans laquelle des comportements spécifiques sont observés et mesurés. Avec la RV on peut alors mieux contrôler les variables environnementales et cognitives, ce qui permet une analyse plus fine qu'une simple observation dans la vie quotidienne. Cette modalité d'évaluation mérite donc d'être considérée comme moyen d'évaluation des FE chez les TED.

Cependant, la majorité des études se sont penchées sur l'utilisation de la RV comme moyen d'intervention auprès de la population TED plutôt que dans un but d'évaluation. Ces études ont toutefois montré que les personnes autistes répondent bien à cet outil et y sont intéressées. À ce jour, seulement une étude (Rajendran et al., 2011) a utilisé la RV comme outil d'évaluation cognitive auprès d'individus TED. Ce test a permis de relever des difficultés au niveau de la planification, de l'inhibition, de la flexibilité et de la mémoire prospective. La RV semble donc être sensible pour détecter des difficultés exécutives chez les personnes qui présentent un TED. Cette tâche permet de mesurer spécifiquement certaines FE et non pas l'ensemble du fonctionnement exécutif. En effet, on pouvait observer la rigidité des TED par leur façon d'exécuter la liste des tâches (dans l'ordre) et leurs difficultés au niveau du contrôle de l'inhibition par les bris de consignes. Par contre, on ne sait pas si ces difficultés étaient liées à leur fonctionnement quotidien puisqu'aucun questionnaire n'a été rempli, ce qui oppose nettement une limite à leur étude. Puisque la RV permet de simuler une situation de la vie courante, il est nécessaire d'examiner sa concordance avec les observations de la vie quotidienne.

Les tâches en RV seraient capables de détecter des déficits subtils des FE dans le cadre d'autres populations cliniques (Brooks et al., 2004; McGeorge et al., 2001). Dans ces deux études, les participants ne présentaient pas de problèmes sur le plan des FE aux tâches traditionnelles alors qu'ils en présentaient dans une tâche en RV. La RV semble donc sensible pour détecter des déficits subtils sur le plan des FE.

On peut penser que la RV implique nécessairement la création de nouveaux tests neuropsychologique. Or, ce n'est pas toujours le cas. Des tests traditionnels comme le *Continuous Performance Test* et la tâche du *Stroop* ont été intégrés à des environnements virtuels (Rizzo et al., 2006). La *Classe virtuelle* notamment reproduit une situation de classe alors que l'enfant doit effectuer un test traditionnel.

La *Classe virtuelle* est écologique au niveau de la versimilitude, concept élaboré par Franzen et Wilhelm (1996). Les exigences de la tâche sont semblables à celles de la vie courante puisque dans une salle de classe l'élève doit diriger son attention vers une source d'information sur une longue période de temps tout en ignorant les distracteurs. La *Classe virtuelle* évalue alors à la fois l'attention soutenue et celle sélective. Les tâches d'attention traditionnelles utilisées en neuropsychologie ne mesurent pas ces deux types d'attention en même temps : elles mesurent l'un ou l'autre, alors que dans la vie de tous les jours, les deux sont constamment sollicités. En plus, les résultats obtenus à la *Classe virtuelle* étaient reliés aux observations de la vie quotidienne (Adams et al., 2009; Gilboa et al., 2011). Cet instrument semble à la fois sensible et capable de reproduire les difficultés attentionnelles de la vie quotidienne.

Bien qu'à ce jour, la *Classe virtuelle* ne soit pas exploitée à des fins diagnostiques, en recherche, elle a démontré qu'elle pouvait faire ressortir les difficultés attentionnelles et l'impulsivité chez les enfants présentant un TDAH, un TCC mais également chez des enfants avec un trouble neurologique comme la neurofibromatose de type 1. Dans l'étude

de Stipanovic et Nolin (2012) la *Classe virtuelle* a également permis de mettre en évidence les problèmes d'impulsivité chez les TED, mais pas les difficultés attentionnelles. Par contre, le CPT de la *Classe virtuelle* semble plus sensible que celui standard puisque ce n'est que dans cette condition qu'on pouvait observer des différences entre les deux groupes et ce résultat est supporté par d'autres études (Adams et al., 2009; Martin & Nolin, 2009; Nolin et al., 2012). Il est donc possible que le CPT en *Classe virtuelle* soit plus sensible que celui en version standard pour détecter des déficits sur le plan de l'attention et de l'inhibition.

De manière générale, la RV permettrait de mettre en évidence les limitations fonctionnelles des personnes présentant un TED dans le but d'envisager une prise en charge adaptée. En effet, elle peut simuler la complexité des activités quotidiennes qui exigent le recrutement simultané de plusieurs processus exécutifs. La RV semble donc fortement écologique au niveau de la versimilitude puisqu'elle permet de reproduire une demande de la vie quotidienne. En plus, c'est un outil qui permettrait de concilier validité écologique et contrôle expérimental dans une situation réaliste (Lecouvey, Gonneaud, Eustache, & Desgranges, 2012). Les tests en RV de même que l'ensemble des tâches informatisées offrent certains avantages, comme uniformiser la passation, calculer rapidement et de façon objective les résultats, ce qui diminue ainsi le risque d'erreur. Les tests en RV devraient donc être fidèles puisque les procédures de passation seraient standardisées, les conditions environnementales seraient identiques pour tous et la passation serait uniforme. Sur le plan de la validité, on peut s'attendre à ce que les

tâches en RV aient une bonne validité de contenu puisqu'elles sollicitent l'ensemble des FE. Par contre, d'autres fonctions de bas de niveau (ex. perception visuelle) sont également sollicitées dans les épreuves en RV (Jovanovski, Zakzanis, Campbell, Erb, & Nussbaum, 2012), ce qui peut compromettre leur validité. En ce qui concerne la validité de construit, la théorie sous-jacente aux FE n'est pas clairement établie, mais la RV s'inscrit, comme les épreuves de multitâches, dans la conception unitaire des FE. Les tâches en RV devraient ainsi avoir une assez bonne fidélité et validité, mais des études spécifiques pour chacune des tâches sont nécessaires afin d'en établir les niveaux.

