

Université de Montréal

**Remédiation cognitive portant sur les aspects fluide et
cristallisé de l'intelligence auprès d'adolescents présentant
un fonctionnement intellectuel limite: Approche par le jeu.**

par

Mathilde Neugnot-Cerioli

Département de Psychologie

Faculté des Arts et Sciences

Thèse présentée à la Faculté des Arts et Sciences

en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.) en Psychologie

Option Recherche - Neuropsychologie et sciences cognitives

Octobre 2015

© Mathilde Neugnot-Cerioli, 2015

RÉSUMÉ

L'objectif principal de cette thèse était de créer, d'implanter et d'évaluer l'efficacité d'un programme de remédiation cognitive, intervenant de façon comparable sur les aspects fluide (Gf) et cristallisé (Gc) de l'intelligence, au sein d'une population d'intérêt clinique, les adolescents présentant un fonctionnement intellectuel limite (FIL). Compte tenu de la forte prévalence de ce trouble, le programme de remédiation GAME (Gains et Apprentissages Multiples pour Enfant) s'est développé autour de jeux disponibles dans le commerce afin de faciliter l'accès et l'implantation de ce programme dans divers milieux.

Le premier article de cette thèse, réalisé sous forme de revue systématique de la littérature, avait pour objectif de faire le point sur les études publiées utilisant le jeu comme outil de remédiation cognitive dans la population pédiatrique. L'efficacité, ainsi que la qualité du paradigme utilisé ont été évaluées, et des recommandations sur les aspects méthodologiques à respecter lors de ce type d'étude ont été proposées. Cet article a permis une meilleure compréhension des écueils à éviter et des points forts méthodologiques à intégrer lors de la création du programme de remédiation GAME. Certaines mises en garde méthodologiques relevées dans cet article ont permis d'améliorer la qualité du programme de remédiation cognitive développé dans ce projet de thèse.

Compte tenu du peu d'études présentes dans la littérature scientifique concernant la population présentant un FIL ($70 < QI < 85$), il était important de clarifier les profils de cette population à laquelle s'adressait le programme GAME, notamment concernant son fonctionnement cognitif, adaptatif, comportemental et psychiatrique. La deuxième étude de

cette thèse a donc permis de préciser le profil de cette population de manière empirique. Dans le domaine cognitif, une force a été mise en évidence au niveau langagier pour le vocabulaire réceptif et la fluence verbale. De plus, certains aspects des capacités attentionnelles et de la mémoire de travail semblaient être bien compensés, possiblement via l'effet de psychostimulants. Étonnamment, le fonctionnement adaptatif n'était pas directement relié au niveau intellectuel global et était hétérogène, suggérant l'importance d'évaluer ce domaine pour rendre compte du niveau de fonctionnement des adolescents présentant un FIL dans la vie quotidienne. D'un point de vue comportemental et psychiatrique, les adolescents avec un FIL avaient plus de manifestations internalisées et externalisées atteignant un seuil cliniquement significatif que leurs pairs. Ces manifestations comportementales expliquent d'ailleurs une part importante du niveau de stress parental dans cette population. Ces résultats sont importants à considérer lors de l'orientation académique, clinique et familiale dans la prise en charge des adolescents présentant un FIL, et soulignent l'importance de proposer une évaluation neuropsychologique approfondie.

Enfin, la partie centrale de cette thèse consistait à créer un programme de remédiation cognitive portant sur les aspects fluide et cristallisé de l'intelligence, champs d'intervention qui a été négligé compte tenu de la stabilité longtems postulée de ces processus. Ce programme de remédiation, intitulé GAME, s'adressait aux adolescents présentant un FIL pur ou partiel (soit les deux indices de raisonnement étaient dans la zone limite, soit un seul des deux), et présentait deux versants, GAME-c (portant sur l'intelligence cristallisée) et GAME-f (portant sur l'intelligence fluide). Cette intervention durait seize heures réparties sur huit semaines. Les résultats indiquent que les adolescents ayant suivi GAME-f ont amélioré leur raisonnement fluide; alors que les adolescents ayant suivi GAME-c ont amélioré à la fois leur

raisonnement cristallisé et fluide. Cette étude contribue à remettre en question la stabilité des processus intellectuels. C'est par contre la première fois que des améliorations de l'intelligence sont constatées dans une population d'intérêt clinique par le biais d'un entraînement direct. Enfin, les variables cognitives, adaptatives, comportementales et psychiatriques susceptibles d'influencer la qualité de l'amélioration pour chacun des programmes GAME ont fait l'objet d'analyses supplémentaires dans un dernier chapitre et permettent de conclure à la possibilité d'adapter le programme GAME à d'autres populations (ex: déficience intellectuelle).

Cette thèse a donc permis de souligner la pertinence d'utiliser les jeux comme outil de remédiation cognitive de part leur versatilité dans leur utilisation, leur facilité d'accès et leur faible coût. Elle met également en avant la nécessité de développer une meilleure compréhension de la population présentant un fonctionnement intellectuel limite et d'effectuer des évaluations neuropsychologiques exhaustives auprès de cette population (cognitif, adaptatif, comportemental et psychiatrique). Enfin, elle souligne la possibilité d'améliorer par remédiation directe les intelligences fluide et cristallisée auprès d'individus avec une intelligence subnormale et suggère qu'il pourrait en être de même pour des populations présentant des déficits cognitifs, comme la déficience intellectuelle légère. Les avenues futures de recherche et les retombées cliniques de ce travail sont discutées, en lien avec les différents résultats trouvés dans ces études.

Mots-clés : Remédiation cognitive; intelligence; raisonnement fluide; intelligence cristallisée; fonctionnement intellectuel limite; jeux

ABSTRACT

The main objective of this study was to create, implement and assess the efficacy of a cognitive intervention program targeting both fluid (Gf) and crystallized (Gc) aspects of intelligence in a clinical population of adolescents presenting with borderline intellectual functioning (BIF). Considering the high prevalence of BIF, the GAME (“*Gains et Apprentissages Multiples pour Enfants*”, or “Multiple Gains and Learning for Children”) cognitive intervention was developed using commercially available games, to allow for application of this program to different settings.

The first article of this thesis consists of a systematic review of the literature pertaining to the use of game in paediatric cognitive rehabilitation. Efficacy and global methodological quality were assessed for all reviewed studies and recommendations for the design and reporting of game-based cognitive interventions were proposed. Some methodological issues raised in this article allowed us to improve the overall quality of the cognitive program developed in this thesis.

Considering the limited number of studies in the current literature regarding BIF ($70 < IQ < 85$), it was important to develop a better understanding of the cognitive, adaptive, behavioural and psychiatric profile of adolescents with BIF who participated in the GAME program. This second study helped to empirically develop a better understanding of this population’s profile. A strength regarding verbal abilities for receptive vocabulary and verbal fluency was identified in this population. Moreover, some aspects of attention seemed well preserved, possibly through the effect of psychostimulant medication. Surprisingly, adaptive

functioning was not directly linked to overall intellectual functioning and appeared to be heterogeneous. This underscores the importance of directly assessing adaptive functioning in this population to obtain a better estimate of their daily living skills, rather than relying solely on cognitive profiles. Adolescents with BIF also exhibited a much higher prevalence of both internalized and externalized behavioural and psychiatric manifestations than their peers. These manifestations explained an important proportion of parental stress levels. These findings may be helpful in guiding academic orientation, clinical, and family management of youth with BIF and highlight the importance of carrying out systematic and extensive neuropsychological assessments in these youth.

The main focus of this thesis consisted in creating a cognitive intervention program targeting Gf and Gc, a rehabilitation domain that has long been overlooked, because of the presumed stability of intellectual processes. The GAME cognitive program was intended for adolescents presenting with either pure or partial BIF (either both of the main reasoning indices were in the borderline range or only one) and addressed two aspects of intelligence: GAME-c (targeting crystallized intelligence) and GAME-f (targeting fluid intelligence). The program lasted for sixteen hours over the course of eight weeks. Results show that adolescents following GAME-f improved on Gf; while adolescents following GAME-c improved on both Gc and Gf. This study sheds further doubt on the so-called stability of intellectual functioning. This is also the first time that intellectual improvements have been identified in a population of clinical interest through direct training. Finally, additional analyses were conducted to identify possible cognitive, adaptive, behavioural and psychiatric factors susceptible of influencing improvements after training. The results indicate that the GAME program may be suitable for other clinical population (e.g., intellectual deficiency).

This thesis underlines the interest of using games as a cognitive remediation tool because of their versatility, accessibility and low cost. It also highlights the necessity to develop a better understanding of individuals presenting with BIF and to provide them with exhaustive neuropsychological assessment (cognitive, adaptive, behavioral and psychiatric). Finally, it indicates that improvements of both fluid and crystallized intelligence can be achieved through direct training in individuals with below-average IQ, suggesting that cognitive deficits could also be addressed in other populations, such as in youth with intellectual disability. Future research and clinical avenues are discussed in relation to the project findings.

Keywords : Cognitive training; fluid reasoning; crystallized intelligence; borderline intellectual functioning; game

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	1
Abstract.....	4
Table des matières.....	7
Liste des tableaux.....	12
Liste des figures.....	13
Liste des sigles et abréviations.....	14
Remerciements.....	18
Chapitre 1: Introduction.....	21
I. La remédiation cognitive.....	24
1. Définition.....	24
2. Outils de remédiation cognitive.....	26
3. Remédiation par le jeu.....	29
II. Concepts d'intelligence.....	30
1. Modèles d'intelligence.....	31
2. Stabilité de l'intelligence ?.....	36
3. Remédiations cognitives portant sur le raisonnement.....	37
III. Intelligence limite.....	39
1. Définition et prévalence.....	39
2. Intelligence limite et comorbidités.....	40
IV. Problématique.....	41

V. Objectifs de la thèse	43
Chapitre 2: Article 1.....	47
Abstract	49
I. Introduction.....	50
II. Methods	52
1. Literature search.....	52
2. Article selection criteria	52
3. Data extraction	54
4. Study quality assessment.....	54
III. Results	54
1. Overview	54
2. Methodological quality	56
3. Oral Language.....	59
4. Written language	61
5. Attention and executive functions.....	63
6. Reasoning.....	65
7. Face processing	67
IV. Discussion	69
V. Conclusions	74
References.....	75
Chapitre 3: Article 2.....	79
Abstract	80
I. Introduction.....	81

1. Consequences of BIF and comorbidities.....	82
2. Current study	84
II. Methods.....	85
1. Participants.....	85
2. Procedure and Measures	86
3. Statistical Analyses	89
III. Results.....	90
1. Participants.....	90
2. Cognitive functioning.....	90
3. Adaptive functioning.....	92
4. Behavior and psychiatric symptoms	93
5. Parental stress level.....	93
IV. Discussion.....	95
Strengths and limitations.....	100
V. Conclusion.....	101
References.....	102
Chapitre 4: Article 3.....	107
Abstract.....	108
I. Introduction.....	109
II. Methods.....	114
1. Participants and setting	114
2. Procedure.....	114
3. Measures	116

4. Pre- and post-test neuropsychological measures.....	116
5. GAME Intervention Program.....	118
6. Statistical analyses	120
III. Results	121
1. Main analyses: Group comparisons on GAME intervention difference scores	122
2. Exploratory analyses performed on difference scores for working memory, language and verbal fluency	124
IV. Discussion	124
1. Limitations and avenues for future research	128
V. Conclusions	129
References	130
Chapitre 5: Variables influençant la remédiation cognitive via le programme GAME	137
I. Introduction.....	138
1. Variables influençant la Réponse à l'Intervention (RAI)	138
2. Objectifs.....	140
3. Hypothèses	140
II. Méthodologie.....	141
1. Participants.....	141
2. Mesures	141
3. Analyses statistiques	142
III. Résultats	143
1. GAME-fluide	143

2. GAME-Cristallisé	143
IV. Discussion	144
Chapitre 6 : Discussion générale.....	149
I. Résumé des principaux résultats.....	150
1. Intervention par le jeu	150
2. Le fonctionnement intellectuel limite (FIL) à l'adolescence	153
3. Le programme GAME: de sa création à l'évaluation de son efficacité	154
II. Limites de l'étude	159
III. Avenues de recherches futures et retombées cliniques	162
1. Avenues de recherche	162
2. Retombées cliniques.....	164
Bibliographie.....	i
Annexe 1: Liste des jeux utilisés dans le programme GAME	i
Game-Fluide.....	i
GAME-cristallisée.....	ii
Annexe 2. Exemples de jeux pratiqués GAME-f.....	iii
Annexe 3. Exemples de jeux pratiqués GAME-c	v
Annexe 4. Extraits du manuel d'intervention	vi
Annexe 5: Témoignages recueillis suite au programme GAME	vii
GAME-Fluide	vii
GAME-Cristallisé	vii

LISTE DES TABLEAUX

Table 1. Assessment of study quality according to the PEDro Scale criteria	58
Table 2. Information reported for all studies regarding oral language interventions...	60
Table 3. Information reported for all studies regarding written language interventions	62
Table 4. Information reported for all studies regarding written language interventions	64
Table 5. Information reported for all studies regarding reasoning abilities interventions	66
Table 6. Information reported for a study regarding face recognition intervention.....	68
Table 1. Description of tests used to assess the cognitive functioning and psychiatric manifestations of adolescents with BIF	87
Table 2. Description of questionnaires completed by parents of adolescents with BIF	88
Table 4. Average score and standard deviation obtained on cognitive tests and results of t-tests performed comparing each variable with FSIQ.....	92
Table 5. Correlations performed between the PGSTI scales and adaptive, behavioral and psychiatric factors	94
Table 1. Neuropsychological tests administered at pre and post-intervention.....	117
Table 2. Games used in GAME-fluid and GAME-crystallized intervention programs	119
Table 3. Distribution of diagnoses per participant group, percentage (number of participants), Chi2 between groups.....	121

Table 4. Comparison of main variables between groups at pre-test.....	122
Table 5. Comparison of performance difference scores (post-test minus pre-test) for the main outcome variables.	123

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Modèles de Carroll, Cattell-Horn et Cattell-Horn-Carroll (CHC) (Carroll, 1993; Cattell, 1963; McGrew, 1997)	33
Fig. 1. Systematic review process and results.....	55
Fig. 1. Selection flow chart of participants	90
Fig. 1. Average difference scores between GAME-f, GAME-c and Control group. (Test means =100, S.D.=15). *p<.01	123

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

En Français

ACV : Accident Cérébral Vasculaire

CHC : Modèle de Cattell-Horn-Carroll

DI : Déficience Intellectuelle

DIL : Déficience Intellectuelle Légère

FIL : Fonctionnement Intellectuel Limite ou intelligence située dans la zone limite

g : intelligence générale

GAME : Gains et Apprentissages Multiples pour Enfant

GAME-c : GAME-cristallisé

GAME-f : GAME fluide

GC : Groupe contrôle

Gc : intelligence fluide

Gf : intelligence cristallisée

MDT : Mémoire de travail

QI : Quotient Intellectuel

QIV : Quotient Intellectuel Verbal

RAI Réponse à l'intervention

TDAH : Trouble Déficitaire de l'Attention avec Hyperactivité

TSL : Trouble Spécifique du Langage

TTC : Traumatisme Crânio-Cérébral

En anglais

ABAS-II: Adaptive Behavior Assessment System, 2nd Edition

ADHD: Attention Deficit and Hyperactivity Disorder

BIF: Borderline Intellectual Functioning

BSI: Brief Symptom Inventory

CBCL: Child Behavior Checklist

CD: Conduct Disorder

CG: Control Group

CPRS-3: Conners' Parent Rating Scale, 3rd Edition

D-KEFS: Delis-Kaplan Executive Function

DSM: Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders

FSIQ: Full Scale Intellectual Quotient

g: general intelligence

GAC: Global Adaptive composite

GAME-c: GAME-crystallized

GAME-f: GAME-fluid

Gc: Crystallized intelligence

Gf: Fluid Intelligence

IQ: Intellectual Quotient

MID: Mild Intellectual Disability

ODD: Oppositional Defiant Disorder

PGSTI: Parenting Stress Index

PPVT: Peabody Perceptive Vocabulary Test

SES: Socio-Economic Status

TEA-CH: Test of Everyday Attention for Children

TONI-4: Test of Non Verbal Intelligence, 4th Edition

WASI: Weschler Abbreviated Scale of Intelligence

WM: Working Memory

WISC-IV : Weschler Intelligence Scale for Children – 4th Edition

WNV : Weschler Non Verbal Test

À Julien (1983-1997)

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Dr Miriam Beauchamp pour m'avoir accompagnée, guidée et financée durant tout ce travail de thèse. Je tiens à souligner particulièrement ton écoute empathique, ta patience, ta rigueur et l'entrain avec lequel tu mènes le laboratoire ABCs et tous ses membres. Tes nombreux conseils m'ont permis d'apprendre beaucoup sur le travail de chercheur ainsi que de clinicien, aspects du travail de neuropsychologue que tu sais parfaitement conjuguer. Je tiens également à te remercier pour les nombreuses opportunités que tu m'as offertes tout au long de ce doctorat. Enfin, merci de m'avoir accordé ta confiance et de m'avoir soutenue dans ce projet. Merci enfin de m'avoir transmis ta passion pour la recherche clinique.

Je tiens également à remercier Charlotte Gagner, qui s'est impliquée dans ce projet comme si c'était le sien. La rigueur, le sérieux et l'investissement dont tu as fait preuve ont constitué un soutien inestimable tout au long de cette thèse. Merci également toutes les autres membres du laboratoire ABCs qui sont intervenues dans ce projet pour leur précieux travail, Marie-Ève, Marilou, Fanny, Dorothée et Tanya.

Je remercie le Centre Pédagogique Lucien-Guilbault, son directeur, David Laflamme, ainsi que les enseignants et les différents intervenants. La confiance que vous nous avez accordée et les aménagements que vous avez faits pour permettre la mise en place du projet GAME ont été essentiels; sans vous ce projet n'existerait pas. Je tiens d'ailleurs à souligner le travail exceptionnel que vous faites au quotidien auprès de ces adolescents et de la différence que cela entraîne dans leur parcours académique, mais également dans leurs vies.

Bien sûr, je remercie tous les membres du laboratoire ABCs, qui sont maintenant beaucoup trop nombreux pour être tous mentionnés! Les nombreuses discussions sur des sujets divers et variés et les amitiés que nous avons nouées ont rendu ce travail passionnant. Je tiens à remercier particulièrement Jenny Bellerose, avec qui j'ai eu la chance de contribuer sur différents projets, et qui a permis de rendre ce parcours moins solitaire. Nos conversations et nos échanges nombreux m'ont beaucoup apporté.

Il est impossible de travailler au laboratoire ABCs sans remercier Cindy Beaudoin, coordonnatrice de recherche et amie. Tu représentes un soutien immense auprès de chacun des membres du laboratoire.

Merci à tous les membres du personnel administratif et technique du Cernec et du Département de Psychologie de l'Université de Montréal pour leur disponibilité et leurs conseils.

Je tiens à remercier les membres du Cénop, où j'ai pu continuer à travailler durant une partie de ce Ph.D, plus particulièrement Dr. Eliane Chevrier. Tu as été un réel mentor et tu m'as permis d'apprendre beaucoup sur le travail de neuropsychologue. Sans tes précieux enseignements, l'aspect clinique de cette thèse n'aurait pas été possible.

Je tiens également à remercier les amies que j'ai rencontrées au cours de ce doctorat. Merci à Dr. Domitille Malfait pour nos conversations cliniques, recherche et personnelles, tu fais partie des belles choses qui viennent avec ce doctorat. Merci aussi à Sandrine Mendizabal pour son amitié et son humour qui ont su pimenter ce parcours.

Merci à toutes les personnes qui ont été impliquées à un moment ou un autre dans la relecture de certaines sections de cette thèse.

Je tiens à remercier mes amis en Europe, au Canada et aux États unis pour vos attentions, vos gestes et pour ces échanges par courriel ou autour d'un bon repas. Merci à Marie-Laure pour toutes tes petites attentions et les nombreuses fois où vous m'avez accueillie durant mes aller-retour San Francisco-Montréal. Merci à Julia Brun pour son amitié de très longue date et pour ses fréquents petits mots d'encouragement et son soutien. Je tiens à remercier Dr. Hélène Samson pour tout. Je ne peux malheureusement pas dénommer toutes les contributions que tu as eues dans ma vie professionnelle et personnelle, l'espace alloué aux remerciements étant limité.

Je remercie également ma maman pour la confiance sans limites qu'elle m'accorde depuis toujours, il est plus difficile de douter de soi quand quelqu'un croit autant en vous. Merci également à mon papa, qui a toujours à cœur de me pousser à aller plus loin et à ne pas me reposer sur mes lauriers. Maman, Papa, vous faites finalement à vous deux une belle équipe! Merci également à toi, Michèle, nos conversations et ton soutien me sont très précieux.

Enfin, ce travail de thèse n'aurait pas été possible sans le soutien quotidien de Rafael Cerioli. Merci pour la patience sans faille et sans limites dont tu as dû faire preuve, personne n'aurait pu faire mieux. Tu as su m'accompagner dans les moments parfois plus difficiles que représente un travail de thèse, m'épauler et me remettre en question quand il le fallait, et ne pas le faire quand c'était inutile. Merci aussi à Elliott, qui a parfois dû apprendre à partager sa maman avec les exigences de cette thèse et qui, sans le vouloir, m'a souvent permis de prendre le recul nécessaire. Tu as représenté une véritable bouffée d'air pur dans ce long travail.

CHAPITRE 1: INTRODUCTION

La remédiation cognitive est en plein essor dans le domaine de la neuropsychologie clinique et de nombreux travaux de recherche ont souligné son efficacité et sa nécessité (Cicerone et al., 2000). La neuropsychologie s'est en effet longtemps concentrée sur l'étude des liens entre cerveau et comportements, afin de mieux comprendre leurs associations; ce qui a permis de développer des outils aidant au diagnostic des différents troubles neuropsychologiques (Lussier & Flessas, 2009). Ce n'est que plus récemment que la pratique clinique s'est intéressée à la remédiation cognitive et que la communauté scientifique s'est penchée sur comment l'optimiser pour la rendre la plus efficace possible. En effet, s'il est important de pouvoir diagnostiquer et de préciser le profil cognitif des troubles neuropsychologiques, qu'ils soient acquis (ex : Accidents Vasculaires Cérébraux, Tumeurs, Traumatismes Cranio-Cérébraux) ou neurodéveloppementaux (Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H), Trouble Spécifique du Langage oral et écrit, etc.), il est crucial de développer des interventions pour pallier aux déficits spécifiques entraînés par ces atteintes. De nombreux paradigmes de remédiation cognitive se sont développés, permettant l'amélioration de différents domaines, tels que l'attention dans les cas du TDA/H, la mémoire en cas de démence, les compétences sociales dans les troubles du spectre de l'autisme, ou encore les fonctions exécutives ou le langage (Haskins, 2012). Néanmoins, la remédiation cognitive a longtemps négligé le domaine de l'intelligence, cette dernière étant souvent considérée comme stable et immuable (Moffitt, Caspi, Harkness, & Silva, 1993). De récentes études portant sur le fonctionnement intellectuel (intelligence fluide et cristallisée) ont progressivement remis en question cette idée. C'est l'étude de Jaeggi et al. (2008) qui a définitivement permis de renier la stabilité des processus intellectuels. Suite à un entraînement cognitif auprès d'adultes, une amélioration de l'intelligence fluide a été

constatée, ce que d'autres études ont reproduit par la suite en étendant cet effet à l'intelligence cristallisée (Alloway & Alloway, 2009; Au et al., 2015). Néanmoins, la remédiation des processus intellectuels s'est limitée à la population normale, l'objectif jusqu'alors étant de démontrer sa faisabilité et son efficacité. Cette potentialisation du fonctionnement intellectuel à travers des approches directes en remédiation cognitive a des implications importantes pour le domaine de la neuropsychologie pédiatrique clinique. Une faiblesse au niveau du potentiel intellectuel global, comme c'est le cas dans le fonctionnement intellectuel limite (FIL), entraîne une diminution de la qualité de vie tout au long du développement puis à l'âge adulte, que ce soit au niveau académique, affectif ou psychosocial. Adapter une intervention cognitive portant sur les intelligences fluide et cristallisée au sein de cette population présentant un FIL est donc impératif. Compte tenu de la forte prévalence du FIL (12 à 18% de la population) (Hassiotis, Tanzarella, Bebbington, & Cooper, 2011; Seltzer et al., 2005), il semblait particulièrement pertinent d'utiliser un matériel de remédiation qui soit facile d'accès et simple à implanter dans différents milieux (domicile, école, hôpital). C'est pourquoi des jeux disponibles dans le commerce et sélectionnés en fonction des différentes habiletés qu'ils stimulent (ex.: raisonnement visuospatial, déduction, élaboration verbale) ont été choisis dans ce projet pour mener cette intervention. C'est d'ailleurs un support particulièrement motivant pour la population pédiatrique, compte tenu de son aspect ludique. L'utilisation de ce matériel est d'ailleurs soutenue par différents travaux qui ont montré l'efficacité de l'emploi des jeux comme méthode de remédiation cognitive dans différents domaines cognitifs, y compris certains aspects du raisonnement fluide. Ce travail de thèse couvrira donc dans un premier temps une introduction générale permettant de décrire les méthodes de remédiation cognitive et leur évolution, le concept d'intelligence, son construit et les différentes remédiations

cognitives dont il a fait l'objet, et enfin une description de la population d'individus présentant un FIL (Chapitre 1). L'utilisation des jeux dans la remédiation cognitive, ses bénéfices, ses limites et certaines mises en garde à prendre en compte lors du développement d'une intervention l'utilisant comme outil sont ensuite décrites dans une revue systématique de la littérature (Chapitre 2). Les profils cognitifs, adaptatifs, comportementaux et psychiatriques d'adolescents présentant un FIL font l'objet du deuxième article de cette thèse, afin d'illustrer le profil complexe de ces jeunes et de mettre en évidence l'importance de développer des interventions spécifiquement pour cette population (Chapitre 3). L'étude et le développement de notre programme de remédiation cognitive portant sur les intelligences fluide et cristallisée, intitulé GAME (Gains et Apprentissages Multiples pour Enfant), seront exposés et les résultats principaux seront discutés (Chapitre 4). Enfin, les variables ayant influencé la récupération (cognitives, comportementales et psychiatriques) suite à la remédiation cognitive ont été étudiées et seront décrites dans le Chapitre 5, avant de clore avec une discussion générale des résultats.