L'utilisation de la RV est d'autant plus intéressante à utiliser auprès de la population TED puisqu'elle permet de contrer l'aspect social inhérent aux tâches traditionnelles. En effet, puisque la personne autiste effectue la tâche sans le regard et les rétroactions de l'expérimentateur, l'échec à la tâche en RV pourrait être moins attribuable à l'aspect sociocommunicationnel. De plus, la RV permettrait d'augmenter le niveau de motivation des TED face à la tâche. En effet, les tâches neuropsychologiques en RV seraient perçues comme étant plus amusantes que les tâches informatisées (Elkind et al., 2001; Pollak et al., 2010). On peut s'attendre à la même chose pour les TED, d'autant plus que ce type de population est reconnu comme étant sensible à l'attrait des jeux vidéo. De manière générale, les personnes TED traiteraient plus facilement les informations visuelles que celles langagières, ce qui est également un avantage à la RV. En effet, les tâches en RV sollicitent beaucoup plus le traitement visuel de l'information que celui langagier. En plus, on peut s'assurer de leur compréhension de la tâche à effectuer avec

une courte pratique. Les tâches en RV permettraient également de contourner les difficultés attentionnelles, motrices et sensorielles qui sont souvent présentes dans cette population. Par ailleurs, la RV permet de mesurer objectivement des manifestations physiologiques liées aux comportements d'impulsivité motrice, comme les mouvements de la tête, des bras et des jambes, ce qui n'est habituellement pas mesuré par les tests neuropsychologiques.

Malgré ses avantages certains, la RV n'en est encore qu'au stade de recherche. Son intégration en pratique clinique tarde probablement en raison des coûts importants qu'entraînerait son utilisation. En plus du coût matériel lié à la création des environnements, l'utilisation de ces nouvelles mesures implique le développement d'une procédure d'évaluation standardisée et la création de nouvelles normes (Lecouvey et al., 2012). De plus, l'utilisation de la RV peut engendrer des cybermalaises chez les patients. Toutefois, les TED ne rapporteraient pas de malaises importants suite à l'utilisation de la RV (Wallace et al., 2010). Cet attrait envers la technologie et les jeux vidéo pourrait toutefois nuire à la passation d'une tâche en RV. Il est possible que certains individus TED voient la tâche comme un jeu plutôt qu'un test où ils offrent leur performance optimale. En effet, dans l'étude de Parsons et al. (2005), certains participants commettaient des actions qu'ils ne feraient pas dans la vie courante puisqu'ils utilisaient la RV comme un jeu. Cette observation est une limite importante aux tâches en RV puisque leur principal avantage réside dans le fait qu'avec cette modalité on s'approche de la réalité de la vie quotidienne. Il serait donc important que les individus se

comportent dans la RV, comme ils le font dans la vie de tous les jours. Malgré ses limites, la RV semble être une modalité appropriée à utiliser auprès des TED pour évaluer leurs FE.

## **Conclusion**

L'objectif de ce travail était de déterminer si la RV était une modalité plus adéquate pour évaluer les FE des personnes présentant un TED. De manière plus générale, la RV permet de recueillir plusieurs mesures à la fois cognitives et comportementales de manière objective tout en reproduisant une situation de la vie courante. Les performances à ce type de tâche devraient donc mieux décrire les difficultés et les comportements vécus au quotidien. La RV est une modalité particulièrement intéressante à utiliser auprès des TED en raison de leurs particularités sociales, communicationnelles, sensorielles et motivationnelles. En effet, il est difficile d'attribuer un échec à un test traditionnel évaluant les FE uniquement à un déficit des FE puisque ces tâches impliquent également une forte composante sociale et langagière. Une tâche en RV ne permet pas d'éliminer totalement ces composantes, mais peut tout de même en atténuer les effets.

La RV semble un outil prometteur dans l'évaluation des FE avec cette population, mais elle ne peut à elle seule remplacer les tests traditionnels. La RV apparaît être davantage un outil complémentaire à l'évaluation traditionnelle des FE chez les personnes présentant un TED. Les tâches traditionnelles de type papier-crayon peuvent mesurer chaque FE séparément et leurs résultats sont aidants pour effectuer un diagnostic différentiel. Avec l'utilisation de la RV, il peut être plus difficile d'isoler séparément chacune des FE. La RV permettrait toutefois de mieux mesurer les

limitations fonctionnelles de la personne TED. Elle pourra notamment guider le neuropsychologue afin d'établir des recommandations pour le plan d'intervention et déterminer l'aptitude au travail ou à la vie autonome. De plus, elle pourrait indiquer le degré de soutien que nécessite la personne pour vaquer à ses activités quotidiennes, ou pour effectuer des apprentissages scolaires ou ses examens.

La théorie du dysfonctionnement exécutif chez les TED est aujourd'hui contestée en raison des résultats contradictoires aux tâches traditionnelles. Or, puisque la RV semble être un outil plus sensible pour détecter les déficits subtils, il est possible qu'avec cette modalité on retrouve de façon plus constante des déficits exécutifs chez cette population. Si les chercheurs peuvent détecter la présence de déficits exécutifs avec la RV, on pourra alors confirmer l'hypothèse du dysfonctionnement exécutif pour expliquer leurs comportements. Pour ce faire, il est cependant nécessaire de poursuivre les études qui examinent la RV pour évaluer les FE des personnes qui présentent un TED.

En somme, la RV semble être une avenue prometteuse pour l'évaluation des FE en neuropsychologie, mais le nombre d'études est beaucoup trop restreint pour confirmer son efficacité avec toutes les populations cliniques, dont les TED. Il est donc nécessaire de poursuivre la recherche dans ce domaine parce que les avantages de la RV seraient considérables. La société actuelle bénéficie particulièrement des progrès technologiques et la neuropsychologie mériterait également d'en tirer profit.