I. La remédiation cognitive

1. Définition

La cognition peut être définie comme l'ensemble des processus mentaux liés à la connaissance et inclut « la discrimination et la sélection d'informations pertinentes, l'acquisition des informations, leur compréhension et leur consolidation, ainsi que l'expression et l'application de ces connaissances à une situation appropriée » (p.1596, Cicerone, et al., 2000). Les méthodes d'intervention peuvent être divisées en méthodes d'intervention

indirectes et directes. Les méthodes d'intervention indirectes incluent les méthodes de compensation ou de modifications matérielles et environnementales (Wilson, Emslie, Quirk, & Evans, 2001), les rééducations comportementales et psychologiques (Feeney & Ylvisaker, 2006), les approches psychoéducatives (Beardmore, Tate, & Liddle, 1999) et les interventions familiales (Hudson et al., 2003). À l'inverse les méthodes d'intervention directes ont pour objectif d'intervenir spécifiquement sur les fonctions atteintes et peuvent se faire par l'approche pharmacologique (par exemple pour le traitement des symptômes inattentifs dans le trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité) ou par remédiation cognitive. Cette dernière s'est largement développée grâce aux études réalisées dans le domaine des lésions cérébrales acquises (Cicerone, et al., 2000). Elle a alors pour objectif de stimuler de manière intensive la fonction cognitive atteinte et repose sur les notions de plasticité cérébrale, terme désignant « l'habileté du cerveau à changer sa structure et sa fonction au cours de la maturation, des apprentissages, des modifications environnementales ou suite à une pathologie » (p.179, Lledo, Alonso, & Grubb, 2006).

La remédiation s'est principalement intéressée aux lésions cérébrales acquises, avec pour objectif d'améliorer une fonction cognitive déficitaire suite à un traumatisme crânio-cérébral (TTC) ou un accident cérébral vasculaire (ACV). Toutefois, elle peut également être utilisée pour intervenir sur les troubles neurodéveloppementaux, tels que le trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH) (Klingberg et al., 2005; Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002; Shalev, Tsal, & Mevorach, 2007) ou le trouble spécifique du langage (TSL) (Segers & Verhoeven, 2005; Swanson, Fey, Mills, & Hood, 2005), et vise alors à améliorer la performance sur la fonction atteinte dans le trouble.

D'ailleurs, tous les individus ne répondent pas de manière similaire aux remédiations cognitives et la littérature anglophone réfère à la notion de « *responsiveness to intervention* » ou « *unresponsiveness to intervention* ». Elle est définie comme le fait de juger le niveau de la réceptivité d'un individu face à une remédiation (Al Otaiba, 2002). Différents éléments peuvent influencer l'amélioration d'individus suivant un programme de remédiation cognitive, tels que le QI initial, la mémoire de travail ou encore les capacités attentionnelles (S. A. Gray et al., 2012; O'Shaughnessy & Swanson, 2000; Vadasy, Jenkins, Antil, Wayne, & O'Connor, 1997).

2. Outils de remédiation cognitive

Les outils utilisés pour effectuer la remédiation cognitive sont nombreux et évoluent rapidement. Ainsi, les outils dits « papier-crayon » laissent progressivement place aux nouvelles technologies telles que le neurofeedback ou la réalité virtuelle. S'il est intéressant de constater l'essor de ces nouvelles options qui s'offrent pour travailler en remédiation cognitive, elles restent encore souvent limitées au domaine de la recherche et présentent encore de nombreuses limites, car elles sont peu validées, coûteuses et difficilement accessibles.

Par exemple, le neurofeedback a fait son apparition à la fin des années 1960 (Kamiya, 1971), mais s'est surtout développé lors la dernière décennie (Hammond, 2007). Cette méthode consiste à enregistrer l'activité du cerveau par le biais d'électrodes placées à la surface du crâne et à montrer au patient son activité cérébrale en temps réel afin de l'amener à modifier et à reconditionner certains patterns d'activations cérébrales. Plus récemment, le

neurofeedback s'est développé pour améliorer les capacités attentionnelles de patients présentant un TDAH (Fox, Tharp, & Fox, 2005; Gevensleben et al., 2009). Au cours des dernières années, la stimulation magnétique transcrânienne répétée (rTMS) est apparue. Elle a pour objectif de venir stimuler de façon non invasive une région d'intérêt à l'aide d'un bref courant électrique appliqué à la surface du scalp afin de modifier l'activité cérébrale. Cette technique a principalement été appliquée au traitement de la dépression (Loo & Mitchell, 2005), mais commence à faire son apparition dans le domaine de la cognition (Martin et al., 2014; Miniussi & Rossini, 2011; Shin, Dixon, Okonkwo, & Richardson, 2014). Si ces nouvelles méthodes sont prometteuses, elles restent onéreuses, contraignantes, nécessitent une formation complexe pour la personne qui la dispense, et leur méthodologie et efficacité restent encore contestées (van Dongen-Boomsma, Vollebregt, Slaats-Willemsse, & Buitelaar, 2015).

Le développement des outils informatiques a également permis l'élaboration de nouvelles méthodes d'intervention, par exemple pour le traitement des troubles de l'attention, où le patient doit répondre à des stimuli visuels ou auditifs tout en maintenant sa concentration. La réalité virtuelle et les tablettes informatiques ouvrent également la voie à de nouvelles pistes d'intervention. Ces dernières sont apparues au début des années 2010, et commencent progressivement à être utilisées dans le domaine de la neuropsychologie, mais n'ont pas encore été employées comme outil de remédiation cognitive chez l'enfant. Toutefois, elles ont déjà permis l'amélioration des compétences linguistiques chez des adultes présentant une aphasie et des habiletés motrices fines chez des patients à la suite d'un ACV (Hoover & Carney, 2014; Saposnik et al., 2014). La réalité virtuelle, quant à elle consiste à immerger un individu par une simulation informatique dans un environnement reproduisant la réalité (ex. conduite automobile). Elle est principalement utilisée dans le traitement des

phobies où la personne est alors plongée dans un milieu où elle est confrontée à l'objet de sa phobie tout en étant accompagnée par un thérapeute (Parsons & Rizzo, 2008a). Elle commence à être utilisée dans le domaine de la neuropsychologie en tant qu'outil d'évaluation (Parsons & Rizzo, 2008b; Zhang et al., 2001), mais aussi d'intervention cognitive (Chan, Ngai, Leung, & Wong, 2010), bien que ces études restent relativement exploratoires et se limitent pour l'instant exclusivement au domaine de la recherche.

Ces approches sont intéressantes et connaîtront sans nul doute un accroissement important dans les années à venir. Toutefois, elles posent le problème de leur accessibilité, de leur coût et restent pour la plupart encore expérimentales. C'est en raison de leur caractère complexe dans leur mise en place que ces outils n'ont pas été sélectionnés pour effectuer la remédiation cognitive dans ce projet. En revanche, des outils comme les jeux de plateau ou d'ordinateur sont plus facilement accessibles et permettent une implantation dans différents milieux (Cicerone, et al., 2000; Laatsch et al., 2007; Tallal, 2013), ce qui était l'un des objectifs de ce programme de remédiation, compte tenu de la forte prévalence et du peu d'outils disponibles pour la population présentant un FIL. Les jeux répondent à ces critères puisqu'ils ne requièrent souvent pas plus qu'un ordinateur ou un plateau de jeu pour les jeux de société. Ils ont l'avantage d'être une approche pertinente pour intervenir auprès des populations pédiatriques, de par leur intérêt ludique et motivationnel. Ces raisons expliquent certainement l'essor observé actuellement dans la création et mise en place de remédiations cognitives par le biais de jeux.

3. Remédiation par le jeu

Les jeux utilisés en remédiation cognitive sont principalement de deux types : ceux informatisés et ceux de type « plateau ». Il a été démontré à plusieurs reprises que les joueurs de jeux vidéo d'action sont plus performants en terme de vitesse de traitement et d'attention visuelle, par rapport aux non-joueurs (Castel, Pratt, & Drummond, 2005; Green & Bavelier, 2003, 2006). Des chercheurs ont donc tenté avec succès d'utiliser les jeux vidéo comme outil d'intervention cognitive. À la suite d'un entraînement de seulement dix heures sur un jeu vidéo d'action, Feng et al. (2007) ont constaté une amélioration des capacités de rotation mentale. Dye, Green & Bavelier (2009) ont demandé à des non-joueurs de pratiquer des jeux vidéo de stratégie ou d'action, chez les joueurs pratiquant les jeux d'action, une amélioration de la vitesse de traitement a été notée avec une préservation du niveau de précision des réponses. Ainsi, l'utilisation des jeux informatisés se révèle utile pour la remédiation de certaines fonctions cognitives, notamment le domaine visuospatial. Son intérêt par rapport aux autres techniques citées précédemment est qu'elle ne nécessite pas la présence d'une personne formée et qu'elle est hautement motivante de par ses aspects ludiques.

Dans le même ordre d'idée, les jeux issus du commerce représentent également un outil facile d'accès, ludique et très versatile dans les possibilités qu'ils offrent, puisqu'ils peuvent être pratiqués aussi bien en milieu hospitalier, dans les écoles ou à la maison. L'approche par le jeu est d'ailleurs de plus en plus répandue dans la remédiation cognitive et se révèle efficace. Le premier article de cette thèse décrit en détail et de façon systématique les études en remédiation cognitive par le biais du jeu chez l'enfant et l'adolescent, permettant de

montrer leur efficacité et de dresser une liste de leurs limites méthodologiques (Voir Article 1: Revue de la littérature, Neugnot-Cerioli, Gagner, & Beauchamp, In press).

Parmi les études présentées dans la recension des écrits, celle de Mackey Hill, Stone, & Bunge (2011) est particulièrement intéressante puisque c'est la seule qui ait cherché à améliorer l'intelligence fluide. Suite à seize heures de remédiation cognitive, des enfants issus de milieux socioéconomiques défavorisés ont obtenu une amélioration du QI de 0.7 écart type. L'objectif de cette thèse étant de développer un programme de remédiation cognitive portant à la fois sur les aspects fluide et cristallisé de l'intelligence, une attention toute particulière a été portée aux jeux sélectionnés et à la méthode adoptée par Mackey et ses collaborateurs. Ainsi, le programme de remédiation développé dans ce travail, intitulé GAME (Gains et Apprentissages Multiples pour Enfants), dure également seize heures, temps d'ailleurs souvent retrouvé dans d'autres études s'étant révélées efficaces (Slomine & Locascio, 2009). Contrairement au protocole de Mackey, les séances de remédiation dans le programme GAME s'effectuaient en individuel, afin d'accompagner chaque adolescent et de lui suggérer des stratégies pertinentes, lorsque nécessaires.

Dans cette prochaine section, les modèles permettant de comprendre l'organisation des processus d'intelligence seront exposés, avec une attention toute particulière portée aux fonctions ciblées par le programme de remédiation cognitive GAME.

II. Concepts d'intelligence

Au travers des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles, l'intelligence a fait l'objet de nombreuses études et différents modèles ont été proposés. Le modèle de Cattell-Horn-Carroll (CHC)

constitue aujourd'hui le modèle taxonomique de référence lorsqu'il s'agit d'expliquer l'organisation des processus d'intelligence (J. Schneider & McGrew, 2012). Il reprend de nombreux aspects des différents modèles développés au fil du temps à l'aide d'analyses factorielles pour comprendre leur organisation.

1. Modèles d'intelligence

1. a. Modèles traditionnels

Le modèle développé par Spearman en 1904, est l'un des tout premiers modèles qui a permis la compréhension actuelle de l'organisation de l'intelligence. À la suite d'analyses factorielles, il constata que les résultats scolaires corrélaient tous entre eux dans une certaine mesure, et a alors formulé sa théorie d'une aptitude commune qu'il appela intelligence générale ou *g* (Spearman, 1904, 1923). Selon cette théorie, le score obtenu par une personne à un test cognitif comprend le facteur *g* et un facteur spécifique au test, facteur qui aurait un poids plus ou moins important dans la variance.

Thurstone remet en question ce modèle puisqu'en effectuant des analyses factorielles multiples, il ne retrouva pas ce facteur général, mais sept facteurs indépendants, appelés facteurs primaires (spatial, verbal, numérique, mémoire, induction, déduction et fluidité verbale) (Thurstone, 1946). Ainsi, il perçoit l'intelligence comme multidimensionnelle et non unidimensionnelle comme la conceptualisait Spearman.

1. b. Le modèle Cattell-Horn-Carroll

Cattell, qui fut formé par Spearman, reprend la notion d'intelligence générale qu'il fit évoluer en constatant qu'au cours du vieillissement, les performances à certains tests

diminuaient (résolution abstraite, vitesse de traitement, etc.), alors qu'elles se maintenaient pour d'autres types de tâches (tests de vocabulaire, de compréhension, etc.) (Cattell, 1943). Il formule alors pour la première fois la notion d'intelligence fluide (Gf) et d'intelligence cristallisée (Gc). Gf est définie comme la capacité à penser logiquement et à résoudre des problèmes dans des situations nouvelles, indépendamment des connaissances acquises. Gc se réfère à la capacité d'un individu à utiliser ses compétences, ses connaissances et son expérience. Cattell spécifie d'ailleurs dans son ouvrage (p. 94, 1987) la théorie de l'investissement selon laquelle Gc serait le fruit de Gf : elle se développerait progressivement à mesure qu'un individu effectue des tâches nécessitant l'emploi de Gf. Par la suite, Horn a identifié six à sept autres facteurs généraux de l'intelligence, supplémentaires en plus de Gf et Gc, en prenant en compte les différences individuelles, les changements développementaux, les preuves neurocognitives, les liens entre les performances scolaires et professionnelles et les liens entre comportement et génétique, (Sternberg & Kaufman, 2011).

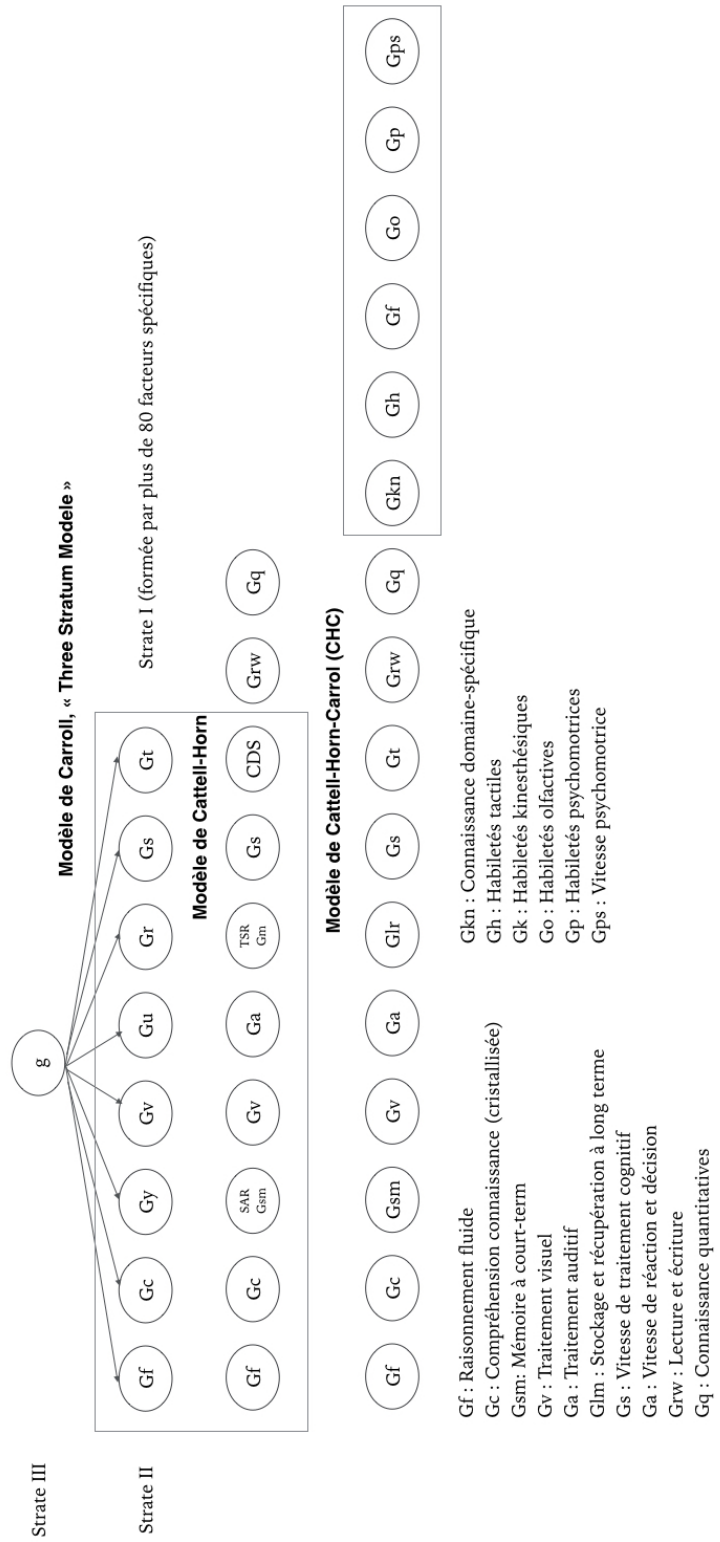


Fig. 1. Modèles de Carroll, Cattell-Horn et Cattell-Horn-Carroll (CHC) (Carroll, 1993; Cattell, 1963; McGrew, 1997)

Après avoir travaillé auprès de Cattell, Carroll développe ses propres travaux et analyse les matrices de corrélation de 461 études portant sur plus de 130,000 individus, ce qui lui permettra d'aboutir au « Three Stratum Model », (Carroll, 1993). La strate III équivaut au facteur g de Spearman. Au niveau de la Strate II se trouvent huit facteurs généraux qui sont eux-mêmes formés par 73 facteurs spécifiques (Strate I). Les facteurs généraux ici sont très semblables à ceux identifiés par Cattell et Horn. Compte tenu des nombreux éléments partagés par ces deux modèles, McGrew propose un modèle intégratif, dit modèle de Cattell-Horn-Carroll (CHC) (McGrew, 1997, 2009). Ce modèle (voir Figure 1) est composé du facteur général de Spearman (g), puis de dix facteurs généraux similaires à ceux présents dans le modèle de Carroll, ainsi que de six nouveaux facteurs. Au niveau inférieur de ce modèle se trouvent plus de 90 facteurs spécifiques, la plupart également issus du modèle de Carroll. Ces facteurs généraux peuvent être regroupés sous cinq aptitudes différentes, dont les aptitudes à caractère général qui comprennent le raisonnement fluide (Gf, similaire à l'intelligence fluide de Cattell), la mémoire à court terme (Gsm, capacité à encoder, maintenir et manipuler de l'information en conscience immédiate), et le stockage et la récupération à long terme (Glm, capacité à consolider et récupérer de l'information sur une période de temps pouvant aller de quelques minutes à plusieurs années). Les aptitudes liées à la vitesse regroupent la vitesse de traitement (Gs, capacité à effectuer une tâche cognitive simple et répétitive de manière rapide et efficace), la vitesse de réaction et de décision (Gt, vitesse nécessaire pour effectuer une simple prise de décision ou de jugement lorsque des items sont présentés un par un), et la vitesse psychomotrice (Gps, vitesse et fluidité avec lesquels des mouvements physiques du corps peuvent être effectués). Dans ce modèle, le système des connaissances acquises comprend le facteur Compréhension et Connaissances (Gc, qui s'apparente à l'intelligence

crystallisée de Cattell et qui réfère à l'ampleur et à la profondeur des connaissances et compétences qui sont valorisées par la culture), les connaissances domaine-spécifiques (Gkn, ampleur, profondeur et maîtrise de connaissances spécifiques), la lecture et l'écriture (Grw, ampleur, profondeur et maîtrise reliées à la capacité de lire et écrire) et les connaissances quantitatives (Gq, profondeur et ampleur des connaissances reliées au domaine des mathématiques). Les capacités sensorimotrices constituent une autre catégorie contenant le traitement visuel (Gv, capacité à se servir de l'imagerie mentale pour résoudre des problèmes), le traitement auditif (Ga, capacité à détecter et traiter de l'information non verbale contenue dans les sons), le traitement olfactif (Go, capacité à détecter et traiter de l'information olfactive) et les capacités tactiles (Gh, capacité à détecter et traiter de l'information tactile). Enfin, le domaine moteur regroupe les habiletés kinesthésiques (Gk, capacité à détecter et traiter des informations pertinentes à partir de sensations proprioceptives) et les capacités psychomotrices (Gp, capacité à effectuer des mouvements moteurs physiques avec précisions, coordination et force).

Ainsi, parmi tous ces facteurs généraux identifiés, l'intelligence fluide (Gf) et l'intelligence cristallisée (Gc, nommée ici Compréhension et Connaissances) qui étaient présentes dès le tout premier modèle de Cattell restent d'actualité. C'est pourquoi ils ont été plus largement étudiés, ayant fait l'objet de travaux depuis plus longtemps, notamment concernant leur prétendue stabilité.

2. Stabilité de l'intelligence ?

L'intelligence a longtemps été perçue comme innée et les scores d'intelligence étaient considérés comme stables à travers le temps, malgré les changements rencontrés par les individus dans leur environnement (Moffitt, et al., 1993). Plus spécifiquement, Gf et Gc sont considérés comme hautement héritable (Cattell, 1963). Une étude longitudinale a effectivement montré une forte corrélation entre les QI obtenus à 11 ans et 77 ans, mettant en évidence la constance de ces processus (Deary, Whalley, Lemmon, Crawford, & Starr, 2000). Une étude comparant des jumeaux monozygotes élevés séparément à des jumeaux monozygotes élevés ensemble a montré que 70% de la variance au niveau du quotient intellectuel (QI) était expliquée par les facteurs génétiques et non environnementaux (Bouchard, Lykken, McGue, Segal, & Tellegen, 1990). Toutefois, plus récemment, la comparaison de jumeaux élevés ensemble a montré que 60% de la variance du QI est expliquée par l'environnement dans les milieux défavorisés quand les aspects génétiques sont proches de zéro, alors que l'inverse est observé dans les milieux aisés (Turkheimer, Haley, Waldron, D'Onofrio, & Gottesman, 2003). Dans son ouvrage, Nisbett (2009) défend d'ailleurs l'idée que l'intelligence ne se limite pas à l'hérédité, mais qu'elle est très influencée par l'environnement social et scolaire, suggérant qu'elle peut être modifiée, et donc possiblement entraînée.