## Références

- Abrahams, B. S., & Geschwind, D. H. (2008). Advances in autism genetics: On the threshold of a new neurobiology. *Nature Reviews Genetics*, 9(6), 341-355.
- 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.
- Altgassen, M., Koban, N., & Kliegel, M. (2012). Do adults with autism spectrum disorders compensate in naturalistic prospective memory tasks? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42, 2141-2151.
- American Psychiatric Association. (2003). DSM-IV-TR: *Manuel diagnostique et statistique de troubles mentaux-Texte révisé* (4<sup>e</sup> éd.). Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Austin, D., Abbott, J., & Carbis, C. (2008). The use of virtual reality hypnosis with two cases of autism spectrum disorder: A feasibility study. *Contemporary Hypnosis*, 25(2), 102-109.
- Attree, E. A., Dancy, C. P., & Pope, A. L. (2009). An assessment of prospective memory retrieval in women with chronic fatigue syndrome using a virtual-reality environment: An initial study. *CyberPsychology & Behavior*, 12, 379-385.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. Dans G. Bower (Eds), *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 47-89). New York, NY: Academic Press.
- Baron-Cohen, S. (1993). Autisme : un trouble cognitif spécifique, la cécité mentale. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 5(4), 640-649.
- Boucher, J., Cowell, P., Howard, M., Brooks, P., Farrant, A., Roberts, N., & Mayes, A. (2005). A combined clinical, neuropsychological, and neuroanatomical study of adults with high functioning autism. *Cognitive Neuropsychiatry*, 10(3), 165-213.
- Brickenkamp, R., & Zillmer, E. (1998). *The d-2 Test of Attention*. Seattle: Hogrefe & Huber Publishers.
- Brooks, B. M., Rose, F. D., Potter, J., Jayawardena, S., & Morling, A. (2004). Assessing stroke patients prospective memory using virtual reality. *Brain injury*, 18, 391-401.

- Brown, D. J., Neale, H. R., Cobb, S. V. G., & Reynolds, H. (1998). Development and evaluation of the virtual city. *International Journal of Virtual Reality*, 4, 27-38.
- Burgess, P. W., & Shallice T. (1997). *The Hayling and Brixton tests*. Bury St. Edmonds, UK: Thames Valley Test Company.
- Cambridge Cognition. (1996). *CANTAB*. Cambridge: Cambridge Cognition Ltd.
- Castelnuovo, G., Lo Priore, C., Liccione, D., & Cioffi, G. (2003). Virtual reality based tools for the rehabilitation of cognitive and executive functions: the V-STORE. *PsychNology*, 1(3), 310-325.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2012). Prevalence of autism spectrum disorders. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 61(3), 1-19.
- Channon, S., Charman, T., Heap, J., Crawford, S., & Rios, P. (2001). Real-life type problem solving in asperger's syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31, 461-469.
- Chaytor, N., & Schmitter-Edgecombe, M. (2003). The ecological validity of neuropsychological tests: A review of the literature on everyday cognitive skills. *Neuropsychology Review*, 13, 181-197.
- Cheng, Y., Chiang, H., Ye, J., & Cheng, L. (2010). Enhancing empathy instruction using a collaborative virtual learning environment for children with autistic spectrum conditions. *Computers & Education*, 55(4), 1449-1458.
- Chevignard, M., Taillefer, C., Picq, C., & Pradat-Diehl, P. (2006). Évaluation du syndrome dysexécutif en vie quotidienne. Dans P. Pradat-Diehl & A. Peskine (Éds), *Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne* (pp. 47-65). Paris : Springer.
- Collège des médecins du Québec & Ordre des psychologues du Québec. (2012, Janvier). *Les troubles du spectre de l'autisme-l'évaluation clinique: les lignes directrices*.
- Costa, R. M., De Carvalho, L. A., Drummond, R., Wauke, A. P., & De Sá Guimaraes, M. (2002). The UFRJ-UERJ Group: Interdisciplinary virtual reality experiments in neuropsychiatry. *CyberPsychology & Behavior*, 5(5), 423-431.
- Culbertson, W. C., & Zillmer, E. A. (2005). *Tower of London* (2<sup>nd</sup> edition). Floride: Psychological Assessment Resources.

- Edgin, J. O., & Pennington, B. F. (2005). Spatial cognition in autism spectrum disorders: Superior, impaired, or just intact? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(6), 729-745.
- Elkind, 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.
- Emslie, H., Wilson, F. C., Burden, V., Nimmo-Smith, I., & Wilson, B. A. (2003). *Behavioral assessment of the dysexecutive syndrome in children (BADS-C)*. London: Harcourt Assessment.
- Frazier, J. A., Biederman, J., Bellordre, C. A., Garfield, S. B., Geller, B. J., Coffey, B. J., & Faraone, S. V. (2001). Should the diagnosis of attention-deficit/ hyperactivity disorder be considered in children with pervasive developmental disorder? *Journal of Attention Disorders*, 4(4), 203-211
- Fombonne, E. (2003). Epidemiological surveys of autism and other pervasive developmental disorders: An update. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 33(4), 365-382.
- Fombonne, E. (2009). Epidemiology of pervasive developmental disorders. *Pediatric Research*, 65(6), 591-598.
- Franzen, M. D., & Wilhelm, K. L. (1996). Conceptual foundations of ecological validity in neuropsychology. Dans R. J. Sbordone & C. J. Long (Eds), *Ecological validity of neuropsychological testing* (pp. 91-112). Delray Beach, FL: GR, St. Lucie Press.
- Frith, U. (1989). *Autism: Explaining the enigma*. Oxford: Odile Jacob.
- Geurts, H. M., Corbett, B., & Solomon, M. (2009). The paradox of cognitive flexibility in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 74-82.
- Geurts, H. M., Verté, S., Oosterlaan, J., Roeyers, H., & Sergeant, J. A. (2004). How specific are executive function deficits in attention deficit hyperactivity disorder and autism? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 836-854.
- Gilboa, Y., Rosenblum, S., Fattal-Valevski, A., Toledano-Alhadeef, H., Rizzo A., & Josman, N. (2011). Using virtual classroom environment to describe the attention deficits profile of children with neurofibromatosis type 1. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2608-2613.