Dans cet ordre d'idées, des études cherchant à intervenir sur différents aspects de l'intelligence ont vu le jour dans les dernières décennies et leurs conclusions semblent encourageantes.

3. Remédiations cognitives portant sur le raisonnement

Comme l'intelligence a longtemps été considérée comme peu, voire non modifiable, les études cherchant à entraîner certains de ces aspects sont récentes et peinent à établir un consensus. Certains auteurs défendent que s'il est en effet possible de progresser suite à un entraînement cognitif, cette amélioration se limiterait uniquement à la tâche apprise et qu'il n'y aurait pas ou peu de transfert possible à d'autres tâches (Healy, Wohldmann, Sutton, & Bourne, 2006; Owen et al., 2010). Cette opinion semble néanmoins de moins en moins valide compte tenu des nouvelles découvertes.

3. a. Raisonnement fluide (Gf)

Le raisonnement fluide (Gf), défini comme la capacité à penser logiquement et à résoudre des problèmes dans des situations nouvelles, indépendamment des connaissances acquises, a fait l'objet de différents travaux cherchant à l'entraîner. Des études ayant pour but premier d'améliorer les capacités de mémoire de travail d'enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH) ont permis à plusieurs reprises d'observer un transfert sur Gf avec une amélioration à la tâche des matrices de Raven (Klingberg, et al., 2005; Klingberg, et al., 2002). Toutefois, ce transfert n'est pas systématiquement retrouvé (Dentz, Parent, Gauthier, Guay, & Romo, (sous presse). Jaeggi et al. (2011) ont par la suite montré une amélioration de Gf dans une population de jeunes adultes tout venant, suite à un entraînement de la mémoire de travail (MDT). Des résultats similaires ont été retrouvés pour des enfants d'âge scolaire (Tamm et al., 2010). D'ailleurs, une méta-analyse conduite sur vingt études portant sur l'entraînement de Gf par le biais de la MDT a montré un effet qui reste certes faible (en moyenne un gain de 3 à 4 points de QI), mais néanmoins significatif (Au, et

al., 2015). Les remédiations cognitives ciblant directement Gf se révèlent également concluantes. En effet, un programme d'entraînement ciblant directement le raisonnement fluide, administré chez des enfants de 4 ans à raison de 15 minutes par jour pendant 25 jours, a permis d'observer une amélioration de Gf (Bergman Nutley et al., 2011). C'était le cas également d'enfants d'âge préscolaire et scolaire issus de milieux socialement défavorisés (Bergman Nutley, et al., 2011; Mackey, Hill, Stone, & Bunge, 2011).

Si les études cherchant à améliorer le raisonnement fluide sont en pleine expansion ces dernières années, l'intelligence cristallisée n'a fait l'objet que de peu de travaux.

3. b. Intelligence cristallisée

L'intelligence cristallisée (Gc), définie comme la capacité d'un individu à utiliser ses compétences, ses connaissances et son expérience, a fait l'objet de rares recherches. Toutefois, quelques études semblent soutenir la possibilité de l'améliorer par l'entraînement. Les aspects langagiers, notamment la compréhension, sont étroitement liés à Gc (McGrew, 2009) et plusieurs études rapportent une amélioration de cette capacité suite à l'entraînement. En effet, la compréhension verbale peut être améliorée suite à une remédiation cognitive d'un an chez des enfants âgés de 2 à 5 ans présentant des troubles du langage (Keegstra, Post, & Goorhuis-Brouwer, 2009), ou à la suite d'un suivi de seulement quelques heures par une personne non spécialiste, mais ayant suivi une courte formation (Gallagher & Chiat, 2009). À notre connaissance, une seule étude a ciblé explicitement Gc par le biais indirect d'un entraînement de la MDT et s'est révélée concluante (Alloway, Bibile, & Lau, 2013). Si différentes interventions ont en effet ciblé des aspects relatifs à Gc, aucune n'a toutefois cherché à améliorer Gc de manière directe. Il serait pourtant pertinent de cibler cet aspect de

l'intelligence, puisque Gc est considérée comme l'un des meilleurs indicateurs des compétences académiques (Deary, Strand, Smith, & Fernandes, 2007).

Le présent projet a donc eu pour objectif de développer un programme de remédiation cognitive GAME (Gains et Apprentissages Multiples pour Enfants), portant à la fois sur Gf et Gc. Deux versants distincts ont été développés pour Gf et Gc, tout en adoptant une approche comparable au niveau de la méthode (nombre d'heures et leur répartition, support des jeux, intervenants). Les jeux utilisés sont issus du commerce et sont présentés sur différents supports (jeux de société, ordinateur, console de jeux)(Voir Annexe 1). GAME a été développé spécifiquement pour les individus présentant un FIL, compte tenu de la faiblesse que cette population présente au niveau de son fonctionnement global, et entre autres au niveau de Gf et Gc.

III. Intelligence limite

Tout comme la remédiation cognitive des fonctions intellectuelles, la population présentant un fonctionnement intellectuel limite (FIL) n'a fait l'objet que de peu d'études. Ceci est relativement surprenant compte tenu de sa forte incidence dans la population générale et les comorbidités qui y sont associées.

1. Définition et prévalence

Selon le DSM-5, l'intelligence limite est définie par un QI situé entre un et deux écarts types sous la moyenne, soit un QI moyen situé entre 70 et 84 (Alloway, 2010). Entre 12 et 18% de la population générale est concernée par ce niveau de fonctionnement global (Hassiotis, Tanzarella, Bebbington, & Cooper, 2011; Seltzer et al., 2005). Comme le faisait

déjà le DSM-IV, le DSM-5 ne classifie pas le FIL comme un trouble mental, mais comme un « code-V », c'est-à-dire, une condition qui peut nécessiter une attention clinique (American Psychiatric Association, 2000, 2013). En effet, le FIL n'est pas considéré comme un déficit, puisque le seuil de fonctionnement communément accepté pour cette appellation est à deux écarts types de la moyenne (Lussier & Flessas, 2009). Toutefois, l'intelligence limite n'a pas toujours été pensée comme telle, puisqu'avant 1973 elle était considérée comme un des niveaux de déficience intellectuelle, jusqu'à la révision des lignes directrices faite par l'Association Américaine sur le Retard Mental (Gottlieb, Alter, Gottlieb, & Wishner, 1994). Suite à ce changement, une importante hausse du nombre de diagnostics de troubles des apprentissages a été constatée et jusqu'à 40% de ces diagnostics correspondraient en réalité à un FIL (Gottlieb, et al., 1994; MacMillan, Gresham, & Bocian, 1998). Il est en effet souvent complexe de faire la distinction entre un FIL et d'autres pathologies, compte tenu de la fréquence et de la multitude de comorbidités associées à ce niveau de fonctionnement.

2. Intelligence limite et comorbidités

Concernant le profil cognitif des individus avec FIL, une atteinte spécifique de la MDT a été rapportée (Schuchardt, Gebhardt, & Maehler, 2010; Van der Molen, Van Luit, Jongmans, & Van der Molen, 2009). La prévalence du TDAH est également plus élevée chez ces individus puisqu'elle serait de 9 à 18%, contre 5% dans la population générale (American Psychiatric Association, 2013; Handen, Janosky, & McAuliffe, 1997). Par ailleurs, au niveau psychiatrique, la prévalence des troubles associés est plus élevée que dans la population générale, et ceci dès l'enfance (Emerson, Einfeld, & Stancliffe, 2010). À l'adolescence, cette population recevrait davantage de diagnostics psychiatriques et l'abus de substance et le risque

suicidaire seraient plus élevés que dans la population générale (Gigi et al., 2014; Hassiotis, et al., 2011). À l'âge adulte, les individus présentant des troubles mentaux associés à un FIL présenteraient davantage de troubles de la personnalité, d'abus de substance et seraient socialement désavantagés (Hassiotis et al., 2008; Stolker, Heerdink, Leufkens, Clerkx, & Nolen, 2001). Enfin, les individus présentant un FIL représentent 23% de la population carcérale et seraient donc surreprésentés dans ce milieu (Hayes, Shackell, Mottram, & Lancaster, 2007; Herrington, 2009). Ceci renforce l'idée que le FIL en association avec ses différentes comorbidités aurait de lourdes conséquences tout au long du développement.

IV. Problématique

Récemment, un groupe de professionnels travaillant à établir une définition consensuelle de ce qu'est le FIL a conclu qu'il devrait être considéré comme « une métacondition médicale qui requiert l'attention des agences de santé publique [...] et qui peut résulter de différents syndromes neurodéveloppementaux, de maladies et pathologies, et possiblement de variations extrêmes de la moyenne » (p.113, Salvador-Carulla et al., 2013). S'il ne fait donc plus de doute qu'il est nécessaire de s'intéresser davantage aux individus ayant un FIL, les études restent encore trop peu nombreuses (Ferrari, 2009).

D'un point de vue clinique, le fait que le FIL ne soit pas officiellement reconnu comme un déficit empêche souvent l'accès aux services d'aides nécessaires, par exemple en orthopédagogie (MacMillan, Gresham, Bocian, & Lambros, 1998). Du côté de la recherche, les travaux associent souvent FIL et déficience intellectuelle légère (DIL), ce qui ne permet pas une étude spécifique de cette population. De plus, la plupart des études auprès de cette

population s'intéressent aux manifestations comportementales et psychiatriques, dans le but réduire les conduites agressives (Taylor, Novaco, Gillmer, Robertson, & Thorne, 2005), les dépendances (Paxon, 1995) ou d'améliorer les compétences sociales (Paxon, 1995). Le domaine cognitif, pour sa part, aurait fait l'objet d'une seule étude qui portait sur la MDT. L'équipe de Van der Molen (2010) a observé une nette amélioration des capacités de MDT, en lien avec le déficit spécifique qu'elle reportait dans une étude précédente (Van der Molen, et al., 2009), suite à un programme d'entraînement cognitif informatisé. Toutefois, la difficulté centrale qui est au cœur même de la définition du FIL reste la faiblesse du potentiel intellectuel et notamment du raisonnement. Il n'est pas surprenant de constater qu'à ce jour aucune remédiation cognitive visant directement l'amélioration de l'intelligence chez les individus présentant un FIL n'existe, compte tenu de la grande stabilité longtems postulée des fonctions intellectuelles (Cattell, 1963; Deary, et al., 2000). Toutefois, il apparaît maintenant essentiel d'adapter les découvertes récentes sur la remédiation de certains aspects de l'intelligence auprès de cette population.

V. Objectifs de la thèse

Ce travail de thèse a eu pour objectif de développer un programme de remédiation cognitive visant le raisonnement intitulé GAME (Gains et Apprentissages Multiples pour Enfant), qui consiste en deux volets d'intervention distincts, bien que semblables dans leur conception. Le programme GAME-fluide (GAME-f) visait les aspects fluides du raisonnement alors que le programme GAME-cristallisé (GAME-c) ciblait le raisonnement cristallisé. Le nom GAME fait référence au support utilisé dans les programmes d'intervention, soit, des jeux de plateau, d'ordinateur et de Nintendo 3DS issus du commerce. Ces programmes ont été administrés à des adolescents avec un niveau intellectuel situé dans la zone limite (FIL), population particulièrement pertinente puisqu'elle présente une diminution de ses capacités de raisonnement, notamment au niveau de Gf et Gc.

Dans un premier temps (Chapitre 2), il apparaissait essentiel de faire le point sur la pertinence d'utiliser le jeu comme outil d'intervention. Pour cela, une revue systématique de la littérature portant sur l'utilisation du jeu comme outil de remédiation cognitive dans la population pédiatrique a été effectuée. L'objectif était d'évaluer d'une part la pertinence de cette approche, mais également de voir quelles en étaient les limites. Ce travail a permis d'éviter certains écueils méthodologiques et d'affiner le protocole du programme GAME.

Tel que mentionné précédemment, le FIL est très peu étudié, considérant sa prévalence et les multiples comorbidités qui l'accompagnent (Ferrari, 2009). L'état des connaissances actuelles réfère souvent à un échantillonnage hétérogène incluant des individus présentant une

DIL ou traite de chaque comorbidité séparément, par conséquent, leur profil reste encore méconnu. Pour remédier à ces lacunes, le Chapitre 3 documentera le fonctionnement d'un échantillon d'adolescents présentant une intelligence limite, en évaluant leurs profils cognitif, adaptatif, comportemental, psychiatrique et familial. Cette étude visait donc spécifiquement à :

- 1) Documenter le profil de forces et de faiblesses cognitives que présentent les adolescents ayant un FIL: conformément à la littérature, une faiblesse de la MDT était attendue (Van der Molen, et al., 2009), alors que l'étude des autres domaines cognitifs était plus exploratoire.
- 2) Évaluer le niveau de fonctionnement adaptatif et comprendre sa relation avec le potentiel intellectuel: il était attendu que le fonctionnement adaptatif soit situé dans la zone limite (70-85) et qu'il soit significativement corrélé, au QI global (Weschler, 2003).
- 3) Investiguer la présence des profils comportementaux et psychiatriques cliniques chez les adolescents ayant un FIL: davantage de manifestations psychiatriques et comportementales étaient attendues compte tenu de leur forte prévalence dans cette population (Gigi, et al., 2014; Hassiotis, et al., 2011; Henderson, Korner-Bitensky, & Levin, 2007).
- 4) Décrire les facteurs associés au stress vécu par les parents d'adolescents présentant un FIL: il était attendu que les parents d'adolescents présentant des manifestations comportementales auraient un niveau de stress plus important (Hassall, Rose, & McDonald, 2005).

La partie centrale de cette thèse concernait la création et le développement du programme de remédiation cognitive GAME qui portait à la fois sur Gf et Gc auprès d'adolescents présentant un FIL (Chapitre 3). Les objectifs de cette partie étaient :

- 1) Évaluer l'efficacité de chacun des versants du programme GAME (GAME-f portant sur l'intelligence fluide et GAME-c portant sur l'intelligence cristallisée) sur l'amélioration du raisonnement chez des adolescents présentant un FIL: il était attendu que les adolescents suivant GAME-f présenteraient une amélioration du raisonnement fluide après l'intervention, ce qui ne serait pas le cas de ceux ayant suivi GAME-c ou du groupe contrôle (GC) n'ayant pas suivi le programme GAME; alors que les adolescents ayant suivi GAME-c présenteraient une amélioration du raisonnement cristallisé après l'intervention, ce qui ne sera pas le cas de ceux ayant suivi la remédiation GAME-f ou du GC.
- 2) De façon plus exploratoire, l'effet de chacune des remédiations cognitives sur la MDT était étudié: de possibles transferts de Gf ou Gc sur la MDT pourraient être présents, puisque l'effet inverse a souvent été rapporté.

Enfin, dans un dernier chapitre (Chapitre 5), les variables qui sont susceptibles d'influencer l'amélioration de ces adolescents sur le plan du raisonnement ont été évaluées. Ce chapitre visait donc à :

- 1) Établir le lien entre les habiletés cognitives initiales sur chaque facteur d'intelligence testé (Gf et Gc) et la qualité de l'amélioration : il était attendu que celles-ci n'auraient pas d'impact sur l'amélioration.
- 2) Explorer l'association entre les habiletés attentionnelles et le niveau de récupération: il était attendu qu'une faiblesse des capacités attentionnelles entraînerait une moins bonne amélioration, peu importe le versant du programme (GAME-f et GAME-c).
- 3) Établir dans quelle mesure les profils comportementaux et psychiatriques des adolescents ayant un FIL prédisent l'importance de l'amélioration pour chaque versant du programme GAME : il était attendu que les comportements externalisés réduiraient plus que les problèmes internalisés, les améliorations et que celles-ci seraient inférieures chez les adolescents qui présentent des symptômes psychiatriques.

CHAPITRE 2: ARTICLE 1

The Use of Games in Paediatric Cognitive Intervention: A Systematic Review

Mathilde Neugnot-Cerioli^{1,2}, Charlotte Gagner^{1,2}, Miriam H. Beauchamp^{1,2}

¹ University of Montreal, Psychology Department, Montreal, QC, Canada.

² CHU Sainte-Justine Research Center, Montreal, QC, Canada.

Article publié dans International Journal of Physical Medecine and Rehabilitation, 25 juin
2015

Abstract

Objectives: Games that purport to stimulate cognition are increasingly used in intervention, leading to a need for comprehensive information regarding the putative benefits of game-based approaches for remediating cognitive functioning.

Methods: A systematic search of MEDLINE, ERIC, PsycInfo, CINAHL was conducted to document the methodology and outcome of game-based cognitive interventions, leading to 448 references. Titles and abstracts were initially screened with respect to inclusion and exclusion criteria and 396 studies were rejected. The 52 remaining articles were read in full and 14 were retained for review.

Results: Most studies found positive outcomes suggesting that using games is effective for improving language, attention, executive functions, reasoning, and face processing. Games and protocols varied greatly within and across domains.

Conclusion: While game-based cognitive intervention is a promising approach in paediatrics, lack of methodological precision can limit reproducibility and applicability. Recommendations for the design and reporting of game-based cognitive interventions are proposed.

Keywords: Rehabilitation; Recovery; Paediatric; Child; Games; Cognition

I. Introduction

Cognitive deficits are inherent consequences of a large number of developmental (ex: attention deficit hyperactivity disorder, language disorders, Tourette's syndrome), acquired (ex: traumatic brain injury, brain tumours, stroke), genetic (ex: neurofibromatosis) and psychiatric (ex: depression) disorders of childhood and adolescence [1-6]. Their impact on everyday functioning is typically addressed through cognitive intervention and rehabilitation programs offered in the context of research protocols evaluating their efficacy and validity, or by clinicians, such as neuropsychologists, speech therapists, and occupational therapists [7]. Cognitive intervention or rehabilitation can be defined as a method to treat or improve cognitive functioning including oral and written language, reasoning, attention and executive functions and perceptual processing. This can occur in one of two ways, either through compensation (i.e., using strategies to avoid using the impaired function), or by directly addressing the damaged function. Intervention can take the form of pharmacological treatment [8], stimulation of the biological substrates of cognitive functioning, for example using transcranial magnetic stimulation [9-11] or neuro feedback [12,13], or be performed through repeated exposure, practice and training of target skills, and dispensed either in group therapy [14] or individually [15]. Individually tailored approaches are often used in clinical settings and are known to produce improvements in cognitive functioning. However, little information is available in the scientific literature on the structure and standardization of such protocols.

Methodological approaches use both “paper-pencil” and computer exercises to stimulate cognitive functioning [16-18]. More recently, improvements in the technology and design of video games targeting ‘brain training’ [19-21] and their increased accessibility have

led a growing number of health practitioners to turn to game-based formats for the delivery of cognitive remediation programs in a variety of age groups, clinical populations and settings [22,23]. However some studies suggest that game trainings might not lead to real cognitive transfer [22] or improved cognitive functions [24]. The use of games carries numerous advantages. First, they are generally accessible, not only for health practitioners and scientists, but also for parents and educators. Second, their cost is relatively low, especially compared to biofeedback and psychophysical techniques requiring cutting-edge technology and advanced training. Third, they can be used in different settings (clinic, home, school) and can be practised in individual or group sessions. Fourth, they can be based on a variety of media depending on the desired level of interaction and exposure and the cost trade-offs, including traditional board games [25], storytelling approaches [26], computer games [23], console and handheld gaming devices [27], and virtual reality [28]. Lastly, and perhaps most significantly, games are popular among youth and may offer added appeal and engagement compared to classical therapeutic approaches, thus enhancing motivation during intervention in child and adolescent populations.

There is emerging evidence for the effectiveness of gaming approaches for the improvement of cognitive skills, such as processing speed and executive skills [20,23,29]. However, while this medium for intervention delivery shows promise, there is relatively little information available on the efficacy of game-based protocols and methodologies vary widely. Further, there is no consensual framework for the way in which game-based programs should be delivered and reported. The goal of this systematic review was therefore to document empirical studies using game-based cognitive interventions in children and adolescents, to

assess their methodology and study design [30] and to provide considerations for scientists and clinicians when using games to remediate cognitive functions.

II. Methods

1. Literature search

Studies providing information on cognitive interventions using games with a paediatric population were identified. To do so, databases of interest, i.e. PsycInfo, Medline, ERIC and CINAHL, were searched for English and French articles published between 1992 and 2014. Studies published prior to 1992 were not considered because of the rapid technological evolution in gaming since then. The literature review methodology was conducted in accordance with the Meta-Analysis of Observational Studies in Epidemiology (MOOSE) recommendations [31]. PsycInfo, ERIC and Medline were searched together using OVID, and CINAHL was searched separately. No contact was made with authors. Duplicates were then removed when found between the two separate searches (OVID and CINAHL). Bibliographies of articles respecting our inclusion and exclusion criteria were also reviewed and pertinent articles were added. Details on fields searched and keywords used to perform the systematic search are presented in Figure 1.

2. Article selection criteria

Articles that matched our keywords were then screened according to the following inclusion and exclusion criteria.

Inclusion criteria:

1. Human subjects
2. Paediatric population (at least a portion of the sample consists of children and adolescents between under 18 years)
3. Experimental studies (randomized control trials, case reports, empirical studies)
4. Intervention protocol uses games that were explicitly defined as such to remediate function (computer games, board games, story-telling and listening associated with games, games with virtual reality)
5. Intervention aims to improve complex cognitive functions (attention, memory, language, reading, reasoning, processing speed, working memory, executive functions, face processing)
6. Full abstract available, original article, peer reviewed, English- or French-language publication

Exclusion criteria:

1. Full abstract not available for review
2. Adult only population (2)
3. Did not use games in their methodology (7)
4. Interventions focusing on psychotherapy, motor functions, visuo-motor functions, health, academics, dietary or sexual education (31)
5. Language other than English or French

If the information provided in the title or abstract was not sufficient to determine whether the article met our criteria, the article was read in full (stage 2).

3. Data extraction

Articles were reviewed independently by two authors (M.N-C, C.G.) and all data were recorded in a priori designed summary table including the following information: authors, titles, year of publication, research setting, population, age, sample size, type of games used for intervention, measures used to assess the efficiency of intervention, experimental design, duration of the intervention, content of sessions, outcome, and main conclusions drawn by the authors.

4. Study quality assessment

The PEDro scale [30] was completed to assess the methodological quality of each of the 14 studies reviewed. The items in this scale were established by a panel of experts [30,32] and although the scale was not primarily designed for neuropsychological studies, it has previously been used successfully in such studies [33] and the criteria were deemed pertinent for the purpose of this review.

III. Results

1. Overview

Details of the search results are presented in Figure 1. The initial search retrieved a total of 448 articles from which 15 duplicates were removed. 433 titles and abstracts were screened for inclusion and exclusion criteria (stage 1), after which 381 were excluded. The remaining 52 articles were read in-full (stage 2) and 40 articles were subsequently removed because they did not meet the review criteria: 2 reported on adult participants, 7 did not use

game-based interventions and 31 reported on interventions that were not focused on complex cognitive processes. The 12 remaining articles were retained and two relevant articles were retrieved from a bibliography, for a final count of 14 articles for systematic review. The last search was conducted on September 14th, 2014.