- Gilotty, L., Kenworthy, L., Sirian, L., Black, D. O., & Wagner, A. E. (2002). Adaptive skills and executive function in autism spectrum disorders. *Child Neuropsychology*, 8(4), 241-248.
- Gioia, G. A., & Isquith, P. K. (2004). Ecological assessment of executive function in traumatic brain injury. *Developmental Neuropsychology*, 25, 135-158.
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S., & Kenworthy, L. (2000). *BRIEF: Behavior rating inventory of executive function*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Kenworthy, L., & Barton, R. M. (2002). Profiles of everyday executive function in acquired and developmental disorders. *Child Neuropsychology*, 8(2), 121-137.
- Goldberg, M. C., Mostofsky, S. H., Cutting, L. E., Mahone, E. M., Astor, B. C., Denckla, M. B., & Landa, R. J. (2005). Subtle executive impairment in children with autism and children with ADHD. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(3), 279-293.
- Golding, J. F. (2006). Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire. *Personality and Individual Differences*, 41, 237-248.
- Goldsmith, T. R., & LeBlanc, L. A. (2004). Use of technology in interventions for children with autism. *The Journal of Early and Intensive Behavior*, 1(2), 166-178.
- Goldstein, S., & Schwebach, A. J. (2004). The comorbidity of pervasive developmental disorder and attention deficit hyperactivity disorder: Results of a retrospective chart review. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34(3), 329-339.
- Gorrindo, T., & Groves, J. E. (2009). Computer simulation and virtual reality in the diagnosis and treatment of psychiatric disorder. *Academic Psychiatry*, 33(5), 413-417.
- Grafman, J. (1989). Plans, actions, and mental sets: Managerial knowledge units in the frontal lobes. Dans E. Perecman (Ed.), *Integrating theory and practice in clinical neuropsychology* (pp. 93-138). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Grafman, J. (1995). Similarities and distinctions among models of prefrontal cortical functions. Dans J. Grafman, K. J. Holyoak, & F. Boller (Eds), *Structure and function of the human prefrontal cortex* (pp. 337-368). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.

- Greffou, S., Bertone, A., Hahler, E-M, Hanssens, J-M., Mottron, L., & Faubert, J. (2012). Postural hypo-reactivity in autism is contingent on development and visual environment: A fully immersive virtual reality study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(6), 961-970.
- Griebeling, J., Minshew, N. J., Bodner, K., Libove, R., Bansal, R., Konasale, P., ... Hardan, A. (2010). Dorsolateral prefrontal cortex magnetic resonance imaging measurements and cognitive performance in autism. *Journal of Child Neurology*, 25(7), 856-863.
- Griffith, E. M., Pennington, B. F., Wehner, E. A., & Rogers, S. J. (1999). Executive functions in young children with autism. *Child development*, 70(4), 817-832.
- Grynszpan, O., Nadel, J., Martin, J-C., Simonon, J., Bailleul, P., Wang, ... Constant, J. (2011). Self-monitoring of gaze in high functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(8), 1642-1650.
- Happé, F. (1999). Autism: Cognitive deficit or cognitive style? *Trends in Cognitive Sciences*, 3(6), 216-222.
- Happé, F., Booth, R., Charlton, R., & Hughes, C. (2006). Executive function deficits in autism spectrum disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder: Examining profiles across domains and ages. *Brain and cognition*, 61(1), 25-39.
- Harris, J. M., Best, C. S., Moffat, V. J., Spencer, M. D., Philip, R. C. M., Power, M. J., & Johnstone, E. C. (2008). Autistic traits and cognitive performance in young people with mild intellectual impairment. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(7), 1241-1249.
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. I., Kay, G. G., & Curtis, G. (1993). *Wisconsin Card Sorting Test manual*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Herrera, G., Alcantud, F., Jordan, R., Blanquer, A., Labajo, G., & De Pablo, C. (2008). Development of symbolic play through the use of virtual reality tools in children with autistic spectrum disorders: Two case studies. *Autism*, 12(2), 143-157.
- Hill, E. L. (2004). Evaluating the theory of executive dysfunction in autism. *Developmental Review*, 24, 189-233.
- Hill, E. L., & Bird, C. A. (2006). Executive processes in asperger syndrome: Patterns of performance in a multiple case series. *Neuropsychologia*, 44, 2822-2835.
- Hill, K. J., & Howarth, P. A. (2000). Habituation to the side effects of immersion in a virtual environments. *Displays* 1, 21, 25-30

- Hogan, T. P. (2012). *Introduction à la psychométrie*. Montréal : Chenelière Éducation.
- Howlin, P. (1998). Practitioner review: Psychological and educational treatments for autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39, 307-322.
- Hugues, C., Russell, J., & Robbins, T. W. (1994). Evidence for executive dysfunction in autism. *Neuropsychologia*, 32(4), 477-492.
- Josman, N., Ben-Chaim, H. M., Friedrich, S., & Weis, P. L. (2008). Effectiveness of virtual reality for teaching street-crossing skills to children and adolescents with autism. *International Journal on Disability and Human Development*, 7(1), 49-56.
- Josman, N., Schenirderman, A. E., Klinger, E., & Shevil, E. (2009). Using virtual reality to evaluate executive functioning among persons with schizophrenia: A validity study. *Schizophrenia Research*, 115, 270-277.
- Jovanovski, D., Zakzanis, K., Campbell, Z., Erb, S., & Nussbaum, D. (2012). Development of a novel, ecologically oriented virtual reality measure of executive function: The Multitasking in the City Test. *Applied Neuropsychology: Adult*, 19(3), 171-182.
- Joyeux, F., Jokic, C., Le Thiec, F., Witkowski, T., Le Mené-Geffard, B., Desgranges, B., & Eustache, F. (2006). Intérêt de l'évaluation écologique des fonctions exécutives : principes et application du test des errances multiples. Dans P. Pradat-Diehl, P. Azouvi, & V. Brun (Éds), *Fonctions exécutives et rééducation* (pp. 63-71). Paris : Masson.
- Kandalajt, M. R., Didehbani, N., Krawczyk, D. C., Allen, T. T., & Chapman, S. B. (2012). Virtual reality social cognition training for young adults with high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(1), 34-44.
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous Child*, 2, 217-250.
- Kaplan, E. F., Goodglass, H., & Weintraub, S. (1983). *The Boston Naming Test* (2<sup>nd</sup> ed.). Philadelphia: Lea & Febiger.
- Kenworthy, L., Black, D. O., Harrison, B., della Rosa, A., & Wallace, G. L. (2009). Are executive control functions related to autism symptoms in high-functioning children? *Child Neuropsychology*, 15(5), 425-440.
- Kenworthy, L. E., Black, D. O., Wallace, G. L., Ahluvalia, T., Wagner, A. E., & Sirian, L. M. (2005). Disorganization: The forgotten executive dysfunction in high-functioning autism (HFA) spectrum disorders. *Developmental Neuropsychology*, 28(3), 809-827.