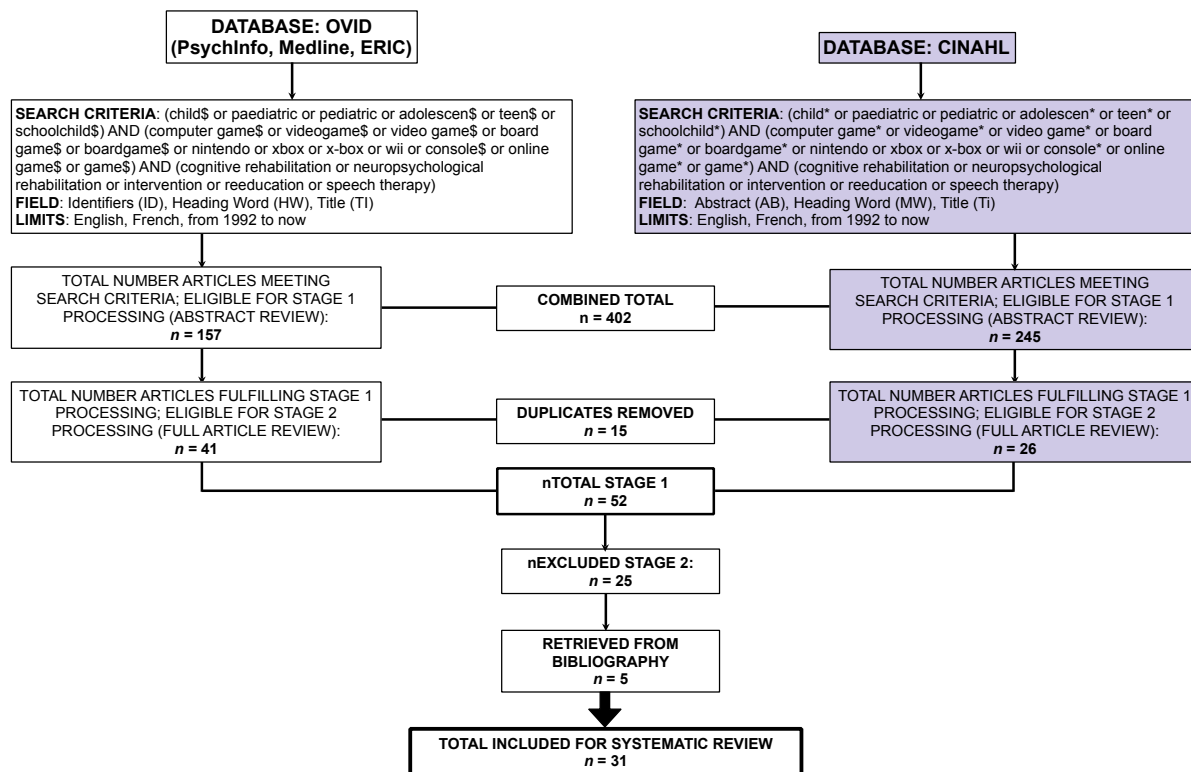


Fig. 1. Systematic review process and results

There was a large variation in the type of games used. Studies included computer games, board games, virtual reality-based games, Wii, story listening supplemented with computer games, and games requiring social interaction. Intervention duration ranged from 1 to 45 hours (M=15.60, SD=14.22) taking place over the course of 2 to 35 weeks (M=13.54, SD=10.56). Only five studies [34-38] included a follow-up evaluation and this ranged from 1 to 6 months post-intervention (M=3.01, SD=2.01)[34-38]. In the 14 studies retained for review, the age of the study participants varied substantially, ranging from 4 to 29 years. For

the purposes of this review, we chose to group studies according to the cognitive processes that were targeted in each intervention: oral language (4), written language (4), attention and executive functions (3), reasoning (2) and face processing (1). Improvements are reported for studies in which the results were found to be significant at the $p < .05$ level.

2. Methodological quality

The results of the PEDro scale are reported in Table 1. Most criteria included in the PEDro scale, were applicable to the studies reviewed. Only two items were not relevant to the studies reviewed here: “blinding of the therapist” (since therapists had to be active during the intervention) and “concealed allocation”, which did not apply to the studies reported here. In some cases, information was not available in the manuscripts to address some of the criteria and these were then scored as negative. In sum, 57.14% of the studies were scored as average, 35.71% were scored as above average (+1 to +2 standard deviations) and 7.14% were scored as below average (-1 to -2 standard deviations). One of the criteria that was not well respected pertained to the equivalence of groups at baseline (9 studies out of 14), though in five of those studies, this information was not specified, so it is possible that this refers to a reporting issue rather than a methodological one. Also, seven studies did not report that the assessors at post-test were blinded to the condition of attribution, though again this information was missing in four studies. Most studies used a variety of validated neuropsychological measures to assess functioning via pre- and post-test designs and used a control group allowing authors to take into account possible re-test effects. Of note, no study reported on statistical power, limiting the conclusions that can be drawn regarding the strength of the effects observed.

Of the four studies that intervened on oral language, Cohen et al. [39] and Segers et al. [36] used computer approaches to improve oral language and to help improve vocabulary, respectively. Munro et al. [26] used either card or board games to practise verbal concepts, while Schneiderman [40] used a picture-toy matching game. Participants were from diverse clinical groups, including those with specific language impairment [26,34], children with multiple cognitive disorders [36], and deaf children [39]. Munro et al. [26], Schneiderman et al. [39] and Segers et al. [36] had a moderate number of participants (n=17-20), while Cohen et al. [39] had a larger number of participants (n=77) [34], which could be due to the fact that they used a computer game intervention and therefore did not require as many human resources to conduct the remediation sessions. Munro et al. [26] and Schneiderman et al. [39] conducted interventions for one hour a week over six weeks. Cohen's intervention [34] also lasted six weeks, but was administered for 90 minutes every weekday by using a computer game. Segers et al.[36] intervention was shorter and lasted for one hour a week over a two week period [36]. All studies except Munro et al. [26] were randomized and controlled. All authors reported significant improvements as compared to baseline after the interventions, but, only Schneiderman et al. [39] and Segers et al. [36] showed better results for the experimental group compared to the control group. Finally, only Cohen et al. [34] and Segers et al. [36] included a longitudinal follow-up. Interestingly, the latter detected a positive outcome (better retention) in the experimental group one month after the end of the intervention, whereas no positive effects were found immediately after the intervention.

Table 1. Assessment of studies according to criteria of the PEDro Scale

	Schneiderman, 1995	Cohen, 2005	Seegers, 2006	Munro, 2008	Brennan, 1997	Seegers, 2005	Craig, 2006	Wren, 2008	Rezaiyan, 2007	De Kloet, 2012	Stano, 2012	Mackey, 2011	Passig, 2000	Tanaka, 2010
1. Eligibility criteria were specified	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
2. Subjects were randomly allocated to groups (in a crossover study, subjects were randomly allocated an order in which treatments were received)	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	?	+	+	+
3. Allocation was concealed	-	-	?	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Groups were similar at baseline regarding the most important prognostic indicators	?	+	+	-	-	?	-	+	+	-	?	?	?	+
5. There was blinding of all subjects	+	+	?	+	+	+	+	+	+	+	?	+	+	+
6. There was blinding of all therapists who administered the therapy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. There was blinding of all assessors who measured at least one key outcome	-	+	?	+	+	?	+	+	?	-	?	+	-	+
8. Measures of at least one key outcome were obtained from more than 85% of the subjects initially allocated to groups	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
9. All subjects for whom outcome measures were available received the treatment or control condition as allocated or, where this was not the case, data for at least one key outcome was analysed by "intention to treat"	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10. The results of between-group statistical comparisons are reported for at least one	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
11. The study provides both point measures and measures of variability for at least one key outcome	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
Total /11	5	8	6	5	4	3	6	8	7	4	4	7	5	8

Table 1. Assessment of study quality according to the PEDro Scale criteria

3. Oral Language

Of the four studies that intervened on oral language, Cohen et al. (2005) [39] and Segers, Nooijen & de Moor (2006)[36] used computer approaches to improve oral language and to help improve vocabulary, respectively. Munro, Lee & Baker [26] used either card or board games to practise verbal concepts, while Schneiderman [40] used a picture-toy matching game. Participants were from diverse clinical groups, including those with specific language impairment[26, 34], children with multiple cognitive disorders[36], and deaf children[39]. Munro et al. (2008)[26], Schneiderman et al. (1995)[39] and Segers et al. (2006)[36] had a moderate number of participants (n=17-20), while Cohen et al (2005)[39] had a larger number of participants (n=77)[34], which could be due to the fact that they used a computer game intervention and therefore did not require as many human resources to conduct the remediation sessions. Munro et al. [26] and Schneiderman et al[39] conducted interventions for one hour a week over six weeks. Cohen's intervention [34] also lasted six weeks, but was administered for 90 minutes every weekday by using a computer game. Segers et al.'s [36] intervention was shorter and lasted for one hour a week over a two week period [36]. All studies except Munro et al.[26] were randomized and controlled. All authors reported significant improvements as compared to baseline after the interventions, but, only Schneiderman et al.[39] and Segers et al.[36] showed better results for the experimental group compared to the control group. Finally, only Cohen et al.[34] and Segers et al.[36] included a longitudinal follow-up. Interestingly, the latter detected a positive outcome (better retention) in the experimental group one month after the end of the intervention, whereas no positive effects were found immediately after the intervention.

Study	Material	Participants	Age	Intervention	Study Design	Outcome Measure	Results	Follow up
Schneiderman, 1995	Picture toy matching game targeting sentences making	20 deaf or hard of hearing children	11-14	2-30 minutes sessions a week for 6 weeks, playing picture toy matching game or control group working with traditional vocabulary sheets	Randomized, control	Production of sentences depicting given image and rating of the correctness of their syntax	The intervention group wrote more syntactically correct sentences than the control group (92%CR against 27%)	No
Cohen, 2005	Computer games designed to rehabilitate language abilities	77 children with SLI (23 experimental group, 27 control computer group, 27 waitlist control)	m=7	90 minutes a day, 5 days a week for 6 weeks playing Fast For Word (FFW) computer game vs. Computer game control group, vs. Control group doing nothing	Randomized, control	Non-verbal IQ, CELF-3, TOLD-P:3, PhAB, Bus Story	All groups improved overtime, no effect of FFW game	6 months
Segers, 2006	Stories read by a computer then supplemented with games to help enhance vocabulary	18 children with multiple cognitive and physical disabilities with Performance IQ over 80 (9 experimental, 9 control)	4-7	3-20 minutes sessions over 2 weeks listening to stories read by a computer and playing games or listening to stories read by teacher (control group)	Randomized, control	The Active Vocabulary Task from the Dutch Language Test for children	Both groups improved but no difference was found better vocabulary consolidation since they had better retention on long term post-test, though not on immediate post-test	1 month
Munro, 2008	Oral narrative, storybook telling and drill-based game	17 kindergarten children with SLI	4-6	One session of one hour a week for 6 weeks	No control group for ethical and practical reasons	Token test for children, Hundred Picture naming test, Bus Story, Preschool and primary inventory of Phonological awareness, Beery- VMI	Children improved on clinical measures of phonological awareness, spoken vocabulary, and oral narration	No

Table 2. Information reported for all studies regarding oral language interventions

4. Written language

Segers et al.[37] and Wren et al.[38] used computer games to target phonological knowledge, Craig et al.[40] used rhyming and stories as a control condition for an interactive writing program, and Brennan et al.[41] used interactive activities such as rhyming, clapping and listening to sounds in a ludic context. Wren et al.[38] and Brennan et al.[38, 41] had moderate experimental group sizes (n = 11-12), while Segers et al.[37] and Craig et al.[40] had relatively large sample sizes (n = 42-43). All focused on children aged between 4 and 8 years old, since this is the age at which children start to learn phonological awareness and reading[42], except for Craig et al.[40] who failed to mention the age of the participant sample. Populations targeted were typically developing children[40, 41], children with specific language impairment[38], and immigrant children[37]. In Wren et al.'s study[38], children participated in the intervention program for 30 minutes a week for only eight weeks, which was considerably less exposure time than Segers et al.[37] and Brennan et al.[41] whose interventions lasted a full school-year, with weekly 15-minute sessions or daily 15-minute sessions, respectively. The intervention duration for the Craig et al. study[40] fell in between, with 16 weeks of four weekly 20-minute sessions. All studies found positive intervention effects, except Wren et al.[38] who did not find any. All studies used a control group and were randomized. Positive lasting intervention effects were found at follow-up for Segers et al.[37], but not in the study conducted by Wren et al.[38].

Study	Material	Participants	Age	Intervention	Study Design	Outcome measures	Results	Follow up
Brennan, 1997	Rhyming, clapping, listening to sounds games	38 children (12 experimental, 14 following the SKRW program and 12 control group)	4-6	15 to 20 minutes a day, every week for a whole school year for experimental group or success in school program while control group followed regular curriculum	Randomized, control	ITBS vocabulary, word reading (Schonell), tests developed by the researchers focusing on letter knowledge, word reading, metaphonological test, mathematics	Experimental group showed greater improvement than SKRW group than control group on reading and spelling measures	No
Segers, 2005	Computer games targeting phonological awareness	100 children (42 experimental group, 58 control group) both native and immigrant children	m=5;6	15 minutes session once a week for 35 weeks playing either experimental computer games or commercially available computer games (control group)	Randomized, control by native/immigrants	Tasks developed by Verhoeven (1987) testing rhyming, phonemic segmentation, auditory blending, decoding task	Immigrants in experimental group caught up on the native speakers for rhyming, experimental group improved on grapheme knowledge but not on auditory blending and phonemic segmentation	Yes
Craig, 2006	Rhyming games, story listening (control) or interactive writing process (experimental)	87 kindergarten children (43 experimental, 44 control)	Not specified	4 20 minutes sessions a week for 16 weeks, participating in the experimental group or playing Metalinguistic Games-Plus Program (control)	Partly randomized, control	Snider's (1997) Test of Phonemic Awareness, Hearing Sounds in Words (Clay, 1993), Developmental Spelling Test Woodcock Reading Mastery Test—Revised	Improvement in both groups for phonological awareness, spelling, pseudo-word reading but experimental group showed greater progress on measures of real word identification, passage comprehension and word reading development	No
Wren, 2008	Computer game or countertop therapy using games	33 children with SLI (11 experimental group, 11 countertop therapy, 11 control group)	4-8	30 minutes a week for 8 weeks for both computer and tabletop therapy or control group doing nothing	Randomized, control	GFTA tasks, Speech processing task, Attention Level Rating scale, Phoneme stimulability	No effect of intervention since improvements on phonological knowledge were equivalent in all 3 groups	Yes

Table 3. Information reported for all studies regarding written language interventions

5. Attention and executive functions

Of the three studies targeting attention and executive functioning abilities, Rezaiyan et al.[35] used computer games targeting visual attention skills, while de Kloet et al.[43] used commercially available Nintendo Wii games to train attention. Staiano et al.[44] used exergames to target executive functions by having adolescents train competitively. The sample sizes were similar in all studies and included a large number of participants (N = 50-60) who were between 6 and 29 years of age. Populations targeted were individuals with intellectual disability[35], acquired brain injury[43], and low-income African American adolescents[44]. Total program duration varied across studies from 10 x 30-minute sessions [44], to 35 x 20 to 30 minute sessions [35] and up to weekly 2-hour sessions for 12 weeks [43]. All studies included a control group except de Kloet et al.[51] who acknowledge this as a major limitation preventing clear ascertainment of positive outcome. Though all studies found beneficial outcomes after the intervention on several of the measures, Rezaiyan et al.[35] were the only group to include a follow-up, but did not find lasting effects.

Study	Material	Participants	Age	Intervention	Study Design	Outcome measures	Results	Follow up
Rezaian, 2007	35 sets of computer games targeting visual stimulus selective filtration	60 males with intellectual disability (50>IQ/70)	Not specified	Playing for 35 sessions of 20 to 30 minutes (experimental group) or doing nothing (control group)	Randomized, control	Attention Scale of Toulouse Pieron	Average attention scores were better in the experimental group compared to the control group right after the intervention, which was no longer the case 5 weeks after the intervention	Yes
De Kloet, 2012	3 Wii games that were chosen according to patients' objectives (different according to every patient)	50 patients with ABI	6-29	Playing on average 2 hours a week for 12 weeks	No control group	Amsterdamse Neuropsychologische Taken (ANT)	Improvements were made on processing speed for figure identification, shifting attention, visual motor coordination, inhibition, but not on accuracy, compared to baseline scores (since there was no control group)	No
Staiano, 2012	Nintendo Wii EA Sports Active exergames	54 obese, low-income African American adolescents	15-19	10 sessions of 30 minutes within a 10 week period during which participants played either competitive exergame or cooperative exergame or did not play (control group)	Randomized, control	Delis-Kaplan Executive Functions System (D-KEFS)	Adolescents who played the exergames competitively had greater improvement in executive skills compared to the cooperative exergame condition and control condition	No

Table 4. Information reported for all studies regarding written language interventions

6. Reasoning

Only two studies focused on reasoning abilities, Mackey et al. [45] used commercially-available board and computer games with 17 children from low socio-economic background, while Passig et al.[46] used a virtual reality version of the *Tetris* game in 2D and 3D with 44 deaf and hard-of-hearing children. All children were aged between 7 and 10 years old. Mackey et al.'s[55] intervention was more intensive with two hours of training a week for eight weeks, while Passig et al.'s[46] lasted over three months, but with only 15 minutes of intervention per week. Both studies were controlled and randomized and both found positive outcomes, though neither study included a follow-up assessment.

Study	Material	Participants	Age	Intervention	Study Design	Outcomes measures	Results	Follow up
Mackey, 2011	Board games and computer games	28 children from low socioeconomic backgrounds (17 for reasoning group and 11 for processing speed)	7 to 10	2 1 hour sessions a week for 8 weeks playing either games aiming at reasoning or processing speed	Randomized, control	TONI-4, Cross-out (Woodcock-Johnson), Coding (WISC-IV)	The intervention led to large improvements on standard cognitive tests of fluid reasoning or speed processing according to group	No
Passig, 2000	Virtual reality games in 2D or 3D	44 deaf and hard of hearing children and 16 controls with normal audition	8 to 10	Sessions of 15 minutes, once a week for 3 months playing either a 3D condition, 2D condition and control group doing nothing	Randomized, control	Structural Sequences of Cattell & Cattell	Deaf and hard of hearing were weaker than control group on pretest induction processes abilities. Deaf and hard of hearing participants playing 3D games performed as well as controls, while those playing 2D games did not	No

Table 5. Information reported for all studies regarding reasoning abilities interventions

7. Face processing

Tanaka et al. [47] were the only group that used computer games to remediate face recognition and processing abilities. 75 children, adolescents and young adults with autism took part in the study and were attributed to either the experimental group or a wait-list control group. The mean age and age group breakdown was not specified. The intervention lasted for an average of 20 hours over the course of 19 weeks. Positive outcomes were found after the intervention, but there was no follow-up.

Study	Material	Participants	Age	Intervention	Study Design	Outcome Measure	Results	Follow up
Tanaka, 2010	Computer games Let's face it! skills battery	75 children, adolescents and young adults with autism spectrum disorder (wait-list control group)	Not specified	20 hours over a period of 19 weeks playing computer games or doing nothing	Randomized , control	Let's Face It Skills Battery	Children in the experimental group demonstrated improvements in their analytic recognition of mouth features and holistic recognition of face based on the eyes	No

Table 6. Information reported for a study regarding face recognition intervention

IV. Discussion

This systematic literature review focused on identifying experimental studies that used game-based approaches to remediate cognitive processes including oral and written language, attention and executive function, reasoning, and face processing in children and adolescents. Using games in intervention settings allows for a large choice of tools and programs and the studies reported here show this diversity. The most common media were computer games (6) and games where children and adolescents were required to interact with adults (rhyming, clapping, imitating tasks performed by adults)(3). Few studies used board games (2), console/Wii games (2) or virtual reality (1), and surprisingly none used tablet interfaces, such as iPad. However, it is likely given the rapidly increasing accessibility and popularity of Wii, virtual reality and tablets that intervention studies will emerge using these interfaces in the coming years. The use of tablets and virtual reality has been shown to be effective in recent studies of adults with aphasia, adults with motor control deficits after stroke[28, 48, 49], and in children with autism, though not for cognitive intervention purposes[27]. An assessment of methodological quality using the PEDro Scale[30] showed that more than half of the studies demonstrated a moderate to high quality design with randomized control trial, blind attribution and blind post-testing. Of the 12 randomized controlled studies reviewed here, 10 reported significant effects after the intervention compared to control groups that did not use games. In summary, this review generally suggests that game-based approaches may be beneficial in the context of cognitive rehabilitation and for future research in pediatric populations. Although these results do not allow any conclusions to be drawn regarding the putative benefit of game-based interventions over more traditional non-game based paradigms, the findings do suggest that game-based approaches are beneficial in the context of cognitive rehabilitation and

research in paediatric populations. Future work could more specifically address the potential advantages or disadvantages of electronic and non-electronic games.

Despite overall positive findings, some methodological limitations were present in many of the studies. Regarding game choice, it is important to keep in mind the inherent advantages, shortcoming and confounds of some games in the context of cognitive intervention. For example, interactive games such as board games include social interaction and use of language among peers, and are thus more relevant and useful when assessing oral language skills[34, 39]. Computer games, on the other hand, appear to be efficient when addressing written language, attention and executive functions, reasoning and face processing abilities, since they are not as clearly bound to communication skills. Moreover, computer games do not necessitate as many qualified people to conduct interventions since one individual can often supervise several participants at a time[45]. Furthermore, computers (as well as tablets) are very accessible and can be used in clinical and academic facilities. They are also typically available in home environments where they can be used under parental supervision, allowing for greater parental involvement in child recovery, which may also diminishes costs and allow for shorter treatment waiting times. Conversely, it is important to keep in mind the limits of computer-based approaches, for instance in the context of the remediation of cognitive functions related to language, communication, social information processing, and adaptive skills, which inherently require social interaction[50].

The way games are presented also appears to play a role in outcome. Using games in a competitive way rather than a cooperative way allowed for improvements in executive functions in one of the study presented[44]. According to Staiano et al.[51], when playing competitively children need to apply perspective taking and mentalizing abilities to both

themselves and others in order to predict others' actions and maximize their chances of winning. Thus, it is important to keep in mind the way games are practised – and not only their content – can also influence cognitive domains stimulated.

Regarding the reporting of information in the methodology section, some information was often missing. First, details on the population were sometimes insufficient and future research should systematically report common information, such as age of participants, number of individuals in each group, inclusion and exclusion criteria, intellectual level prior to intervention, and, in the case of acquired brain injury, the average time since injury, as this is known to affect recuperation[52, 53]. The baseline level on outcome measures between groups should also be reported to assess for any differences before intervention since this could influence how each group (experimental vs. control) could benefit from intervention. Second, no studies reported on statistical power or multiple comparisons in relation to the number of variables tested and sample size, yet it is known that increasing the number of neuropsychological tests in an assessment battery increases the rate of false positive findings[54]. Finally, when reporting the intervention itself, procedural and methodological details were often missing from the manuscripts reviewed, despite the fact that such details constitute the core of information necessary for study reproducibility. The most common missing information was the number of individuals dispensing the intervention and their qualifications, the setting in which the intervention took place, the time of the day, and details pertaining to how the educators/facilitators intervened when children were stuck on a problem (strategy learning and use, feedback). This information is essential to reader comprehension and assessment of the feasibility of intervention programs. Brennan et al.[41] indicate that using a step-by-step approach ranging from easier tasks to more difficult ones with children

working in groups allowed for greater improvements than when their program was not as precise in its construction and intervention. The absence of specific program and protocol details hinders reproducibility of results and correct applications in clinical settings. Intervention research would benefit from greater specificity in this regard, so that future teams might better apply methodologies reported to be effective or attempt to change methodological aspects to improve previous results.

The duration of interventions and exposure varied substantially across studies, from two hours[36] to more than 40 hours[41] over the course of two weeks to an entire school year. Segers and colleagues[37] showed that the amount of time children spent playing correlated with their improvements, suggesting that this is an important factor. In most efficacious studies, interventions lasted for approximately two to three months and ranged from thirty minutes to two hours a week[26, 39, 43-46], though some were longer[47] and some shorter [36]. It also appeared from the studies reviewed here, that a weekly 2 months intervention may be sufficient for most cognitive processes, or at least for showing immediate effects, and this is confirmed by rehabilitation programs targeting more general cognitive functioning[56]. Their effectiveness suggests that there is a delicate balance between feasibility, time allotted to the intervention, and minimal time needed to have positive and lasting outcomes.

Most of the studies (12 out 14) had a control group but these varied in their composition. Some used a control group that did not receive any intervention, such as in Seger's research[37] where children in the control group played commercially available entertainment computer games instead of the targeted rehabilitation games used in the experimental group, while other control groups followed classical therapy[38] or were offered

the intervention at a later date (waitlist control groups)[47]. Using both a control group that does not receive any intervention, as well as one following classic therapy seems to be the strongest way of assessing intervention effectiveness. For instance, in Wren et al.'s study of individuals with specific language impairment[38], all groups improved (experimental group and control group doing occupational therapy) preventing them from concluding clearly whether their program was just as efficient as classical therapy, or whether positive outcomes were due to expected developmental improvements over time in this population. Establishing that their computer intervention was just as effective as classical therapy may have allowed clinical application of their program since its administration is less costly and demanding (children practised computer games on their own rather than individual sessions with a health professional). Some studies did not include a control group for ethical reasons and though their methodology was promising it did not allow for generalization of the results[26, 43]. It would be beneficial in future work to include follow-up evaluations to account for lasting effects of the intervention. Only 5 out of 14 studies reviewed here included a follow-up. In Seger et al.'s study[36], experimental and control groups showed similar results right after the intervention, while experimental groups had more positive outcomes at follow-up after one month due to better retention compared to the control group. Though follow-ups can help show improvements after intervention, they can also reveal the opposite effect: Rezeiyan et al. showed that positive outcomes were no longer present at the five week follow-up assessment[35], suggesting that longer term evaluation of the efficacy of intervention studies can also speak to the maintenance (or lack thereof) of cognitive gains. In sum, regardless of the quality of the intervention development and design, the absence of a control group or issues concerning the type of control best suited to the study can undermine research protocols

and may diminish the applicability of remediation programs. Including a follow-up strengthens the research design and allows clinicians and researchers to establish whether positive outcomes will last.

Based on this review, it appears that having multiple variables to assess efficiency is important to account for improvements. In most studies, greater positive effects were found for the experimental group on some variables tested but not on all the variables included. Of course, researchers must be wary to balance this with the problem of multiple comparisons, as the inclusion of too many variables weakens statistical power[55].

V. Conclusions

Fourteen studies game-based cognitive interventions were reviewed and their outcome and methodological quality was reported. Despite the presence of some methodological limitations, the overall findings of the review indicate that games are generally effective in improving oral and written language, attention and executive functioning, reasoning abilities and face processing, in pediatric populations. When reporting results, studies would benefit from referring to a common nomenclature so as not to forget reporting some information or as to optimize their paradigm. Clinical and research applications are likely to benefit from using these media in remediation settings given their versatility (board games, computer game, Wii, etc.), accessibility, relatively low cost, and flexibility in different settings (clinic, home, school). Perhaps most importantly, game-based tools have a high potential engaging and motivating children and adolescents. Suggestions regarding game choice, participants, duration, program/protocol design, and assessment measures may help improve the comparability and ease of interpretation in future game-based intervention research.

References

1. Chevignard, M., et al., *A comprehensive model of care for rehabilitation of children with acquired brain injuries*. Child Care Health and Development, 2010. **36**(1): p. 31-43.
2. American Psychiatric Association, *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. 5th ed. 2013, Washington, DC: American Psychiatric Association.
3. Anderson, V., et al., *Functional plasticity or vulnerability after early brain injury?* Pediatrics, 2005. **116**(6): p. 1374-82.
4. Frias, A., C. Palma, and N. Farriols, *Neurocognitive impairments among youth with pediatric bipolar disorder: a systematic review of neuropsychological research*. J Affect Disord, 2014. **166**: p. 297-306.
5. Gulati, S., S. Yoganathan, and B. Chakrabarty, *Epilepsy, Cognition and Behavior*. Indian J Pediatr, 2014.
6. Hyman, S.L., A. Shores, and K.N. North, *The nature and frequency of cognitive deficits in children with neurofibromatosis type 1*. Neurology, 2005. **65**(7): p. 1037-44.
7. Cicerone, K.D., et al., *Evidence-based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 2003 through 2008*. Arch Phys Med Rehabil, 2011. **92**(4): p. 519-30.
8. Mahalick, D.M., et al., *Psychopharmacologic treatment of acquired attention disorders in children with brain injury*. Pediatr Neurosurg, 1998. **29**(3): p. 121-6.
9. Martin, P.I., et al., *Language improvements after TMS plus modified CILT: Pilot, open-protocol study with two, chronic nonfluent aphasia cases*. Restor Neurol Neurosci, 2014. **32**(4): p. 483-505.
10. Miniussi, C. and P.M. Rossini, *Transcranial magnetic stimulation in cognitive rehabilitation*. Neuropsychol Rehabil, 2011. **21**(5): p. 579-601.
11. Shin, S.S., et al., *Neurostimulation for traumatic brain injury*. J Neurosurg, 2014: p. 1-13.
12. Arns, M., H. Heinrich, and U. Strehl, *Evaluation of neurofeedback in ADHD: the long and winding road*. Biol Psychol, 2014. **95**: p. 108-15.
13. Pineda, J.A., E.V. Friedrich, and K. LaMarca, *Neurorehabilitation of social dysfunctions: a model-based neurofeedback approach for low and high-functioning autism*. Front Neuroeng, 2014. **7**: p. 29.
14. Wiseman-Hakes, C., et al., *Peer group training of pragmatic skills in adolescents with acquired brain injury*. J Head Trauma Rehabil, 1998. **13**(6): p. 23-36.
15. Klingberg, T., H. Forsberg, and H. Westerberg, *Training of working memory in children with ADHD*. J Clin Exp Neuropsychol, 2002. **24**(6): p. 781-91.
16. Laatsch, L., et al., *An evidence-based review of cognitive and behavioral rehabilitation treatment studies in children with acquired brain injury*. J Head Trauma Rehabil, 2007. **22**(4): p. 248-56.
17. Tallal, P., *Fast ForWord(R): the birth of the neurocognitive training revolution*. Prog Brain Res, 2013. **207**: p. 175-207.
18. Cicerone, K.D., et al., *Evidence-based cognitive rehabilitation: recommendations for clinical practice*. Arch Phys Med Rehabil, 2000. **81**(12): p. 1596-615.
19. Nouchi, R., et al., *Brain training game improves executive functions and processing speed in the elderly: a randomized controlled trial*. PLoS One, 2012. **7**(1): p. e29676.

20. Nouchi, R., et al., *Brain training game boosts executive functions, working memory and processing speed in the young adults: a randomized controlled trial*. PLoS One, 2013. **8**(2): p. e55518.
21. Owen, A.M., et al., *Putting brain training to the test*. Nature, 2010. **465**(7299): p. 775-8.
22. Basak, C., et al., *Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults?* Psychol Aging, 2008. **23**(4): p. 765-77.
23. Feng, J., I. Spence, and J. Pratt, *Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition*. Psychol Sci, 2007. **18**(10): p. 850-5.
24. Powers, K.L., et al., *Effects of video-game play on information processing: a meta-analytic investigation*. Psychon Bull Rev, 2013. **20**(6): p. 1055-79.
25. Viggiano, A., et al., *Kaledo, a board game for nutrition education of children and adolescents at school: cluster randomized controlled trial of healthy lifestyle promotion*. Eur J Pediatr, 2014.
26. Munro, N., K. Lee, and E. Baker, *Building vocabulary knowledge and phonological awareness skills in children with specific language impairment through hybrid language intervention: a feasibility study*. Int J Lang Commun Disord, 2008. **43**(6): p. 662-82.
27. Murdock, L.C., J. Ganz, and J. Crittendon, *Use of an iPad play story to increase play dialogue of preschoolers with Autism Spectrum Disorders*. J Autism Dev Disord, 2013. **43**(9): p. 2174-89.
28. Henderson, A., N. Korner-Bitensky, and M. Levin, *Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery*. Top Stroke Rehabil, 2007. **14**(2): p. 52-61.
29. Dye, M.W., C.S. Green, and D. Bavelier, *Increasing Speed of Processing With Action Video Games*. Curr Dir Psychol Sci, 2009. **18**(6): p. 321-326.
30. Verhagen, A.P., et al., *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus*. . Journal of Clinical Epidemiology, 1998. **51**(12): p. 1235-41.
31. Stroup, D.F., et al., *Meta-analysis of observational studies in epidemiology: a proposal for reporting*. Meta-analysis Of Observational Studies in Epidemiology (MOOSE) group. JAMA, 2000. **283**(15): p. 2008-12.
32. Morton, N.A., *The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study*. Australian Journal of Physiotherapy, 2009. **55**(2): p. 129-133.
33. Perdices, M., et al., *The Evidence Base of Neuropsychological Rehabilitation in Acquired Brain Impairment (ABI): How Good is the Research?* Brain Impairment, 2006. **7**(2): p. 119-132.
34. Cohen, W., et al., *Effects of computer-based intervention through acoustically modified speech (Fast ForWord) in severe mixed receptive-expressive language impairment: Outcomes from a randomized controlled trial*. Journal of Speech Language and Hearing Research, 2005. **48**(3): p. 715-729.
35. Rezaiyan, A., E. Mohammadi, and P.A. Fallah, *Effect of computer game intervention on the attention capacity of mentally retarded children*. Int J Nurs Pract, 2007. **13**(5): p. 284-8.

36. Segers, E., M. Nooijen, and J. de Moor, *Computer vocabulary training in kindergarten children with special needs*. Int J Rehabil Res, 2006. **29**(4): p. 343-5.
37. Segers, E. and L. Verhoeven, *Long-term effects of computer training of phonological awareness in kindergarten*. Journal of Computer Assisted Learning, 2005. **21**(1): p. 17-27.
38. Wren, Y. and S. Roulstone, *A comparison between computer and tabletop delivery of phonology therapy*. Int J Speech Lang Pathol, 2008. **10**(5): p. 346-63.
39. Schneiderman, E., *The Effectiveness of an Interactive Instructional Context - Principles from the Parent-Child Interaction Literature*. American Annals of the Deaf, 1995. **140**(1): p. 8-15.
40. Craig, S.A., *The Effects of an Adapted Interactive Writing Intervention on Kindergarten Children's Phonological Awareness, Spelling, and Early Reading Development: A Contextualized Approach to Instruction*. Journal of Educational Psychology, 2006. **98**(4): p. 714-731.
41. Brennan, F. and J. Ireson, *Training phonological awareness: A study to evaluate the effects of a program of metalinguistic games in kindergarten*. Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 1997. **9**: p. 241-263.
42. Lussier, F. and J. Flessas, *Neuropsychologie de l'enfant - Troubles développementaux et de l'apprentissage*. 2nd ed. 2009, Paris: Dunod.
43. de Kloet, A.J., et al., *Gaming supports youth with acquired brain injury? A pilot study*. Brain Injury, 2012. **26**(7-8): p. 1021-9.
44. Staiano, A.E., A.A. Abraham, and S.L. Calvert, *Competitive versus cooperative exergame play for African American adolescents' executive function skills: short-term effects in a long-term training intervention*. Dev Psychol, 2012. **48**(2): p. 337-42.
45. Mackey, A.P., et al., *Differential effects of reasoning and speed training in children*. Dev Sci, 2011. **14**(3): p. 582-90.
46. Passig, D. and S. Eden, *Enhancing the Induction Skill of Deaf and Hard-of-Hearing Children with Virtual Reality Technology*. J Deaf Stud Deaf Educ, 2000. **5**(3): p. 277-85.
47. Tanaka, J.W., et al., *Using computerized games to teach face recognition skills to children with autism spectrum disorder: The Let's Face It! program*. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 2010. **51**(8): p. 944-952.
48. Hoover, E.L. and A. Carney, *Integrating the iPad into an intensive, comprehensive aphasia program*. Semin Speech Lang, 2014. **35**(1): p. 25-37.
49. Saposnik, G., et al., *iPad Technology for Home Rehabilitation after Stroke (iHOME): A proof-of-concept randomized trial*. Int J Stroke, 2014.
50. Botting, N. and C. Conti-Ramsden, *Social and behavioural difficulties in children with language impairment*. Child Language Teaching and Therapy, 2000. **16**(105-120).
51. Decety, J., et al., *The neural bases of cooperation and competition: an fMRI investigation*. Neuroimage, 2004. **23**(2): p. 744-51.
52. Anderson, V., et al., *Recovery of intellectual ability following traumatic brain injury in childhood: impact of injury severity and age at injury*. Pediatr Neurosurg, 2000. **32**(6): p. 282-90.
53. Donders, J. and S. Warschausky, *Neurobehavioral outcomes after early versus late childhood traumatic brain injury*. J Head Trauma Rehabil, 2007. **22**(5): p. 296-302.

54. Brooks, B.L. and G.L. Iverson, *Improving accuracy when identifying cognitive impairment in pediatric neuropsychological assessments*, in *Pediatric forensic neuropsychology*. 2012, Oxford University Press; New York, NY. p. 66-88.
55. Tabachnick, B.G. and L.S. Fidell, *Using multivariate statistics*. 5th ed. 2007, Boston, MA: Allyn & Bacon.
56. Slomine, B. and G. Locascio, *Cognitive rehabilitation for children with acquired brain injury*. *Dev Disabil Res Rev*, 2009. **15**(2): p. 133-43.

CHAPITRE 3: ARTICLE 2

Cognitive, adaptive, psychiatric and behavioral profiles of adolescents
with borderline intellectual functioning
and their relation to parental stress

Mathilde Neugnot-Cerioli^{1,2}, Charlotte Gagner^{1,2}, Miriam H. Beauchamp^{1,2}

¹ Department of Psychology, University of Montreal, Quebec, Canada;

² Ste-Justine University Hospital Research Center, Montreal, Quebec, Canada,

Article soumis à Journal of Intellectual Disability Research, le 16 octobre 2015

Abstract

Background: Borderline Intellectual Functioning (BIF) is highly prevalent in the general population, yet it has often been neglected in both clinical and scientific settings since it is not considered a disorder by common diagnostic nomenclatures. The aim of this study was to 1) identify the cognitive profiles associated with BIF in adolescence, 2) describe the adaptive functioning of adolescents with BIF, 3) document the presence of clinically significant psychiatric and behavioral problems in BIF, 4) explore the association between functioning in these domains and parental stress. **Method:** 29 adolescents presenting with borderline intellectual functioning ($70 < IQ < 85$) completed a battery of neuropsychological tests measuring global IQ, receptive vocabulary, attention, executive functions and reading skills, as well as self-report questionnaires assessing psychiatric symptoms. Parents completed questionnaires documenting their child's adaptive functioning and behavior, as well as parental stress level. **Conclusion:** Adolescents with BIF exhibit relative strengths in receptive vocabulary and attention. Adaptive functioning is within the borderline range, though it is significantly better than overall intellectual functioning. Adolescents with BIF have clinically significant behavioral and psychiatric symptoms, the presence of which predicts parental stress. These findings may be useful in guiding academic orientation, clinical, and family management of youth with BIF. They also underscore the importance of systematic and comprehensive examination of a range of domains of functioning to provide guidance for the identification of appropriate loci of intervention for both children with BIF and their parents.

Keywords: borderline intellectual functioning; cognition, behavior; psychiatric; parental stress.

I. Introduction

Borderline intellectual functioning (BIF) is defined by the American Psychological Association as an intelligence quotient (IQ) ranging between -1 and -2 standard deviations below average, that is, from 70 to 84 (American Psychiatric Association, 2013) and represents the level of functioning of 12 to 18 % of the general population (Hassiotis et al., 2001, Seltzer et al., 2005). Despite its relatively high prevalence, there is little empirical literature documenting the neuropsychological and behavioral profiles of individuals performing within this range on intellectual assessments. The limited information available pertaining to this population is further complicated by discrepancies in the taxonomy used to describe individuals functioning at this level. Studies variously use the terms ‘Borderline Intellectual Functioning’, ‘Sub-average Intellectual Functioning’, ‘Borderline Mental Retardation’, ‘Borderline Intellectual Capacity’ or ‘Borderline Learning Disability’ (Salvador-Carulla et al., 2013). Some use the term “Mild Intellectual Disability” in reference to individuals with mild intellectual disability (MID, IQ = 55-70) and BIF (IQ = 71-79) (Van der Molen et al., 2009), while others consider Mild Intellectual Disability to include only the former group (Henry and Gudjonsson, 2003). Finally, some studies do not report the exact level of intellectual functioning of their participants when using the term BIF (King et al., 1999).

Both the DSM-IV-TR and the current DSM-5 classify BIF as a “V-code”, that is, a code used to describe “other conditions that can be a focus of clinical attention”, but are not considered a mental disorder (American Psychiatric Association, 2000, American Psychiatric Association, 2013). Thus, BIF is not technically considered an impairment in the current medical classification (American Psychiatric Association, 2013, World Health Organization,

2004) and individuals with BIF, as opposed to those with MID, do not meet formal disability criterion to benefit from adaptive services (MacMillan et al., 1998).

1. Consequences of BIF and comorbidities

Despite not being considered a formal diagnosis by the DSM, BIF can be associated with a range of cognitive, behavioral, psychological and social consequences, which can result in lifelong academic and occupational difficulties. In the cognitive domain, individuals with BIF tend to have weaker working memory abilities and these appear to be specific, as they perform significantly below their global intellectual potential (Schuchardt et al., 2010, Van der Molen et al., 2009). Of note, working memory deficits have been shown to contribute to academic difficulties (Gathercole and Pickering, 2000, Jarvis and Gathercole, 2003, Alloway et al., 2009). Attention Deficit and Hyperactivity Disorder (ADHD) is overrepresented in BIF with a prevalence of 9 to 18%, while it is about 5% in the general population (American Psychiatric Association, 2013, Handen et al., 1997), suggesting that attentional problems are common.

IQ is directly linked to scholastic achievement (Dearya et al., 2007, Sternberg et al., 2001), so it is not surprising that students with BIF often face academic drawbacks such as poor performance in writing and mathematics, more frequent grade repetition, and have significantly lower marks in elementary and high school than their peers with average intellectual functioning (Karande et al., 2008, Fernell and Ek, 2010). Mainstream programs are often too difficult for individuals with BIF, and they are therefore typically oriented towards learning disability and special education programs, or towards schools for students presenting with MID (Fernell and Ek, 2010). Although children with BIF objectively perform better than

those with learning disabilities or MID (Gresham et al., 1996), they are perceived as comparable by teachers (Gresham et al., 1996). There is some evidence suggesting that when placed in the special education system, the curriculum is not adapted to the specific characteristics of children with BIF and that their success rate is not better than in the mainstream curriculum (Kaznowsky, 2004).

At the behavioral level, BIF has also been linked to increased risk of psychiatric disorders as early as six years of age (Emerson et al., 2010). Adolescents with BIF receive more psychiatric diagnoses, have more drug use problems and are more at risk for suicide attempts and self-harm than their peers scoring in the average IQ range (Gigi et al., 2014, Hassiotis et al., 2011). During childhood and adolescence, individuals with BIF are also reported to be at risk for conduct disorder, anxiety disorder and pervasive developmental disorders (Emerson, 2003). Aggressive behaviors, such as increased aggressive response generation and lack of impulse control have also been noted in this group (Van Nieuwenhuijzen et al., 2008). In adults, the prevalence of mental disorders in individuals with BIF is thought to be comparable to that of adults with average IQ; however, individuals presenting with mental disorders associated with BIF have more social disadvantages, personality disorders, and substance misuse (Hassiotis et al., 2008). Adults with BIF have increased polydrug pharmacotherapy use in association with disruptive behavior disorders (Stolker et al., 2001). Finally, they are over-represented in the prison population (23%) (Hayes et al., 2007, Herrington, 2009), suggesting that BIF can have serious and lifelong societal consequences.

In terms of family functioning, it has been shown that having a child with BIF can influence parenting style, often reducing the quality of parent-child interactions (Stormshak et

al., 2000). These authors showed that mothers of five year-old children with BIF show less positive engagement in their parenting style, which is subsequently associated with externalizing behavior problems in their child. Changes in parenting style are partly explained by the frustration parents experience in relation to their child's difficulties (Fenning et al., 2007). At six year of age, parents are reported to be more negative and controlling in their interactions, and children exhibit an increase in behavioral problems, suggesting a coercive circle resulting from influences of both BIF and parenting style (Fenning et al., 2014).

2. Current study

A group of health professionals working on a consensual definition for BIF propose that BIF should be defined as: a “health meta-condition that requires specific public health attention” (p.113, Salvador-Carulla et al., 2013), that can result from specific neurodevelopmental syndromes, disorders or diseases and possibly from extreme variations of normality. Though the empirical literature on this population is growing, studies dealing specifically with adolescents in the BIF range (and without MID) remain scarce (Ferrari, 2009). Most studies have concentrated on establishing profiles in specific domains, as reported above, and little comprehensive research exists. The goals of this study were to 1) Present cognitive profiles associated with BIF in adolescents including the following abilities: reasoning, processing speed, working memory, attention, executive functioning and reading. Considering past findings of strengths and weaknesses in specific areas of cognitive functioning (Handen et al., 1997, Van der Molen et al., 2009), performance in the above domains were considered relative to overall intellectual functioning; 2) Describe the adaptive functioning of adolescents presenting with BIF in relation to normative data, as well as

relative the intellectual functioning; 3) Document the presence of clinically significant behavioral and psychiatric symptoms in adolescents with BIF; and 4) Explore the cognitive, adaptive, behavioral, and psychiatric factors that could explain stress levels in parents of children with BIF. In relation to these objectives, we expected that 1) Working memory abilities would be poorer than overall cognitive functioning (Van der Molen et al., 2009); 2) Global levels of adaptive functioning would be within the borderline range and correlated with intellectual functioning. Correlations between IQ and adaptive functioning usually range from 0.16 to .60 (Weschler, 2003). 3) Adolescents with BIF would have clinically significant behavioral and psychiatric problems compared to normative rates (Gigi et al., 2014, Hassiotis et al., 2008, Henderson et al., 2007). 4) Behavioral difficulties reported for adolescents with BIF would place parents at a higher risk for elevated stress levels (Hassall et al., 2005).

II. Methods

1. Participants

Adolescents (n = 29, 21 males, mean age 13.89 years, SD = 1.03) were recruited in a special education school for adolescents with low cognitive functioning who do not meet intellectual disability diagnosis, but are not able to follow the regular academic curriculum. This school offers a specific curriculum adapted to adolescents with BIF, but does not qualify students for a final high school diploma. Inclusion criteria were 1) Age between 12 and 16 years, 2) Fluent in French 3) Full Scale IQ (FSIQ) between 70 and 85 or, either Verbal Comprehension Index (VCI) and Perceptual Reasoning Index (PRI) between 70 and 85, as

measured by the Weschler Intelligence Scale for Children 4th Edition (WISC-IV, Weschler, 2003). Adolescents with a history of acquired brain injury were excluded.

2. Procedure and Measures

Participants completed a comprehensive neuropsychological battery, aiming to document intellectual functioning, attention, working memory, processing speed, executive functions (verbal fluency and flexibility), and psychiatric symptoms. Assessments lasted approximately two and a half hours and were performed by Ph.D candidates in neuropsychology, under the supervision a certified neuropsychologist (see Table 1 for details).

Parents were also asked to complete questionnaires to assess their child's adaptive functioning and behavior, as well as their own perceived stress related to their child's difficulties (See Table 2 for details).