- Kenworthy, L., Yerys, B. E., Anthony, L. G., & Wallace, G. L. (2008). Understanding executive control in autism spectrum disorders in the lab and in the real world. *Neuropsychology review*, 18(4), 320-338.
- Klinger, E., Chemin, I., Lebreton, S., & Marié, R-M. (2006). Virtual action planning in parkinson's disease: A control study. *CyberPsychology & Behavior*, 9(3), 342-347.
- Landa, R. J., & Goldberg, M. C. (2005). Language, social, and executive functions in high functioning autism: A continuum of performance. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(5), 557-573.
- Latash, M. L. (1998). Virtual reality: A fascinating tool for motor rehabilitation. *Disability and Rehabilitation*, 20, 104-105.
- Lecouvey, G., Gonneaud, J., Eustache, F., & Desgranges, B. (2012). Les apports de la réalité virtuelle en neuropsychologie : l'exemple de la mémoire prospective. *Revue de neuropsychologie*, 4, 267-271.
- Lee, J. H., Ku, J., Cho, W., Hahn, W. Y., Kim, I. Y., Lee, S-M., ... Lim, S. I. (2003). A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. *CyberPsychology & Behavior*, 6(4), 383-388.
- Le réseau national d'expertise en troubles envahissants du développement. (2012). *Changements proposés au manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-V) relativement au trouble du spectre de l'autisme (TSA)*.
- Lessiter, J., Freeman, J., Keogh, E., & Davidoff, J. D. (2001). A cross-media presence questionnaire: The ITC-Inventory. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10, 282-297.
- Lewis, V., & Boucher, J. (1997). *The test of pretend play*. London: Psychological Corporation.
- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological assessment* (3<sup>rd</sup> ed.) Oxford: Oxford University Press.
- Liss, M., Fein, D., Allen, D., Dunn, M., Feinstein, C., Morris, R., ... Rapin, I. (2001). Executive functioning in high-functioning children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(2), 261-270.
- Lopez, B. R., Lincoln, A. J., Ozonoff, S., & Lai, Z. (2005). Examining the relationship between executive functions and restricted, repetitive symptoms of autistic disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(4), 445-460.

- Lo Priore, C., Castelnuovo, G., Liccione, D., & Liccione, D. (2003). Experience with V-Store: Considerations on presence in virtual environments for effective neuropsychological rehabilitation of executive functions. *CyberPsychology & Behavior*, 6(3), 281-287.
- Lovass, O. I. (1987). Behavioral treatment and normal educational. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 55(1), 3-9.
- Lussier, F., & Flessas, J. (2009). *Neuropsychologie de l'enfant* (2<sup>e</sup> éd.). Paris : Dunod.
- Mackinlay, R., Charman, T., & Karmiloff-Smith, A. (2006). High functioning children with autism spectrum disorder: A novel test of multitasking. *Brain and cognition*, 61(1), 14-24.
- Manly, T., Robertson, I., Anderson, V., & Nimmo-Smith, I. (1999). *The test of everyday attention for children*. Bury St. Edmonds, UK: Thames Valley Test Company.
- Martin, C., & Nolin, P. (2009). La réalité virtuelle comme nouvelle approche évaluative en neuropsychologie : l'exemple de la classe virtuelle avec des enfants ayant subi un traumatisme crânio-cérébral. *Approche Neuropsychologique et des Apprentissages de l'Enfant*, 101, 28-32.
- McGeorge, P., Phillips, L. H., Crawford, J. R., Garden, S. E., Della Sala, S., Milne A. B., ... Callender, J. S. (2001). Using virtual environments in the assessment of executive dysfunction. *Presence*, 10(4), 375-383.
- McKelvie, S. J. (1995). Emotional expression in upside-down faces: Evidence for configurational and componential processing. *British Journal of Social Psychology*, 34(3), 325-334.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. A. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt, Rhinehart, & Winston.
- Mineo, B., Ziegler, W., Gill, S., & Salkin, D. (2009). Engagement with electronic screen media among students with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(1), 172-187.
- Mitchell, P., Parsons, S., & Leonard, A. (2007). Using virtual environments for teaching social understanding to 6 adolescents with autistic spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(3), 589-600.
- Moore, D., Cheng, Y., McGrath, P., & Powell, N. (2005). Collaborative virtual environment technology for people with autism. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 20(4), 231-243.