Cognitive Test	Description	Scores
WISC-IV	<p>This is the gold standard measure when assessing global intellectual functioning and is used here to establish whether adolescents presented with BIF and were eligible for inclusion.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Verbal Comprehension Index (VCI)</i>: measures verbal concept formation verbal abstraction and social comprehension abilities <i>Perceptual Reasoning Index (PRI)</i>: measures non-verbal and spatial reasoning skills <i>Working Memory Index (WMI)</i>: measures the ability to retain information and manipulate it over a short period of time <i>Processing Speed Index (PSI)</i>: measures the ability to process information as quickly as possible <i>Full Scale Intellectual Quotient (FSIQ)</i>: Global score comprised of those four indices 	M=100 SD=15
TEA-Ch	<p>Three subtests from this scale were used to document attentional skills in the following areas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Sky Search</i>: consists of finding a visual target among similar stimuli and measures visual attention <i>Score!</i>: consists of counting oral stimuli and measures auditory attention <i>Sky Search DT</i>: consists of accomplishing both previous tasks at the same time and measures divided attention 	M=10 SD=3
PPVT	<p>This test requires participants to point to a word or concept represented by one of four images and measures receptive vocabulary.</p>	M=100 SD=15
D-KEFS Verbal Fluency	<p>This test was used to assess the ability to generate words as quickly as possible.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Letter fluency</i>: according to a letter <i>Category fluency</i>: according to a category <i>Switching fluency</i>: by switching from one category to another 	M=10 SD=3
Alouette-R	<p>Consists of reading a text deprived of meaning and measures both <i>Speed</i> and <i>Precision</i> of reading abilities.</p>	<i>SD from the norm</i>
WNV	<p><i>Visual Span</i>: This test measures the ability to retain and manipulate visual information in the short term, participants have to repeat a sequence of moves forward or backward.</p>	M=50 SD=10
BSI	<p>This 53 item self-report questionnaire was used to identify the presence of clinically significant levels of psychiatric symptoms on:</p> <ul style="list-style-type: none"> Nine symptom scales: (<i>Somatization, Obsessive-Compulsive, Interpersonal Sensitivity, Depression, Anxiety, Hostility, Phobic Anxiety, Paranoid Ideation, Psychoticism</i>) Three global indices (<i>Global Severity Index, Positive Symptom Distress Index, Positive Symptom Total</i>) 	M=50 SD=10

Abbreviations and References: WISC-IV: Weschler Intelligence Scale for Children – Fourth Edition (Weschler, 2003); TEA-Ch: Test of Everyday Attention for Children (Manly et al., 1998); PPVT: Peabody Perceptive Vocabulary Test (Dunn and Dunn, 2007); D-KEFS: Delis-Kaplan Executive Function; Alouette-R (Delis et al., 2001); WNV: Weschler Non Verbal Test Visual Span (Lefavrais, 2005); BSI: Brief Symptom Inventory (Derogatis, 2001)

Table 1. Description of tests used to assess the cognitive functioning and psychiatric manifestations of adolescents with BIF

Questionnaire	Description	Scores
ABAS-II	<p>This 232 items questionnaire documents adaptive functioning, it measures skills required to characterize the degree of intellectual disability according to the DSM-V (American Psychiatric Association, 2013). It is composed of three main domains:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Conceptual</i>: measures mental ability to solve abstract problems efficiently and to use and understand symbolic processes, including language • <i>Social</i>: measures ability to understand and interact efficiently with social objects or events, using empathy, to be able to reach one's interpersonal objectives • <i>Practical</i>: measures ability to compose with physical and mechanical aspects of daily living activities, including taking care of oneself in domestic and socio-professional domains • <i>Global Adaptive Composite score (GAC)</i>: global score comprised of those three main domains 	M=100 SD=15
CPR-3	<p>This 110 items questionnaire documents behaviors related to attentional dimensions and disorders such as the following four which were used in the analyses:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>ADHD Inattentive</i> • <i>ADHD Hyperactive</i> • <i>Opposition Defiant Disorder (ADHD-ODD)</i> • <i>Conduct Disorder (ADHD-CD)</i> 	M=50 SD=10
CBCL	<p>This 113 items questionnaire assesses the presence of behaviors according to:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eight subscales: <i>Anxious/Depressed, Withdrawn/Depressed, Somatic Complaints, Social Problems, Thought Problems, Attention Problems, Rule-Breaking Behaviour, Aggressive Behaviour</i> • Three main scores: <i>Internalizing and Externalizing</i> behavior, and <i>CBCL-Total</i> 	M=50 SD=10
PGSTI	<p>This 36 items questionnaire measures level of parental stress in the following areas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Parental Distress (PGSTI-PD)</i>: Measures sense of parenting competence, stress associated with restrictions on his/her life, conflict with child's other parent, social support and depression • <i>Difficult Child Characteristics (PGSTI-DC)</i>: Measures how easy or difficult the parent perceives his/her child. • <i>Dysfunctional Parent-Child Interaction (PGSTI-DPCI)</i>: Measures the extent to which the parent believes that his/her child does not meet their expectations and their interactions are not satisfying. • <i>Total score (PGSTI-Total)</i>: Measures the stress the parent is experiencing in his/her role as a parent. 	Mean Score on a likert scale form 0 to 5

Abbreviations and References: ABAS-II: Adaptive Behavior Assessment System (Harrison and Oakland, 2003); CPRS-3: Conners' Parent Rating Scale (Conners, 2008); Child Behavior Checklist (Achenbach and Rescorla, 2000); PGSTI: Parenting Stress Index (Abidin, 1995)

Table 2. Description of questionnaires completed by parents of adolescents with BIF

3. Statistical Analyses

First, cognitive profiles of adolescents with BIF are described by characterizing the level of functioning of the participants compared to the general population using available published test norms for the following domains: Verbal and non-verbal reasoning (*VCI* and *PRI* from the *WISC-IV*), receptive vocabulary (*PPVT*), working memory (*WMI* from the *WISC-IV* and *Visual Span* from the *WNV*), processing speed (*PSI* from the *WISC-IV*), attention (*Sky Search*, *Score!*, *Sky Search DT*), executive functioning (*Verbal fluency* from the *D-KEFS*) and reading abilities (*Alouette-R*). T-tests were then performed to compare each cognitive score to overall intellectual functioning (*FSIQ*), in order to identify patterns of strengths and weaknesses within the neuropsychological profile. Second, the adaptive functioning profile of adolescents with BIF obtained using the *ABAS-II* is described in comparison to general population norms. T-tests and correlations were then performed between the four *ABAS-II* scores (*Social*, *Practical*, *Conceptual*, *GAC*) and the overall intellectual functioning (*FSIQ*) score to verify agreement between these indicators of global functioning. Third, the proportion of participants with clinically significant levels of behavior problems (*CPR-3*, *CBCL*) and psychiatric (*BSI*) symptoms (T-score>65) is reported. Fourth, because the *CPRS-3* consists of several scales with no composite outcome score, all four scores (*ADHD Inattentive*, *ADHD Hyperactive*, *ADHD-ODD*, and *ADHD-CD*) were correlated with the total *PGSTI* to determine the subscale that is the most associated with parental stress. Correlations were also calculated between the *PGSTI* and *CBCL*, *ABAS-II* and *BSI* total scores to establish whether cognitive, adaptive and behavioral factors are associated with parental stress. Multiple regressions were conducted to assess the proportion of variance in parental stress (*PGSTI*) explained by the following factors, but only if they correlated with *PGSI-Total* in the first place: cognitive

(*FSIQ*), adaptive (*GAC*), Psychiatric (*BSI-Total*), behavioral (*CBCL-Total* and the most correlated *CPRS-3* scale), and psychiatric factors (*BSI-Total*). Those variables that correlated with *PGSTI-Total* were entered as one block.

III. Results

1. Participants

The final sample consisted of 29 participants. The selection flow chart is described in Figure 1. As is typical of BIF (Ninivaggi, 2001), some of the participants had previously received other neuropsychological and psychiatric diagnoses as documented in Table 3.

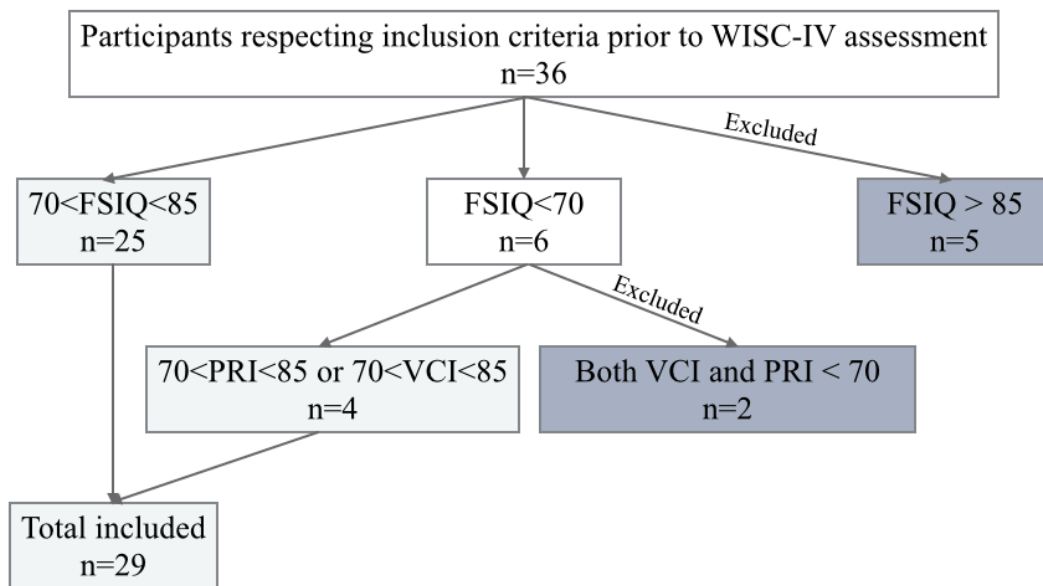


Fig. 1. Selection flow chart of participants

2. Cognitive functioning

Mean average of standardised scores for all tests appear in Table 4. VCI, PRI, WMI and PSI scores were all within borderline functioning. VCI and PRI were comparable as were

WMI and PSI. However, participants' PSI was significantly higher than both VCI and PRI (see Table 4).

Tests	M	SD	T-tests
Intellectual functioning (<i>WISC-IV</i>)			
• <i>Verbal Comprehension Index</i>	76.00	8.49	<i>n/a</i>
• <i>Perceptual Reasoning Index</i>	77.24	10.60	<i>n/a</i>
• <i>Processing Speed Index</i>	82.24	12.31	<i>n/a</i>
• <i>Working Memory Index</i>	79.97	15.10	<i>n/a</i>
• <i>Full Scale IQ</i>	74.28	5.90	<i>n/a</i>
Receptive vocabulary			
• <i>PPVT</i>	96.41	10.37	t(28)=11.19**
Attention (<i>TEAC-Ch</i>)			
• <i>Sky Search</i>	8.00	3.04	t(24)=5.82**
• <i>Score!</i>	6.64	4.13	t(24)=2.31*
• <i>Sky Search DR</i>	4.78	3.23	t(22)=.22
Executive Functions (<i>D-KEFS</i>)			
• <i>Letter Fluency</i>	5.75	1.46	t(27)=2.61*
• <i>Category Fluency</i>	6.39	2.60	t(27)=3.46*
• <i>Switching Fluency</i>	6.46	3.00	t(27)=4.87**
Working Memory			
• <i>Digit Span (<i>WISC-IV</i>)</i>	5.83	3.21	t(28)=1,76
• <i>Visual Span (<i>WNV</i>)</i>	7.10	2.61	t(28)=4.99**
Reading abilities (<i>Alouette-R</i>)			
<i>Reading speed</i>	-2.83	0.75	t(22)=2.04
<i>Reading precision</i>	-5.14	2.97	t(22)=1.02

* $p < .05$, ** $p < .001$

Abbreviations: *WISC-IV*: *Weschler Intelligence for Children, 4th Edition*; *PPVT*: *Peabody Perceptive Vocabulary Test*; *TEA-CH*: *Test of Everyday Attention for children*; *D-KEFS*: *Delis-Kaplan Executive Functions System*; *WNV*: *Weschler Non Verbal Test Visual Span*.

Table 4. Average score and standard deviation obtained on cognitive tests and results of t-tests performed comparing each variable with FSIQ

Vocabulary: Receptive vocabulary (PPVT) was within the average range and was significantly higher than FSIQ.

Attention and executive functioning: 92 % of participants in this sample reported using a medication for ADHD, which is important to take into account since it is known to improve performance in attention tests (Konrad et al., 2004). Visual Attention (*Sky Search*) and auditory attention (*Score!*) were significantly higher than *FSIQ*. However, divided attention was comparable to *FSIQ* (*Sky search DT*). Spatial working memory (*Visual Span*) was significantly higher than auditory working memory (*Digit Span*; $t(28)=2.30$, $p=.03$) and was also higher than *FSIQ*. In the executive domain, verbal fluency was higher than *FSIQ* for letter fluency, category fluency and switching fluency.

Reading abilities: *Speed* and *Precision* scores for the Alouette-R were equivalent ($t(22)=.10$, $p=.92$). Compared to *FSIQ*, both *Reading Speed* and *Precision* was comparable.

3. Adaptive functioning

The *GAC* ($M=81.57$, $S.D.=17.45$) and *Practical* domain score ($M=79.43$, $S.D.=20.35$) were within borderline functioning, while *Conceptual* ($M=86.17$, $S.D.=16.48$) and *Social* domains ($M=89.79$, $S.D.=14.80$) were in the low average range. *Conceptual* ($t(23)=3.19$, $p=.01$) and *Social* ($t(23)=5.04$, $p<.001$) domains were significantly higher than *FSIQ*, while

Practical adaptive functioning was equivalent ($t(22)=1.34$, $p=.20$). Neither the ABAS-II summary domain scores, nor the *GAC* correlated with *FSIQ* (all $ps>.10$).

4. Behavior and psychiatric symptoms

On the *BSI*, 3.45% of adolescents with BIF reported clinical levels of *Somatization* and *Interpersonal Sensitivity*, 6.90% reported *Anxiety*, *Hostility* and *Paranoid Ideation*, 13.80% reported *Obsessive-compulsive* behavior, *Depression*, *Phobia* and *Psychoticism*.

On the *CPRS-3*, 54.17% of adolescents obtained clinical scores on the *ADHD Inattentive* Scale, 45.83% for *ADHD Hyperactivity*, 20.83% for *Conduct Disorder* and 30.33% for *Oppositional Defiant Disorder (ODD)*.

On the CBCL, the percentage of adolescents for whom parents responded to questionnaires with clinical scores on each scales are as follow: 47.83% of the sample showed clinical levels of *Attention Problems*, 43.48% *Anxiety/Depression*, 8.70% *Depression/Withdrawal*, 13.04% *Somatisation*, 30.43% *Socialization*, 4.34% *Delinquent Behavior*, 26.08% *Thought Problems* and 8.70% *Behavior Problems*. Overall, 39.13% obtained clinical levels of *Externalizing* behavior problems and 56.52% had clinically significant *Internalizing* behavior problems.

5. Parental stress level

FSIQ did not correlate with any of the *PGSTI* scale's factors, nor did the *BSI-Total*. The ABAS-II *GAC* score correlated negatively and moderately with *PGSTI-PD*, *PGSTI-DPCI*, and *PGSTI-Total* (See Table 5). Both CBCL *Internalizing* and *Externalizing* scales correlated positively and moderately to strongly with all *PGSTI* scale factors. On the *CPRS-3*, *ADHD*

Inattentive, ADHD Hyperactive and *ADHD-ODD* correlated positively and moderately to strongly with all PGSTI scale factors.

	PGSTI – DC	PGSTI – PD	PGSTI – DPCI	PGSTI – T
FSIQ	.21	.12	-.16	.08
GAC – ABAS-II	-.44*	-.51*	-.58*	-.58*
CBCL – Internalizing	.62*	.59*	.60*	.69**
CBCL – Externalizing	.48*	.56*	.72**	.67**
CPRS-3 – ADHD-Inattentive	.60*	.55*	.61*	.67**
CPRS-3 – ADHD-Hyperactive	.49*	.47*	.56*	.57*
CPRS-3 – ADHD-CD	.03	.22	.31	.18
CPRS-3 – ADHD-ODD	.69**	.54*	.73**	.72*
BSI-Total	.23	.22	.29	.28

*Abbreviations: PGSTI: Parenting Stress Index; PGSTI-DC: Difficult Child, PGSTI-PD: Parental Distress, PGSTI-DPCI: Dysfunctional Parent Child; PGSTI-T: Total Score; Interaction; FSIQ: Full Scale Intellectual Quotient; GAC: General Adaptive Composite; ABAS-II: Adaptive Behavior System, Second Edition; CBCL: Child Behavior CheckList; CPRS-3: Conners Parent Rating Scale, Third Edition; CD: Conduct Disorder; ODD: Oppositional Defiant Disorder; BSI-Total: Brief Symptom Inventory Total score. *p<.05, **p<.001.*

Table 5. Correlations performed between the PGSTI scales and adaptive, behavioral and psychiatric factors

A regression was performed to predict *PGSTI-Total*, according to *CBCL Total*, the *ABAS-II GAC* and *ADHD-ODD* (since it was the most strongly correlated of the CPRS-3 indices with *PGSTI-Total*), but not the *BSI-Total* or *FSIQ* since they were not correlated with *PGSTI-Total*. Behavioral manifestations (*ADHD-ODD, CBCL-Total*) significantly explained 74.5% of parental stress levels ($F(3,17)=16.51, p<.001$). Parents *PGSTI-Total* score was equal to $-.33 + .02 \text{ ADHD-ODD} + .03 \text{ CBCL-Total}$ points. *PGSTI-Total* scores increased by .41 unit

points when *ADHD-ODD* increased by 1 unit point and .43 unit point *CBCL-Total* increased by 1 unit point ($p < .03$).

IV. Discussion

The overall aim of this study was to identify cognitive profiles associated with BIF and neuropsychological strengths and weaknesses, to report on adaptive functioning in this population, document the presence of clinically significant psychiatric and behavioral symptoms, and explore how these factors are associated with parental stress.

All four indices of intellectual functioning, assessing verbal and non-verbal reasoning abilities and working memory were within borderline functioning. However, while verbal and non-verbal reasoning abilities were equivalent, adolescents showed a strength in processing speed relative to reasoning abilities (0.5 standard deviations above FSIQ). A strength was also identified for receptive vocabulary, which was significantly better than overall cognitive potential and was within the average range, suggesting that receptive vocabulary is well preserved in BIF. This is in agreement with findings in individuals with intellectual disability, whose receptive vocabulary is better preserved than IQ and is better predicted by chronological age (Facon and Facon-Bollengier, 1997). Chapman (1998) suggests this could be explained by the greater diversity of educational experiences that comes with increasing chronological age. In terms of attentional abilities, visual attention was within average functioning and auditory attention was within the borderline range, and both appeared to be significantly higher than global intellectual functioning. Divided attention was within borderline functioning and equivalent to overall intellectual functioning. However, it is important to consider that almost all of the participants (92%) were taking stimulant

medication for attention, which could logically explain why visual and auditory attention skills appeared to be better preserved. This is consistent with reports that psychostimulant medication, such as methylphenidate, potentiates selective but not divided attention (PSI, Abidin, 1995, Konrad et al., 2004).

Spatial working memory was a specific strength and was within the range of average functioning, as opposed to verbal working memory, which remained in the borderline range. Van der Molen et al. (2009) reported weaker working memory abilities, especially in the verbal modality, though their sample included both individuals with BIF and MID. A study comparing the working memory of individuals with MID and BIF showed that working memory abilities are significantly associated with overall intellectual functioning, that is, working memory is weaker for individuals with MID than those with BIF (Schuchardt, et al., 2010). However, in the study by Schuchardt and colleagues, there were specific deficits in verbal working memory reported in BIF when individuals could not use the phonological loop, but these deficits disappeared when they could rely on it. The task used in the current study allowed adolescents to access the phonological loop while completing the task, which may explain why a specific verbal working memory deficit was not identified here. Strengths regarding spatial working memory could partly be attributed to medication, since it has been shown that psychostimulant medication improves spatial, but not verbal working memory (Holmes et al., 2010). These results suggest that psychostimulant medication may be beneficial in this population in improving some aspects of attention and working memory, though a study specifically comparing the attentional skills of BIF youth with and without medication is necessary to confirm this idea. All conditions on the verbal fluency task were within borderline functioning, though they were significantly better than overall intellectual

functioning. Research in MID indicates that verbal fluency usually matches mental age rather than chronological age (Danielsson, Henry, Messer, & Ronnberg, 2012), which is compatible with the results found here in BIF. Finally, both reading precision and speed were comparable to overall intellectual functioning.

Adaptive functioning was, as expected, within the borderline range ($70 < GAC < 85$). However, global adaptive functioning was significantly higher than IQ, suggesting that adolescents with BIF present significantly better adaptive than intellectual functioning. There was a discrepancy between the three main ABAS-II domains, with the conceptual (language, reading, writing, math and reasoning) and social domains (empathy, social judgement, interpersonal communication skills and capacity to make and retain friendship) consisting of relative strengths (low average), while the Practical domain (self-management, recreation, organizing school and work tasks) was within borderline functioning. Importantly, adaptive functioning did not correlate with intellectual functioning, contrary to empirical and theoretical predictions (American Psychiatric Association, 2013, Weschler, 2003). This underscores the importance of using standardized adaptive functioning assessment in BIF along with IQ tests, since all domains are not equivalent and do not correlate with general intellectual functioning. The results further suggest that clinicians should not rely solely on IQ scores in the BIF population to extrapolate conclusions regarding their functioning in everyday life, as there may be significant discrepancies between both sets of skills. In their study, Ditterline and colleagues (2008) insisted on the importance of carrying out an evaluation of adaptive functioning in individuals with disabilities since, depending on their profile, some difficulties in specific domains and skills were deemed more important to address than others.

The prevalence of behavioral disorders, such as ADHD (including both inattentive and hyperactive subtypes), Oppositional Defiant Disorder (ODD) and Conduct Disorder (CD), in this group of adolescents with BIF was much higher than in the general adolescent population. Indeed, half of the sample had behavioral problems associated with ADHD against 3-4% in typically developing adolescents. 30.33% reported ODD and 20.83% CD, against 3-11% and 2-9% respectively in the general adolescent population (Costello et al., 2003, Ford et al., 2003, Merikangas et al., 2010). In terms of psychiatric manifestations, anxiety symptoms reported by both parents and adolescents (8% and 6.9%) were comparable to the range found in typical development (3-30% depending on studies) (Costello et al., 2003, Ford et al., 2003). However, symptoms of depression were more frequent than general population estimates (2-3%) according to parents' and adolescents' responses (13.04% and 13.08%). Obsessive-compulsive behaviors reported by adolescents (13.80%) were higher than what is usually expected (1%). Phobia (13.80%) was within the range of what is reported in the adolescent population (2-30%) (Costello et al., 2003, Ford et al., 2003). Overall, these findings suggest a higher incidence of both psychiatric and behavioral disorders in adolescents presenting with BIF (particularly attention, depression, and OCD), as highlighted by some previous studies (Gigi et al., 2014, Hassiotis et al., 2008, Henderson et al., 2007). The findings suggest that clinicians should screen adolescents with BIF for psychiatric and behavioral disorders, so as to refer them to appropriate psychological or psychiatric services when needed. Adequate assessment, follow-up and management of behavioral and psychiatric problems is crucially important considering that individuals with BIF have a higher risk of suicide attempt (Gigi et al., 2014, Hassiotis et al., 2008).

Interestingly, parental stress levels were not associated with their child's level of intellectual functioning. This lack of association has previously been reported in families of children with intellectual disability (Baker et al., 2002). This lack of association may be related to the somewhat homogeneous range of IQ in the Baker et al. and current studies, and it is probable that studying the relationship between IQ and parental stress in the full range of the IQ spectrum would reveal a link between poorer IQ and parental stress. Logically, higher levels of both internalizing and externalizing behaviors, as well as ADHD manifestations such as inattention, hyperactivity and ODD, were all associated with higher levels of global parental stress, and parents perceived their children as being more difficult, showing more distress and considered their relationship with their child as more dysfunctional. Similar associations were reported by Baker and colleagues (2002), who also found that difficult behaviors, predicted parental stress in children with intellectual disability, and suggesting that the link between child behavior and parental stress may be just as critical to consider in BIF.

Somewhat surprisingly, parental stress was positively associated with adaptive functioning, that is, parents of children with better adaptive functioning reported higher parental distress, worse parent-child interactions, and perceived their children as being more difficult. While this may seem contradictory, better adaptive functioning could reflect a higher level of autonomy in adolescents, who could tend to engage more independently in social activities, while their IQ and judgement abilities remain lower than their peers. This could potentially cause their parents to perceive them as more difficult and distance them more from one another, in turn causing parents to feel that their interactions with their child is less functional. Conversely, adolescents with less developed adaptive functioning may depend more on their parents, thus drawing them into a closer relationship and removing them from

daily dangers associated with more independent functioning. Despite its correlation with parental stress, adaptive functioning was not a significant predictor of parental stress. This lack of predictive relation could be due to associations with other contributing factors. As such, internalizing and externalizing behaviors, as well as ODD manifestations explained a large part of the variance in parents' stress levels suggesting that better adaptive functioning could indeed allow more autonomy and cause more oppositional, internalizing and externalizing behaviors.

Strengths and limitations

This study provides a comprehensive picture of cognitive, adaptive, psychiatric and behavioral profiles in adolescents presenting with BIF, and identifies which aspects of their child's functioning contributes to parental stress. Some limitations need to be considered in interpreting these findings. First, the sample size for this study was relatively small, which reduced the power of the statistical analyses performed. However, the sample size reported here is commensurate with previous experimental work in this area (Van der Molen et al., 2009)}(Schuchardt et al., 2010), and larger clinical groups have only been possible when drawn from retrospective studies of populational data sets (Hassiotis et al., 2008, Emerson, 2003, Schuchardt et al., 2010). Second, adolescents presented with many different comorbidities. However, this diversity of deficits is inherent to the BIF population, and representative of its very definition as a "meta-condition" (Salvador-Carulla et al., 2013). Third, the questionnaires used in this study are designed to identify clinical levels of behavioral and psychiatric manifestations and symptoms, but do not represent diagnostic tools.

The advantage of using these measures is that they help to identify a full range of potential problems that may affect daily functioning. It is also interesting to note that most of the parental reports did reach clinical levels in a much higher proportion than the normative population. Finally, the study examined how adolescents' functional characteristics predicted parental stress, but not the attitudes of parents and how these may in return influence adolescents' behaviors. Future work could seek to establish whether a relation exists between parental attitudes and styles and adolescents' behavior in BIF, as it has been documented in intellectual disability (Hastings, 2002).

V. Conclusion

The present study identified strengths and weaknesses regarding the cognitive profiles of adolescents presenting with BIF. Overall, receptive vocabulary and processing speed were better than global intellectual functioning. Also, attention and visual working memory were slightly better than global IQ, while this was not the case for divided attention and verbal working memory, suggesting that medication for attention might be beneficial in this population. The findings also suggest that it is imperative to assess adaptive skills in youth with BIF, since discrepancies in abilities exist among various adaptive domains, the identification of which could help provide intervention and support goals tailored to the individual. The high rates of behavioral and psychiatric manifestations identified in this study are concerning and suggest that clinicians and educators working with this population should be attuned to the possible presence of such problems, that they should be screened for, and that individuals with BIF should be oriented towards appropriate psychological, psychiatric or psycho-educational follow-up as needed. Finally, the associations identified between child

behavior and parental stress are important to take into account in the more general functioning of families of children with BIF, and suggest that parent respite may be needed, as well as familial support, for example from psychologists or social workers.

References

- Abidin, R. A. 1995. *Parenting Stress Index, Third Edition: Professional Manual*, Odessa, FL (USA), Psychological Assessment Resources, Inc.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H. & Elliott, J. 2009. The cognitive and behavioral characteristics of children with low working memory. *Child Dev*, 80, 606-21.
- American Psychiatric Association 2000. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* Washington, DC, American Psychiatric Association.
- American Psychiatric Association 2013. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, Washington, DC, American Psychiatric Association.
- Baker, B. L., Blacher, J., Crnic, K. A. & Edelbrock, C. 2002. Behavior problems and parenting stress in families of three-year-old children with and without developmental delays. *Am J Ment Retard*, 107, 433-44.
- Chapman, R. S. 1998. Language development in children and adolescents with Down syndrome. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 3, 307-312.
- Costello, E. J., Mustillo, S., Erkanli, A., Keeler, G. & Angold, A. 2003. Prevalence and development of psychiatric disorders in childhood and adolescence. *Arch Gen Psychiatry*, 60, 837-44.
- Danielsson, H., Henry, L., Messer, D. & Ronnberg, J. 2012. Strengths and weaknesses in executive functioning in children with intellectual disability. *Res Dev Disabil*, 33, 600-7.
- Dearya, I. J., Strandb, S., Smithc, P. & Fernandesc, C. 2007. Intelligence and educational achievement. *Intelligence*, 35, 13-21.

- Ditterline, J., Banner, D., Oakland, T. & Becton, D. 2008. Adaptive Behavior Profiles of Students with Disabilities. *Journal of Applied School Psychology*, 24, 191-208.
- Emerson, E. 2003. Prevalence of psychiatric disorders in children and adolescents with and without intellectual disability. *J Intellect Disabil Res*, 47, 51-8.
- Emerson, E., Einfeld, S. & Stancliffe, R. J. 2010. The mental health of young children with intellectual disabilities or borderline intellectual functioning. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*, 45, 579-87.
- Facon, B. & Facon-Bollengier, T. 1997. Chronological age and Peabody Picture Vocabulary Test performance of persons with mental retardation: new data. *Psychol Rep*, 81, 1232-4.
- Fenning, R. M., Baker, J. K., Baker, B. L. & Crnic, K. A. 2007. Parenting children with borderline intellectual functioning: a unique risk population. *Am J Ment Retard*, 112, 107-21.
- Fenning, R. M., Baker, J. K., Baker, B. L. & Crnic, K. A. 2014. Parent-child interaction over time in families of young children with borderline intellectual functioning. *J Fam Psychol*, 28, 326-35.
- Fernell, E. & Ek, U. 2010. Borderline intellectual functioning in children and adolescents - insufficiently recognized difficulties. *Acta Paediatr*, 99, 748-53.
- Ferrari, M. 2009. Borderline intellectual functioning and the intellectual disability construct. *Intellect Dev Disabil*, 47, 386-9.
- Ford, T., Goodman, R. & Meltzer, H. 2003. The British Child and Adolescent Mental Health Survey 1999: the prevalence of DSM-IV disorders. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 42, 1203-11.
- Gathercole, S. E. & Pickering, S. J. 2000. Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *Br J Educ Psychol*, 70 (Pt 2), 177-94.
- Gigi, K., Werbeloff, N., Goldberg, S., Portuguese, S., Reichenberg, A., Fruchter, E. & Weiser, M. 2014. Borderline intellectual functioning is associated with poor social functioning, increased rates of psychiatric diagnosis and drug use - A cross sectional population based study. *Eur Neuropsychopharmacol*.

- Gresham, F. M., Macmillan, D. L. & Bocian, K. M. 1996. Learning disabilities, low achievement, and mild mental retardation: more alike than different? *J Learn Disabil*, 29, 570-81.
- Handen, B. L., Janosky, J. & Mcauliffe, S. 1997. Long-term follow-up of children with mental retardation/borderline intellectual functioning and ADHD. *J Abnorm Child Psychol*, 25, 287-95.
- Hassall, R., Rose, J. & Mcdonald, J. 2005. Parenting stress in mothers of children with an intellectual disability: the effects of parental cognitions in relation to child characteristics and family support. *J Intellect Disabil Res*, 49, 405-18.
- Hassiotis, A., Strydom, A., Hall, I., Ali, A., Lawrence-Smith, G., Meltzer, H., Head, J. & Bebbington, P. 2008. Psychiatric morbidity and social functioning among adults with borderline intelligence living in private households. *J Intellect Disabil Res*, 52, 95-106.
- Hassiotis, A., Tanzarella, M., Bebbington, P. & Cooper, C. 2011. Prevalence and predictors of suicidal behaviour in a sample of adults with estimated borderline intellectual functioning: results from a population survey. *J Affect Disord*, 129, 380-4.
- Hassiotis, A., Ukoumunne, O. C., Byford, S., Tyrer, P., Harvey, K., Piachaud, J., Gilvarry, K. & Fraser, J. 2001. Intellectual functioning and outcome of patients with severe psychotic illness randomised to intensive case management. Report from the UK700 trial. *Br J Psychiatry*, 178, 166-71.
- Hastings, R. P. 2002. Parental stress and behaviour problems of children with developmental disability. *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, 27, 149-160.
- Hayes, S., Shackell, P., Mottram, P. G. & Lancaster, R. 2007. The prevalence of intellectual disability in a major UK prison. *British Journal of Learning Disabilities*, 35, 162-167.
- Henderson, A., Korner-Bitensky, N. & Levin, M. 2007. Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery. *Top Stroke Rehabil*, 14, 52-61.
- Henry, L. A. & Gudjonsson, G. H. 2003. Eyewitness memory, suggestibility, and repeated recall sessions in children with mild and moderate intellectual disabilities. *Law Hum Behav*, 27, 481-505.
- Herrington, V. 2009. Assessing the prevalence of intellectual disability among young male prisoners. *J Intellect Disabil Res*, 53, 397-410.

- Holmes, J., Cathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A. & Elliott, J. G. 2010. Working Memory Deficits can be Overcome: Impacts of Training and Medication on Working Memory in Children with ADHD. *Applied cognitive Psychology*, 24, 827-836.
- Jarvis, H. L. & Gathercole, S. E. 2003. Verbal and non-verbal working memory and achievements on National Curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology*, 20, 123-140.
- Karande, S., Kanchan, S. & Kulkarni, M. 2008. Clinical and psychoeducational profile of children with borderline intellectual functioning. *Indian J Pediatr*, 75, 795-800.
- Kaznowsky, K. 2004. Slow learners: are educators leaving them behind? *National Association of Secondary School Principals Bulletin*, 88, 31-45.
- King, N., Lancaster, N., Wynne, G., Nettleton, N. & Davis, R. 1999. Cognitive-behavioural Anger Management Training for Adults with Mild Intellectual Disability. *Scandinavian Journal of Behaviour Therapy*, 28, 19-22.
- Konrad, K., Gunther, T., Hanisch, C. & Herpertz-Dahlmann, B. 2004. Differential effects of methylphenidate on attentional functions in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 43, 191-8.
- Macmillan, D. L., Gresham, F. M., Bocian, K. M. & Lambros, K. M. 1998. Current Plight of Borderline Students: Where Do They Belong? *Education and Training in Mental Retardation and Developmental Disabilities*, 33, 83-94.
- Merikangas, K. R., He, J. P., Burstein, M., Swanson, S. A., Avenevoli, S., Cui, L., Benjet, C., Georgiades, K. & Swendsen, J. 2010. Lifetime prevalence of mental disorders in U.S. adolescents: results from the National Comorbidity Survey Replication--Adolescent Supplement (NCS-A). *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 49, 980-9.
- Ninivaggi, F. J. 2001. Borderline intellectual functioning in children and adolescents: reexamining an underrecognized yet prevalent clinical comorbidity. *Conn Med*, 65, 7-11.
- Salvador-Carulla, L., Garcia-Gutierrez, J. C., Ruiz Gutierrez-Colosia, M., Artigas-Pallares, J., Garcia Ibanez, J., Gonzalez Perez, J., Nadal Pla, M., Aguilera Ines, F., Isus, S., Cereza, J. M., Poole, M., Portero Lazcano, G., Monzon, P., Leiva, M., Parellada, M., Garcia Nonell, K., Martinez, I. H. A., Rigau, E., Martinez-Leal, R. & Asociacion Catalana, N.

2013. Borderline intellectual functioning: consensus and good practice guidelines. *Rev Psiquiatr Salud Ment*, 6, 109-20.
- Schuchardt, K., Gebhardt, M. & Maehler, C. 2010. Working memory functions in children with different degrees of intellectual disability. *J Intellect Disabil Res*, 54, 346-53.
- Seltzer, M. M., Floyd, F., Greenberg, J., Lounds, J., Lindstrom, M. & Hong, J. 2005. Life course impacts of mild intellectual deficits. *Am J Ment Retard*, 110, 451-68.
- Sternberg, R. J., Grigorenko, E. & Bundy, D. A. 2001. *Merrill-Palmer Quarterly*, 47, 1-41.
- Stolker, J. J., Heerdink, E. R., Leufkens, H. G., Clerkx, M. G. & Nolen, W. A. 2001. Determinants of multiple psychotropic drug use in patients with mild intellectual disabilities or borderline intellectual functioning and psychiatric or behavioral disorders. *Gen Hosp Psychiatry*, 23, 345-9.
- Stormshak, E. A., Bierman, K. L., McMahon, R. J. & Lengua, L. J. 2000. Parenting practices and child disruptive behavior problems in early elementary school. Conduct Problems Prevention Research Group. *J Clin Child Psychol*, 29, 17-29.
- Van Der Molen, M. J., Van Luit, J. E., Jongmans, M. J. & Van Der Molen, M. W. 2009. Memory profiles in children with mild intellectual disabilities: strengths and weaknesses. *Res Dev Disabil*, 30, 1237-47.
- Van Nieuwenhuijzen, M., Orobio De Castro, B., Van Aken, M. a. G. & Matthys, V. 2008. Impulse control and aggressive response generation as predictors of aggressive behaviour in children with mild intellectual disabilities and borderline intelligence. *Journal of Intellectual Disability Research*, 53, 233-242.
- Weschler, D. 2003. *Wechsler Intelligence Scale for Children — Fourth Edition* San Antonio:TX, Harcourt Assessment.
- World Health Organization 2004. *International statistical classification of diseases and related health problems*, Geneva, World Health Organization.

CHAPITRE 4: ARTICLE 3

Training of fluid and crystallized intelligence: A game-based approach
in adolescents presenting with below average IQ

Mathilde Neugnot-Cerioli^{1,2}, Charlotte Gagner^{1,2}, Miriam H. Beauchamp^{1,2}

¹ University of Montreal, Psychology Department, Montreal, QC, Canada.

² CHU Sainte-Justine Research Center, Montreal, QC, Canada.

Article soumis à Neuropsychological Rehabilitation, le 12 Octobre 2015

Abstract

This study aimed to determine whether two aspects of global intelligence, fluid (Gf) and crystallized (Gc) intelligence, could be improved in adolescents with below-average IQ by using a game-based cognitive intervention. Thirty-four adolescents participated in cognitive interventions targeting either Gf (GAME-f, n =12) or Gc (GAME-c, n=12) or were attributed to a control group (n=10). Interventions took place two days a week for one hour, over 8 weeks. Standard neuropsychological assessments were conducted prior to and after the intervention to measure possible improvements in Gc (using the Weschler Scales, WISC-IV), and Gf (using the Test Of Non verbal Intelligence, TONI-4). Adolescents in the GAME-f program improved on measures of Gf, while adolescents in the GAME-c program improved on both measures of Gc and Gf. The results indicate that individuals with below average IQ can improve their fluid and crystallized intellectual functioning through direct cognitive training using commercially available games, suggesting that intellectual functioning at this level may be more susceptible to remediation than previously thought. These findings have implications for cognitive intervention and learning potential in clinical populations with below average IQ.

Keywords: cognitive, intervention, intelligence, fluid reasoning, borderline intelligence

I. Introduction

Intelligence is a widely researched concept in contemporary psychology and a better understanding of this domain has significant clinical implications given the centrality of measures of intelligence in representing global cognitive functioning in both healthy and clinical populations. Recent findings have contributed to questioning the long-established notion that intellectual quotient is a stable, unmodifiable capacity (Healy, Wohldmann, Sutton, & Bourne, 2006; Moffitt, Caspi, Harkness, & Silva, 1993). In particular, cognitive intervention studies report improvements on core components of intellectual quotient (IQ) through specific training of fluid intelligence in typically functioning adults (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; Mackey, Hill, Stone, & Bunge, 2011). However, little data exist on the putative benefits of cognitive training targeting intellectual functioning in clinical populations and individuals with below average cognitive abilities, who could benefit from improved reasoning skills (Passig & Eden, 2000; Soderqvist, Nutley, Ottersen, Grill, & Klingberg, 2012).

Earlier research in the domain of intellectual functioning has aimed to develop a global understanding of intelligence, its underlying factors, and complex manifestations (Cattell, 1987; Gardner & Hatch, 1989; Spearman, 1923; Weschler, 1939). The Cattell-Horn-Carroll Theory of intelligence (Carroll, 1997) has emerged as one of the most influential models in this area of cognition. McGrew (2009) suggests that the taxonomy employed in this model “become the common nomenclature for describing research findings and theoretical frameworks” (p.1). The Cattell-Horn-Carroll model is based on a factor-analytic study that defines three strata of intellectual functioning and offers a comprehensive model incorporating theories elaborated by the three contributors. The highest strata, general intelligence (*g*) refers

to a global function composed of the eight broad abilities that constitute the second strata (crystallized intelligence, fluid intelligence, general memory and learning, broad visual perception, broad auditory perception, broad retrieval ability, broad cognitive speediness, and processing speed). Each of these abilities is then conceptualized as being composed of more specific skills, such as induction, spelling, lexical knowledge, and so on. In Cattell's (1963) initial conceptualization of the model, the two main broad abilities reported were fluid and crystallized intelligence. These abilities are still central in current models of intelligence and were therefore the focus of the current study. Fluid intelligence (Gf) is defined as thinking logically and solving problems in novel situations, independently of acquired knowledge. Crystallized intelligence (Gc) refers to the ability to use skills, knowledge, and experience. According to Cattell's Investment Theory, Gc is further defined as "a product over time of earlier fluid ability action" (p. 94) (Cattell, 1987).

Gf and Gc are thought to be highly heritable (Bouchard, Lykken, McGue, Segal, & Tellegen, 1990; Cattell, 1963; Deary, Whalley, Lemmon, Crawford, & Starr, 2000; Gray & Thompson, 2004; te Nijenhuis, van Vianen, & van der Flier, 2007) and stable across the lifespan, according to longitudinal studies (Deary, et al., 2000). However, others have questioned the stability of Gc and Gf. Nisbett (2009), for example, argues that intelligence is not only influenced by heredity, but also by environmental and educational factors through culture (Nisbett, 2009; Turkheimer, Haley, Waldron, D'Onofrio, & Gottesman, 2003). In support of this idea, a study in both monozygotic and heterozygotic twins showed that IQ heritability is weak in impoverished socio-economic environments, but particularly high in families with high socio-economic status (Turkheimer, et al., 2003).

As a result of the more traditional, static conception of intelligence, cognitive training was long overlooked in the domain of intellectual functioning as it was thought to be ineffective. More recent challenges to this idea have led researchers to explore improvements in intelligence through training. Jaeggi et al. (2008) reported that Gf can be improved through cognitive transfer by targeting working memory abilities (WM), since these two abilities are strongly related. Although this line of investigation has been criticized because of lack of generalization to tasks other than those specifically trained in the study (Owen et al., 2010), a recent meta-analysis reviewing 20 studies of fluid intelligence interventions through working memory training showed a small (3-4 IQ points) yet significant effect (Au et al., 2015). Even direct training of Gf appears to be an effective approach to improving intellectual functioning since cognitive interventions targeting fluid reasoning abilities have led to significant improvements in Gf (Bergman Nutley et al., 2011; Mackey, et al., 2011). For example, Mackey and colleagues (2011) used commercially available games to remediate fluid reasoning abilities in children from low socioeconomic status families and found significant improvements on Gf.

Gc, defined as the ability to apply acquired knowledge to solve a problem, is mediated both by Gf (since individuals with higher Gf abilities tend to acquire Gc knowledge faster) and by socio-economic status (Kvist & Gustafsson, 2008; Rindermann, Flores-Mendozab, & Mansur-Alvesb, 2010). Gc has been the focus of even fewer intervention studies compared to Gf. However, given that Gc is thought to be a better indicator of global academic performance (Deary, Strand, Smith, & Fernandes, 2007), it may constitute just as important an intervention target as Gf. Only one study has aimed to improve Gc through WM training and showed significant results (Alloway & Alloway, 2009). The same authors later showed that WM

training improves both Gf and Gc (Alloway, Bibile, & Lau, 2013). To our knowledge, no intervention program has attempted to directly train Gc.

Reports that IQ can be improved through training suggest that intellectual functioning may be modifiable and encourage further investigations into potential intellectual improvements via cognitive training in targeted paediatric populations, in particular, children and adolescents with below-average intellectual functioning ($70 < IQ < 90$) and intellectual disability ($IQ < 70$). Perrig and colleagues (2009) argue that there are reasons to believe training could help enhance Gf in intellectually disabled individuals, although little empirical data exists to support this claim and results are non-consensual. Soderqvist et al. (2012) found significant improvements in Gf through WM training in children with intellectual disabilities; however, Van der Molen et al. (2010) failed to find significant changes in a study using a similar approach. In the latter study, however, large inter-individual differences in the adolescents with intellectual disability were found and seemed to account for the finding that some individuals showed improvement on WM and transfer to Gf, while others did not (Soderqvist, et al., 2012).

Given previous reports suggesting IQ may be modifiable and the clinical significance of potential improvements in IQ for individuals presenting with below-average intelligence ($70 < IQ < 90$), the aim of this study was to train both Gf and Gc using a direct approach rather than through transfer by training WM. Youth who present with below average IQ and associated learning disabilities are ideal candidates for Gf and Gc training since they experience significant academic challenges and psychological difficulties (Emerson, Einfeld, & Stancliffe, 2010; Gigi et al., 2014; Hassiotis, Tazarella, Bebbington, & Cooper, 2011; Herrington, 2009; Karande, Kanchan, & Kulkarni, 2008) that typically extend into adulthood

(Hassiotis et al., 2008; Stolker, Heerdink, Leufkens, Clerkx, & Nolen, 2001). For their part, individuals with borderline intellectual functioning ($70 < IQ < 85$) encounter additional academic and adaptive challenges compared to those with within average intellectual functioning, but do not present with enough difficulties to meet formal disability criteria and are therefore unable to benefit from adaptive and special services (MacMillan, Gresham, Bocian, & Lambros, 1998). As in the study conducted by Mackey and colleagues (2011), commercially available games were used in the current study to enhance the efficiency of the intervention and boost motivation and engagement in adolescent participants (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Shah, 2011). Games have previously been used in cognitive intervention and have been shown to be effective in improving language, attention and executive functions (de Kloet, Berger, Verhoeven, van Stein Callenfels, & Vlieland, 2012; Munro, Lee, & Baker, 2008; Neugnot-Ceroli, Gagner, & Beauchamp, In press; Rezaian, Mohammadi, & Fallah, 2007; Segers, Nooijen, & de Moor, 2006; Staiano, Abraham, & Calvert, 2012). Two distinct cognitive training programs were designed, one targeting Gf (GAME-f) and the other targeting Gc (GAME-c). It was logically hypothesized that Gf training would lead to improvements on measures of Gf, while Gc training would lead to improvements on measures of Gc. Possible transfer from one domain to another (e.g, Gf to Gc) was also assessed since both factors are related to general intelligence. Measures of WM were included to assess whether there was transfer from Gf or Gc training to WM abilities, since previous studies indicate transfer effects in the opposite direction (i.e., improvements on Gf or Gc when working memory is trained) (Alloway, et al., 2013; Jaeggi, et al., 2008; Kail & Salthouse, 1994).

II. Methods

1. Participants and setting

Adolescents between 12 and 16 years of age ($n = 34$, Mean age = 13.82 ± 1.08 years, number of males = 25, 74%) were recruited in a special education high school. The school's vocation is to educate youth who fail in the regular academic curriculum and cannot follow specialized programs oriented towards children with specific learning disabilities due to below average IQ. This school offers an individualized approach to teaching students and consequently does not follow the provincial curriculum. As such, students do not necessarily qualify for a high school diploma, but receive services and a tailored educational program, not otherwise possible in mainstream schools. Adolescents present to the school with a variety of pre-morbid diagnoses, and it is precisely this heterogeneity that characterizes the population and services provided (see Results for diagnostic information based on parental report from past medical and allied health evaluations). The inclusion criteria for participation in this study were: a) aged 12 to 16 years; b) Verbal or Performance IQ ranging between 70 and 90; c) fluent French speaking. The exclusion criteria were: a) both Performance and Verbal IQ below 70, b) known history of diagnosed acquired brain injury, c) participants who failed to complete at least 11 hours of intervention out of a total of 16 hours.

2. Procedure

Participants were randomly assigned to either the GAME Crystallized (GAME-c, $n = 12$) or GAME Fluid (GAME-f, $n = 12$) intelligence training program, or to the control group

(CG, $n = 10$), which was used to control for practice effects and potential differences found between pre- and post-tests assessments due to alternate test forms.

Research assistants were undergraduate or graduate students in neuropsychology and were formally trained to conduct standardized cognitive evaluations by a certified neuropsychologist. Two of the research assistants were additionally trained by the neuropsychologist to administer the GAME intervention programs, thus there were three qualified GAME facilitators for the study. GAME training included a familiarisation and observation sessions and practice of the games included in the program via a standardized intervention handbook. The handbook included detailed game descriptions, instructions and rules, as well as targeted strategies to introduce throughout the intervention sessions for each game.

To optimize participation in the study, the intervention took place in the school setting over the course of about 11 weeks. Neuropsychological assessments were conducted both before (pre-test) and after (post-test) the intervention, and after the equivalent lapse of time for the control group (Mean = 14.82, SD = 4.95 weeks, $F(2,33)=.75$, $p=.48$). Pre-tests were performed prior to group assignment, by either the research assistants or facilitators who were blind to students' medical or academic information. Only research assistants who were not involved in administering the intervention performed the post-tests and were therefore blind to group assignment, and any medical/academic information. All intervention sessions were conducted individually in the same school classrooms dedicated to the intervention program. The sessions took place during school hours or immediately after the end of classes.