- Moreau, G., Guay, M. C., Achim, A., Rizzo, A., & Lageix, P. (2006). The virtual classroom: An ecological version of the continuous performance test-A pilot study. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 4, 59-66.
- Mottron, L. (2009). Approche neuropsychologique de l'autisme. Dans M. Poncelet, S. Majerus, & M. Van der Linden (Éds), *Traité de neuropsychologie de l'enfant* (pp. 639-678). Marseille : Solal.
- Nichols, S., Haldane, C., & Wilson, J. R. (2000). Measurement of presence and its consequences in virtual environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 52(3), 471-491.
- Nichols, S., & Patel, H. (2002). Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence. *Applied ergonomics*, 33(3), 251-271.
- Nolin, P., Stipanovic, A., Henry, M., Joyal, C. C., & Allain, P. (2012). Virtual reality as a screening tool for sports concussion in adolescents. *Brain Injury*, 26(13-14), 1564-1573.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. Dans R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds), *Consciousness and self-regulation* (pp. 1-18). New York, NY: Plenum.
- Ogino, T., Hattori, J., Abiru, K., Nakano, K., Oka, E., & Ohtsuka, Y. (2005). Symptoms related to ADHD observed in patients with pervasive developmental disorder. *Brain & Development*, 27, 245-348.
- Ozonoff, S. (1995). Reliability and validity of the Wisconsin card sorting test in studies of autism. *Neuropsychology*, 9(4), 491-500.
- Ozonoff, S., Cook, I., Coon, H., Dawson, G., Joseph, R. M., Klin, A., ... Wrathall, D. (2004). Performance on Cambridge neuropsychological test automated battery subtests sensitive to frontal lobe function in people with autistic disorder: Evidence from the collaborative programs of excellence in autism network. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34(2), 139-150.
- Ozonoff, S., & Jensen, J. (1999). Brief report: Specific executive function profiles in three neurodevelopmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 29(2), 171-177.
- Ozonoff, S., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1991). Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: Relationship to theory of mind. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 32(7), 1081-1105.

- Parsons, T. D., Bowerly, T., Buckwalter, J. G., & Rizzo, A. A. (2007). A controlled clinical comparison of attention performance in children with ADHD in a virtual reality classroom compared to standard neuropsychological methods. *Child Neuropsychology, 13*, 363-381.
- Parsons, S., Leonard, A., & Mitchell, P. (2006). Virtual environments for social skills training: Comments from two adolescents with autistic spectrum disorder. *Computers & Education, 47*(2), 186-206.
- Parsons, S., & Mitchell, P. (2002). The potential of virtual reality in social skills training for people with autistic spectrum disorders. *Journal of Intellectual Disability Research, 46*(5), 430-443.
- Parsons, S., Mitchell, P., & Leonard, A. (2004). The use and understanding of virtual environments by adolescents with autistic spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 34*(4), 449-466.
- Parsons, S., Mitchell, P., & Leonard, A. (2005). Do adolescents with autistic spectrum disorders adhere to social conventions in virtual environments? *Autism, 9*(1), 95-117.
- Pellicano, E., Maybery, M., Durkin, K., & Maley, A. (2006). Multiple cognitive capabilities/deficits in children with an autism spectrum disorder: "Weak" central coherence and its relationship to theory of mind and executive control. *Development and Psychopathology, 18*, 77-98.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 37*(1), 51-87.
- Poletti, M. (2010). Orbitofrontal cortex-related executive functions in children and adolescents: Their assessment and its ecological validity. *Neuropsychological Trends, 7*, 7-27.
- Pollak, Y., Shomaly, H. B., Weiss, P. L., Rizzo, A. A., & Gross-Tsur, V. (2010). Methylphenidate effect in children with ADHD can be measured by an ecologically valid continuous performance test embedded in virtual reality. *CNS Spectrums, 15*(2), 125-130.
- Posner, M. I., & Rafal, R. D. (1987). Cognitive theories of attention and rehabilitation of attentional deficits. Dans M. J. Meier, A. L. Benton, & L. Diller (Eds), *Neuropsychological Rehabilitation* (pp. 182-201). New York, NY: Guilford Press.
- Psychological Corporation. (2002). *Vigil Continuous Performance Test*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.

- Rabbitt, P. (1997). *Methodology of frontal and executive function*. Hove, UK: Psychology Press.
- Rajendran, G., Law, A. S., Logie, R. H., van der Meulen, M., Fraser, D., & Corley, M. (2011). Investigating multitasking in high-functioning adolescents with autism spectrum disorders using the virtual errands task. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *41*(11), 1445-1454.
- Rajendran, G., Mitchell, P., & Rickards, H. (2005). How do individuals with asperger syndrome respond to nonliteral language and inappropriate requests in computer-mediated communication? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *35*(4), 429-443.
- Rand, D., Katz, N., & Weiss, P. L. (2007). Evaluation of virtual shopping in the VMall: Comparison of post-stroke participants to healthy control groups. *Disability and Rehabilitation*, *29*(22), 1710-1719.
- Rand, D., Rukan, S., Weiss, P. L., & Katz, N. (2009). Validation of the Virtual MET as an assessment tool for executive functions. *Neuropsychological Rehabilitation*, *19*(4), 583-602.
- Raspelli, S., Carelli, L., Morganti, F., Poletti, B., Corra, B., Silani, V., & Riva, G. (2010). Implementation of the Multiple Errands Test in a NeuroVR-supermarket: A possible approach. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*, *8*, 92-95.
- Reynolds, C. R., & Kamphaus, R. W. (1998). *BASC monitor for ADHD manual and software guide*. Circle Pines, MN: American Guidance Service, Inc.
- Rizzo, A. A., Bowerly, T., Buckwalter, J. G., Klimchuk, D., Mitura, R., & Parsons, T. D. (2006). A virtual reality scenario for all seasons: The virtual classroom. *CNS Spectrums*, *11*(1), 35-44.
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Bowerly, T., Humphrey, L. A., Neumann, U., van Rooyen, A., & Kim, L. (2001). The virtual classroom: A virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits. *Revista Española de Neuropsichologia*, *3*(3), 11-37.
- 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.
- Robinson, S., Goddard, L., Dritschel, B., Wisley, M., & Howlin, P. (2009). Executive functions in children with Autism Spectrum Disorders. *Brain and cognition*, *71*(3), 362-368.

- Rogé, B. (2008). *Autisme, comprendre et agir* (2<sup>e</sup> éd.). Paris : Dunod.
- Rosenthal, M., Wallace, G. L., Lawson, R., Wills, M. C., Dixon, E., Yerys, B. E., & Kenworthy, L. (2013). Impairments in real-world executive function increase from childhood to adolescence in autism spectrum disorders. *Neuropsychology*, *27*(1), 13-18.
- Sacau, A., Laarni, J., & Hartmann, T. (2008). Influence of individual factors on presence. *Computers in Human Behavior*, *24*, 2255-2273.
- Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*, 332-339.
- Saracino, J., Noseworthy, J., Steiman, M., Reisinger, L., & Fombonne, E. (2010). Diagnostic and assessment issues in autism surveillance and prevalence. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, *22*(4), 317-330
- Scheirs, J. G. M., & Timmers, E. A. (2009). Differentiating among children with PDD-NOS, ADHD, and those with a combined diagnosis on the basis of WISC-III profiles. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *39*, 549-556.
- Schmidt, M., Laffey, J. M., Schmidt, C. T., Wang, X., & Stichter, J. (2012). Developing methods for understanding social behavior in a 3D virtual learning environment. *Computers in Human Behavior*, *28*, 405-413.
- Schopler, E., Mesibov, G. B., & Hearshey, K. (1995). Structured teaching in the TEACCH system. Dans E. Schopler & G. B. Mesibov (Eds), *Learning and cognition in autism* (pp. 243-268). New York, NY: Plenum Press.
- Schultheis, M. T., Himmelstein, J., & Rizzo, A. A. (2002). Virtual reality and neuropsychology: Upgrading the current tools. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, *17*(5), 378-394.
- Self, T., Scudder, R. R., Wehaha, G., & Crumrine, D. (2007). A virtual approach to teaching safety skills to children with autism spectrum disorder. *Topics in Language Disorders*, *27*(3), 242-253.
- Semrud-Clikeman, M., & Teeter Ellison, P. A. (2009). Autism spectrum disorders. Dans M. Semrud-Clikeman & P. A. Teeter Ellison (Eds), *Child neuropsychology* (2<sup>nd</sup> ed. pp. 249-273). New York, NY: Springer.
- Sergeant, J. A., Geurts, H., & Oosterlaan, J. (2002). How specific is a deficit of executive functioning for attention-deficit/hyperactivity disorder? *Behavioral and Brain Research*, *130*, 3-28.

- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, *114*, 727-741.
- Sharples, S., Cobb, S., Moody, A., & Wilson, J. R. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*, *29*(2), 58-69.
- Shum, D., O'Gorman, J., Myers, B., & Creed, P. (2013). *Psychological Testing and Assessment* (2<sup>nd</sup> ed.). Toronto: Oxford University Press.
- Sinzig, J., Morsch, D., Bruning, N., Schmidt, M. H., & Lehmkuhl, G. (2008). Inhibition, flexibility, working memory and planning in autism spectrum disorders with and without comorbid ADHD-symptoms. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, *2*(4). doi:10.1186/1753-2000-2-4.
- Slater, M., Guger, C., Edlinger, G., Leeb, R., Pfurtscheller, G., Antley, A., ... Friedman, D. (2006). Analysis of physiological responses to a social situation in an immersive virtual environment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *15*(5), 553-569.
- South, M., Ozonoff, S., & McMahon, W. M. (2007). The relationship between executive functioning, central coherence, and repetitive behaviors in the high-functioning autism spectrum. *Autism*, *11*(5), 437-451.
- Sparrow, S. S., Balla, D. A., & Cicchetti, D. V. (1984). *Vineland adaptive behavior scales: Interview edition, survey form manual*. Circle Pines, MN: American Guidance Service.
- Standen, P., & Brown, D. (2005). Virtual reality in the rehabilitation of people with intellectual disabilities: Review. *CyberPsychology & Behavior*, *8*(3), 272-282.
- Stanney, K. M., Mourant, R. R., & Kennedy, R. S. (1998). Human factors issues in virtual environments: A review of the literature. *Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, *7*(4), 327-351.
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, *42*(4), 73-93.
- Stipanovic, A., & Nolin, P. (2012, Août). *Contribution de la réalité virtuelle à l'évaluation de l'attention chez les enfants présentant un TSA*. Communication présentée au Congrès de l'Association internationale de Recherche scientifique en faveur des personnes Handicapées Mentales, Québec, Canada.

- Strickland, D., McAllister, D., Coles, C., & Osborne, S. (2007). An evolution of virtual reality training designs for children with autism and fetal alcohol spectrum disorders. *Topics in Language Disorders, 27*(3), 226-241.
- Strickland, D., Mesibov, G., & Hogan, K. (1996). Two case studies using virtual reality as a learning tool for autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 26*(6), 651-659.
- Swanson, J., Schuck, S., Mann, M., Carlson, C., Hartman, K., Sergeant, J., ... McCleary, R. (2006). *Categorical and dimensional definitions and evaluations of symptoms of ADHD: The SNAP and SWAN rating scales*. University of California, Irvine.
- Sweeney, S., Kersel, D., Morris, R. G., Manly, T., & Evans, J. J. (2010). The sensitivity of a virtual reality task to planning and prospective memory impairments: Group differences and the efficacy of periodic alerts on performance. *Neuropsychological Rehabilitation, 20*(2), 239-263.
- Teunisse, J. P., Roelofs, R. L., Verhoeven, E. W., Cuppen, L., Mol, J., & Berger, H. J. (2012). Flexibility in children with autism spectrum disorders (ASD): Inconsistency between neuropsychological tests and parent-based rating scales. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 34*(7), 714-723.
- Trenerry, M. R., Crosson, B., DeBoe, J., & Leber, W. R. (1989). *Stroop neuropsychological screening test*. Florida: Psychological Assessment Resources.
- Trepagnier, C., Sebrechts, M., & Peterson, R. (2002). Atypical face glaze in autism. *CyberPsychology & Behavior, 5*(3), 213-217.
- Urbina, S. (2004). *Essentials of psychological testing*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Van der Linden, M., Meulemans, T., Seron, X., Coyette, F., Andrès, P. & Prairial, C. (2000). L'évaluation des fonctions exécutives. Dans X. Seron & M. Van der Linden (Éds), *Traité de neuropsychologie clinique, Tome I* (pp. 115-155). Marseille : Solal.
- Van Eylen, L., Boets, B., Steyaert, J., Evers, K., Wagemans, J., & Noens, I. (2011). Cognitive flexibility in autism spectrum disorder: Explaining the inconsistencies? *Research in Autism Spectrum Disorders, 5*(4), 1390-1401.
- Verté, S., Geurts, H. M., Roeyers, H., Oosterlaan, J., & Sergeant, J. A. (2006). Executive functioning in children with autism: Can we differentiate within the spectrum? *Journal of Autism and Developmental Disorders, 36*(3), 351-372.

- Wallace, S., Parsons, S., Westbury, A., White, K., White, K., & Bailey, A. (2010). Sense of presence and atypical social judgments in immersive virtual environments: Responses of adolescents with autism spectrum disorders. *Autism, 14*(3), 199-213.
- Wang, M., & Reid, D. (2011). Virtual reality in pediatric neurorehabilitation: Attention deficit hyperactivity disorder, autism and cerebral palsy. *Neuroepidemiology, 36*, 2-18.
- Werner, P., Rabinowitz, S., Klinger, E., Korczyn, A. D., & Josman, N. (2009). Use of the virtual action planning supermarket for the diagnosis of mild cognitive impairment: A preliminary study. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders, 27*(4), 301-309.
- White, S. J., Burgess, P. W., & Hill, E. L. (2009). Impairments on «Open-Ended» executive function tests in autism. *Autism Research, 2*, 138-147.
- Wilson, B. A., Alderman, N., Burgess, P. W., Emslie, H., & Evans, J. J. (1996). *Behavioural assessment of the dysexecutive syndrome*. Bury St.Edmonds, UK: Thames Valley Test Company.
- Wilson, B. A., Cockburn, J., & Baddeley, A. (1985). *The Rivermead Behavioural Memory Test*. Bury St. Edmonds: Thames Valley Test Company.
- Wilson, P. N., Foreman, N., & Stanton, D. (1998). Virtual reality, disability and rehabilitation: A rejoinder. *Disability and Rehabilitation, 20*, 113-115.
- Winsler, A., Abar, B., Feder, M. A., Schunn, C. D., & Rubio, D. A. (2007). Private speech and executive functioning among high-functioning children with autistic spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 37*, 1617-1635.
- Witmer, B. G., Jerome, C. J., & Singer, M. J. (2005). The factor structure of the presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 14*(5), 298-312.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 7*(3), 225-240.
- Yoshida, Y., & Uchiyama, T. (2004). The clinical necessity for assessing Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (AD/HD) symptoms in children with high-functioning Pervasive Developmental Disorder (PDD). *European Child & Adolescent Psychiatry, 13*(5), 307-314.

Youngblut, C. (1998). *Educational uses of virtual reality technology*. Alexandria, VA: Institute for Defense Analysis (IDA).

Zalla, T., Plassiat, C., Pillon, B., Grafman, J., & Sirigu, A. (2001). Action planning in a virtual context after prefrontal cortex damage. *Neuropsychologia*, 39, 759-770.

## **Appendice A**

Critères diagnostiques du trouble autistique selon le DSM-IV-TR

A. Un total de (six ou plus) parmi les éléments décrits en (1), (2) et (3), dont au moins deux de (1), un de (2) et un de (3) :

(1) altération qualitative des interactions sociales, comme en témoignent au moins deux des éléments suivants :

- a) altération marquée dans l'utilisation, pour réguler les interactions sociales, de comportements non-verbaux multiples, tels que le contact oculaire, la mimique faciale, les postures corporelles, les gestes
- b) incapacité à établir des relations avec les pairs correspondant au niveau de développement
- c) le sujet ne cherche pas spontanément à partager ses plaisirs, ses intérêts ou ses réussites avec d'autres personnes (par exemple, il ne cherche pas à montrer, à désigner du doigt ou à apporter les objets qui l'intéressent)
- d) manque de réciprocité sociale ou émotionnelle.

(2) altération qualitative de la communication, comme en témoigne un des éléments suivants :

- a) retard ou absence totale de développement du langage parlé (sans tentative de compensation par d'autres modes de communication, comme le geste ou la mimique)
- b) chez les sujets maîtrisant suffisamment le langage, incapacité marquée à engager ou soutenir une conversation avec autrui
- c) usage stéréotypé et répétitif du langage, ou langage idiosyncrasique
- d) absence d'un jeu de « faire semblant » varié et spontané, ou d'un jeu d'imitation sociale correspondant au niveau de développement

(3) caractère restreint, répétitif et stéréotypé des comportements, des intérêts et des activités, comme en témoigne au moins un des éléments suivants :

- a) préoccupation circonscrite à un ou plusieurs centres d'intérêt stéréotypés et restreints, anormale soit dans son intensité, soit dans son orientation
- b) adhésion apparemment inflexible à des habitudes ou à des rituels spécifiques et non fonctionnels
- c) maniérisme moteurs et stéréotypés et répétitifs (par exemple, battements ou torsions des mains ou des doigts, mouvements complexes de tout le corps)
- d) préoccupations persistantes pour certaines parties des objets.

B. Retard ou caractère anormal du fonctionnement, débutant avant l'âge de trois ans, dans au moins un des domaines suivants : (1) interactions sociales, (2) langage nécessaire à la communication sociale, (3) jeu symbolique ou d'imagination.

C. La perturbation n'est pas mieux expliquée par le diagnostic de Syndrome de Rett ou de Trouble désintégratif de l'enfance.