3. Measures

Socio-economic status: Parents completed a socio-demographic questionnaire including information for calculating the Blishen socioeconomic status (SES) index (Blishen, Carroll, & Moore, 1987), as SES has been shown to influence intervention efficacy (Kinsella, Ong, Murtagh, Prior, & Sawyer, 1999; Taylor et al., 1999). The Blishen index uses average income and average education level associated with occupations in Canada ($M = 48.04$, $SD = 13.71$, range 21.37 (low SES) to 75.87 (high SES)).

4. Pre- and post-test neuropsychological measures

All tests administered during the pre- and post-test neuropsychological assessments are detailed in Table 1. In the main analyses, gold-standard test batteries were used for the assessment of intellectual functions (Gf, Gc) including the Wechsler scales and the TONI-4 (Brown, Sherbenou, & Johnsen, 2010b; Wechsler, 1999, 2003, 2006). Although the Wechsler scales (Wechsler Intelligence Scale for Children and Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence) are not perfectly equivalent, both use the same subscale structure and the inclusion of a control group takes into account possible pre and post test differences. These alternate versions from the Wechsler batteries were used to minimize practice associated with presenting exactly the same items at pre- and post-test. For exploratory analyses, measures of visual and verbal working memory were included from the Wechsler scales to test possible transfer effects from Gc/Gf to working memory, given reports of transfer in the opposite direction (Alloway & Alloway, 2009; Jaeggi, et al., 2008). Measures of receptive vocabulary on the Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT)(Dunn & Dunn, 2007) and verbal fluency

(Delis, Kaplan, & Kramer, 2001) were also included because of the presence of language components in the GAME-c program.

Domain	Pre-test	Post-test	Task
Fluid intelligence	TONI-4 – Form A	TONI-4 – Form B	Completing visual matrices in a test with two equivalent forms
Fluid intelligence	WISC-IV – PRI	WASI – PIQ	Completing visual Matrices (Matrix Reasoning) and assembling blocks (Blocks) to reproduce a template
Crystallized intelligence	WISC-IV – VCI	WASI – VIQ	Answering questions about lexical knowledge and assessing verbal elaboration (Vocabulary) and verbal abstraction (Similarities)
Receptive lexical knowledge	PPVT – Form A	PPVT – Form B	Pointing to the image corresponding to a word or concept among different images
Verbal fluency and executive functions	D-KEFS – Verbal Fluency, Form A	D-KEFS – Verbal Fluency, Form B	Producing as many words as possible from a given letter, category or switching from one category to another within 60 seconds
Verbal working memory	WISC-IV – Digit Span subtest	WISC-IV – Digit Span subtest	Repeating a sequence of numbers forward then backward
Visual working memory	WNV – Visual Span subtest	WNV – Visual Span subtest	Reproducing a spatial sequence of moves on blocks forward then backward

Abbreviations: DKEFS = Delis-Kaplan Executive Functions System (Delis, Kaplan, & Kramer, 2001b); PPVT = Peabody Picture Vocabulary Test 4th Edition (Dunn & Dunn, 2007); TONI-4 = Test of Non-Verbal Intelligence, 4th edition (Brown, Sherbenou, & Johnson, 2010a); WASI = Weschler Abbreviated Scale of Intelligence (Weschler, 1999); WISC-IV = Weschler Intelligence Scale for Children, 4th edition (Weschler, 2003).

Table 1. Neuropsychological tests administered at pre and post-intervention

5. GAME Intervention Program

Five commercially available computerized and non-computerized games were used in both the GAME-f and GAME-c programs. Overall time spent on each game was equivalent in GAME-f ($M= 142.50$, $SD= 20.11$ minutes, $F(4,49)=0.12$, $p=.97$) and GAME-c ($M= 149.33$, $SD= 19.59$ minutes, $F(4,54)=1.16$, $p=.34$). For both interventions, a standardized handbook describing the intervention details and administration was developed to ensure uniformity of intervention sessions. Each adolescent was given a personal intervention notebook in which the training details were recorded: time spent on each game, levels reached and succeeded or failed, new words or concepts learned.

In GAME-f, five games with an increasing level of difficulty and eliciting deduction, planning, step-by-step and integrative reasoning were used (see Table 2 for details). The choice of games for the GAME-f program was based on the tests used by Mackey et al. (2011) who reported positive intervention effects on fluid intelligence. The games were either the same or the constructs measured were equivalent. When participants failed to complete a level, the facilitator gave specific cues or feedback that were standardized in the facilitator's handbook and were recorded in the participant's notebook (e.g., "take your time", "read ALL the instructions", and so on). Every failed level was recorded for each game in the participant's notebook and was administered again at the next session.

In GAME-c, five games eliciting verbal fluency, receptive vocabulary, verbal elaboration, grammar and syntax concepts, and written language were used (see Table 2 for details). The selection of games for the GAME-c was more exploratory since this program constitutes a novel contribution to the cognitive rehabilitation literature. Two neuropsychologists involved in the project chose the games to reflect the Cattell's definition of

crystallized intelligence (Cattell, 1963), and reviewed and practiced each game before making a final common decision. None of the games used in either the GAME-c or GAME-f intervention program were similar in form or content to the standardized assessment tools used for pre and post neuropsychological assessment.

GAME-fluid		GAME-crystallized	
Game	Function	Game	Function
<i>Tilt by ThinkFun</i>	Planning, inhibition, fluid reasoning	<i>Vocabulon by Megableu</i>	Receptive vocabulary, verbal elaboration
<i>Chocolate-Fix by ThinkFun</i>	Inhibition, fluid reasoning, integration	<i>Defin'Images by McWiz</i>	Word generation
<i>Utopia Brain Teaser by Popular Playthings</i>	Planning, inhibition, fluid reasoning, 3D visualization	<i>P'tit Bac by Playbac</i>	Mental imaging, word generation, verbal elaboration
<i>Azada (MacOs) by BigFish</i>	Fluid reasoning	<i>WordsWorth (MacOs) by 99 games</i>	Word generation (reading and writing)
<i>Pr. Layton (Nintendo3DS) by Nintendo</i>	Fluid reasoning to solve enigmas	<i>Adi Français (Nintendo3DS) by Nintendo</i>	Grammar and syntax concepts, verbal elaboration

Table 2. Games used in GAME-fluid and GAME-crystallized intervention programs

Both GAME programs were designed to last for 16 hours over 8 weeks, with two one-hour sessions per week. However due to holidays and school days missed for health reasons or other, the participants in this study were seen over the course of 10 to 11 weeks. Attendance ranged from 11 to 16 hours ($M=13.71$, $SD=1.08$) and did not differ between groups ($M=13.50$, $SD=0.80$ in GAME-f, $M=13.92$, $SD=1.31$ in GAME-c, $F(1,23)=.88$, $p=.36$). Although facilitators monitored time spent on each game, participants were given the liberty of choosing the order in which they would play non-computerized games within the session, in order to

maximize positive interactions and motivation. Computerized games were consistently played at the end of each session since they were perceived as more rewarding.

6. Statistical analyses

Baseline levels of age, SES, Gf and Gc were compared across the three groups (GAME-f, GAME-c and control group (CG)) to ensure that results were not attributable to initial group differences.

To account for performance differences between pre-tests and post-tests, a difference score was calculated for each test by subtracting performance at pre-test from performance at post-test. ANOVAs were then performed on the difference scores for the main variables of interest (TONI-4, Verbal IQ, Perceptive IQ) across groups (GAME-f, GAME-c, CG). Dunnet's post hoc tests were then performed to determine the nature of any group differences. Improvement on each task was calculated by subtracting the difference scores on each task for both experimental groups (GAME-f and GAME-c) to CG difference score. As the two versions of the Weschler scales (WISC-IV and WASI) are not completely equivalent, it was not expected that both pre and post tests results would be exactly the same, in which case, the difference score for CG would be 0. Regarding the TONI-4, the same process was used since both versions (A and B) of the subtests are not perfectly correlated ($.67 < r < .89$) (Brown, Sherbenou, & Johnsen, 2010a).

Exploratory ANOVAs were performed on all secondary variables including verbal WM (Digit Span forward and backward), visual WM (Visual Span forward and backward), receptive lexical knowledge (PPVT) and verbal Fluency (DKEFS verbal fluency Letters, Words, Switching and Switching accuracy) to test possible transfer effects from Gf to working

memory and from Gc to language and fluency. Dunnet’s post hoc tests were then performed to determine the nature of any significant differences identified.

III. Results

Participants demographic and diagnosis are presented in Table 3 and 4. Groups were comparable on SES and all cognitive measures at pre-test; however, a significant group difference was found for age. Participants in GAME-f were significantly older than participants in the control group (see Table 4). We performed a sensitivity analysis by using age as a covariate in all analyses and the significance of the results was the same, so we decide to perform ANOVAs as was first decided.

Diagnosis	GAME-fluid	GAME-crystallized	GAME-control	X ²
Attention Deficit Hyperactivity Disorder	50.00% (6)	66.67% (8)	50.00% (5)	X ² (2, N=34)=3.00, p=.22
Dyslexia	0.00% (0)	41.67% (5)	50.00% (5)	X ² (2, N=34)=6.00, p=.20
Specific Language Impairment	16.67 % (2)	8.33% (1)	20.00% (2)	X ² (2, N=34)=6.00, p=.20
Non Verbal Learning Disorder	8.33% (1)	8.33% (1)	10.00% (1)	X ² (2, N=34)=3.00, p=.22
Tourette’s Syndrome	8.33% (1)	0.00% (0)	10.00% (1)	X ² (2, N=34)=6.00, p=.20
Dyspraxia	16.67 % (2)	8.33% (1)	30.00% (3)	X ² (2, N=34)=6.00, p=.20
Anxiety	0.00% (0)	0.00% (0)	20.00% (2)	X ² (2, N=34)=3.00, p=.22
Depression	8.33% (1)	0.00% (0)	10.00% (1)	X ² (2, N=34)=6.00, p=.20

Table 3. Distribution of diagnoses per participant group, percentage (number of participants), Chi2 between groups

Table 4. Comparison of main variables between groups at pre-test

	Game-fluid		Game-crystallized		Control Group		ANOVA	p
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Age	14.29	0.90	13.94	1.18	13.10	0.82	F(2,33)=4.09	0.03
SES Blishen Parents	41.97	13.65	52.02	14.97	45.85	10.86	F(2,27)=1.14	0.26
Verbal IQ	75.83	7.00	79.25	9.21	71.20	5.45	F(2,33)=3.50	0.06
Performance IQ	80.17	14.46	78.75	15.25	81.70	12.52	F(2,33)=.12	0.89
TONI-4	94.18	7.29	95.00	15.01	98.60	6.57	F(2,32)=.51	0.61
PPVT	95.33	13.17	98.75	13.25	97.40	7.85	F(2,33)=.25	0.78
Verbal Fluency Letter	18.67	6.53	19.08	5.58	19.44	5.57	F(2,33)=.05	0.96
Verbal Fluency Category	26.75	6.89	26.00	7.92	25.56	4.69	F(2,33)=.08	0.92
Verbal Fluency Switching Words	8.67	2.87	8.17	1.47	9.44	2.60	F(2,33)=.75	0.48
Verbal Fluency Switching Words	7.67	2.89	8.17	1.68	9.44	2.24	F(2,33)=2.15	0.14

Note: Significant results are bolded.

1. a. Main analyses: Group comparisons on GAME intervention difference scores

ANOVAs performed on pre/post-test difference scores for the main variables showed a main effect of group for VIQ ($F(2,33)=9.8.50$, $p=.001$) and TONI-4 ($F(2,32)=5.90$, $p=.005$), but no group differences were found for PIQ ($F(2,33)=.19$, $p=.83$) (see Table 5). Dunnett post-hocs revealed that after following GAMEf, adolescents demonstrated improved scores on the TONI-4 compared to the CG, with a gain of 8.32 IQ points, while VIQ was equivalent between GAMEf and CG. Following GAMEc, adolescents demonstrated improvements on VIQ, with a gain of 8.75 IQ points compared to CG. Somewhat surprisingly, the GAMEc group also showed improvements on the TONI-4 compared to the CG, with a gain of 9.08

points (see Figure 1). The improvement scores here are calculated based on the difference between the GAMEc or the GAMEf group and CG.

	Main ANOVAS			Dunnet's post-hocs							
	ANOVA	p	Effect size	Control Group		GAME-crystallized		GAME-fluid			
				Mean	SD	Mean	SD	p	Mean	SD	p
VIQ	F(2,33)=9.77	<.01	.39	8.80	8.35	17.58	3.48	<.01	8.33	6.02	.77
PIQ	F(2,33)=.21	.81		11.50	9.70	11.67	6.85	-	9.92	4.76	-
TONI-4	F(2,32)=6.34	<.01	.30	-5.50	8.37	3.58	5.00	.01	2.82	5.96	<.01

Note: Significant results are bolded.

Table 5. Comparison of performance difference scores (post-test minus pre-test) for the main outcome variables.

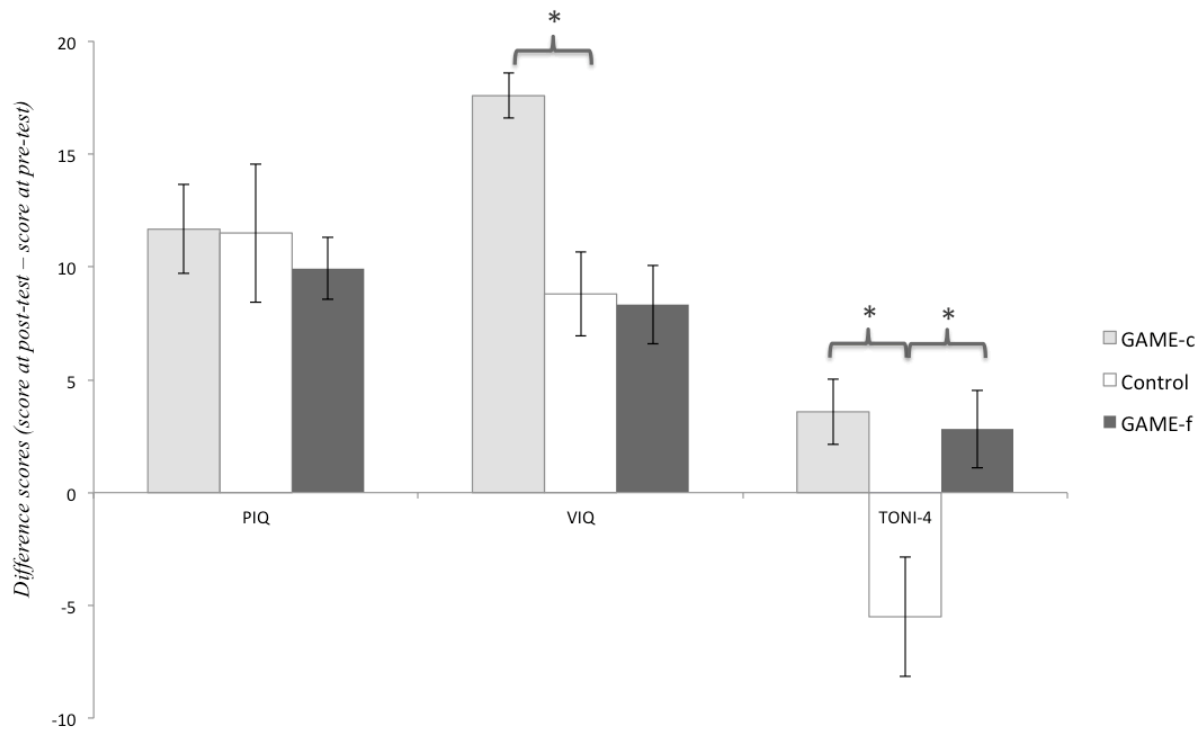


Fig. 1. Average difference scores between GAME-f, GAME-c and Control group. (Test means =100, S.D.=15).

*p<.01

2. Exploratory analyses performed on difference scores for working memory, language and verbal fluency

No difference was found between groups on Digit Span forward ($F(2,31)=.68$, $p=.43$) and backward ($F(2,31)=.62$, $p=.55$), Visual Span forward ($F(2,32)=.87$, $p=.43$) and backward ($F(2,32)=1.72$, $p=.20$), receptive vocabulary (PPVT)($p=.11$, $F(2,33)=1.68$, $p=.20$) or the D-KEFS verbal fluency test for the number of words produced according to a letter ($F(2,31)=2.10$, $p=.01$), a category ($F(2,31)=.20$, $p=.82$) or for switching from one category to another ($F(2,31)=2.16$, $p=.13$). However, there was a significant difference on the number of correct switches (the number of times the participant switched correctly from one category to another, as opposed to the number of words belonging to both category he was able to produce)($F(2,31)=4.43$, $p=.02$). Participants in GAME-c made on average 2.50 more correct switches representing an increase of 38,46% compared to pretest, against -0.63 in the CG ($p=.03$) and -0.42 in GAME-f ($p=.98$).

IV. Discussion

The aim of this study was to assess whether two main factors of intelligence, fluid (Gf) and crystallized (Gc) intelligence, can be successfully trained in adolescents with below-average IQ associated with various learning disabilities, using cognitive intervention via commercially available games. The results indicate that direct and specific cognitive intervention targeting intelligence leads to significant improvement in both Gf and Gc. Although some prior data supports the idea that Gf and Gc can be improved through working memory training (Alloway, et al., 2013; Jaeggi, et al., 2008), and that Gf can be altered

through direct training (Mackey, et al., 2011), to our knowledge, this is the first evidence that Gc can be trained directly. Until now, the limited literature addressing putative training of intellectual functions have mostly focused on normative populations and little data exists testing the modifiability of IQ in clinical populations (Soderqvist, et al., 2012). It is also the first time that both Gf and Gc functions are trained in an integrated program using a comparable methodology for each.

The training targeting Gf (GAME-f) resulted in substantial improvements on a fluid-reasoning matrix task (TONI-4), showing that the training was efficient and suggesting that adolescents with below-average IQ are good candidates for direct cognitive training of Gf. No improvement was found, however, on the Performance IQ scale in the GAME-f program, despite the fact that one of the subtests included in this scale is Matrix Reasoning, which is conceptually similar to the TONI-4 test. This discrepancy may be related to methodological differences between the two measures (DeThorne & Schaefer, 2004). TONI-4 may be a purer measure of Gf, while the PIQ also assesses some aspects of visual intelligence (Gv) (Chen, Keith, Chen, & Chang, 2009).

Direct training targeting Gc also shows promise for adolescents with low average IQ. Participants in this study improved substantially on the verbal IQ measure (+8.75 points compared to CG) after following the GAME-c intervention program, suggesting that Gc can also be improved through direct training with simple, commercially available games. It is particularly interesting to note that these improvements occurred in the context of a clinical population struggling in their academic curriculum. Indeed, Gc has been proven to be a good indicator of academic achievement (Deary, et al., 2007) and is therefore a good target for individuals who present with learning difficulties. Of note, the program did not result in

improved receptive vocabulary, suggesting that improvements in Gc measures were not simply a result of newly acquired vocabulary, but rather were related to gains in higher-order cognitive processes used to reason about verbal knowledge. Verbal fluency was not affected by training in terms of retrieving words according to a given letter or category. When adolescents had to produce words by switching after each word between two categories, they all produced on average as many words. However, adolescents in the GAME-c program were more accurate in the switching portion of the tasks, while those in the control group were less competent at switching, though they produced as many words. This cognitive task necessitates both language skills as well as executive functioning and is commonly described as a more demanding task than mere categorical verbal fluency (Baldo, Shimamura, Delis, Kramer, & Kaplan, 2001; Delis, et al., 2001). This improvement in GAME-c could be explained by parallel improvements in Gc, which may have reduced cognitive load while producing words according to two categories, and freeing cognitive resources for the executive functioning aspects of the task.

The GAME-c program also resulted in improvements on Gf as measured by the TONI-4 test, with adolescents showing better performance at post-test compared to the control group. We had not anticipated improvements across intelligence domains. It is possible that training in itself and positive interaction with the facilitators had some impact on adolescents' performance during the cognitive assessment, similar to a placebo effect (Boot, Blakely, & Simons, 2011), resulting in improved Gf in the GAME-c program. However, this explanation does not support the lack of effect in the other direction, that is, no effect of GAME-f on Gc. Also, the adolescents in this study have all experienced rehabilitation targeting language, mathematics or motor functions over the course of their curriculum and have therefore

previously been engaged in positive stimulating interactions, making them presumably less susceptible to facilitator effects. An alternative explanation could be that the GAME-c program was not specific enough to Gc and also unintentionally targeted Gf, though this is not likely given that there was little to no perceptual material in GAME-c and adolescents needed to use formerly acquired knowledge (eg, elaborating definitions, word production, etc.) to resolve games. Given that both Gc and Gf are broad factors of the higher general factor of intelligence (*g*) (Carroll, 1997), it is logical that improvements in Gc could lead to increased Gf; however, little data on Gc training exists and no other studies to date have explored possible transfer from Gc to Gf, thus, these data need to be replicated in future work.

No improvements were found on measures of WM after participating in GAME-f or GAME-c or being part of the control group, which is not surprising since the GAME programs were not designed to target WM abilities. Once adolescents understood the instructions for the games, they did not require WM abilities to keep rules and instructions in mind, nor was WM specifically trained in any of the games used in the intervention programs. Previous studies in cognitive training have shown cognitive transfer in the opposite direction (from WM abilities to Gf and Gc, Alloway & Alloway, 2009; Au, et al., 2015). The current results suggest that this relationship may be unidirectional. It has been shown that working memory training improves the ability to focus attention (Lilienthal, Tamez, Shelton, Myerson, & Hale, 2013), and Gray and Thompson (2004) suggest that WM and *g* are primarily related through attentional control processes. However, since our program did not target attention it is likely that the improvements on Gf reflect of a direct effect of the GAME programs.

Overall, this study contributes to mounting evidence that Gf and Gc are not as stable as was once thought (Alloway, 2010; Alloway, et al., 2013; Au, et al., 2015; Diamond, Barnett,

Thomas, & Munro, 2007; Jaeggi, et al., 2011). As shown here, changes in IQ are not exclusive to normative populations and can be extended to clinical population such as adolescents with below-average IQ associated with learning disabilities. This has important implications for the services and remediation offered to children and adolescents with academic difficulties. Improving intellectual functioning in these groups may lead to better vocational outcomes and consequently higher SES and quality of life in adulthood (Hunter & Schmidt, 1996).

The training programs developed in this study relied on using commercially available board games, video and computer games and yielded promising improvements. The use of games in cognitive interventions has gained popularity in recent years (Brennan & Ireson, 1997; Craig, 2006; Segers, et al., 2006) and is particularly interesting in the pediatric setting. Studies have shown that their use under professional supervision can lead to improvements in various domains, such as oral and written language, attention, executive functions and reasoning (Neugnot-Cerioni, et al., In press). Games are both ludic and motivating for children and adolescents while being effective and easy to administer. Their affordability and accessibility are particularly interesting since they can be used in many different settings, such as school, hospital, private practice or at home.

1. Limitations and avenues for future research

Despite encouraging results for the GAME intervention programs, some study limitations deserve discussion. First, the sample size for this study was relatively small and participants presented with heterogeneous conditions and comorbidities (dyslexia, ADHD, dyspraxia, etc.), which reduced the power of the statistical analyses performed. However, groups were comparable on all baseline factors except age, and the effects remained after

controlling for this, leading to significant results found with large effect sizes. Second, it was not possible to determine whether some games were more effective than others within each GAME program because it was conceived as a comprehensive intervention. It is possible that some games were less effective from a cognitive perspective; however, these may have been useful in influencing overall engagement and motivation. Third, it is unclear whether the significant cognitive gains observed during the study will remain in the long-term. Future work should seek to include GAME booster sessions and systematic evaluation of long-term effects. Future studies could also focus on exploring possible broader effects of the intervention program, for example, on academic results. In this study, informal interviews were conducted during a debriefing sessions at the end of the program and students frequently reported statements of increased confidence, such as “I encounter greater success in my school evaluations now, before the program I used to think my answers would be wrong, while now I know they may not be, so I take a chance and answer”, or “Now I take the time before trying to solve a problem first, like we practiced together, so I avoid making the mistakes I used to make before”. However, no formal, quantitative measure of self-esteem or self-confidence was administered.

V. Conclusions

Overall, this study supports existing work in typically developing individuals suggesting that intelligence can be improved through cognitive training and extend these findings to adolescents who present with below-average IQ related to learning disabilities. The GAME program uses an innovative approach by directly training both Gf and Gc in two distinct yet comparable paradigms, while using commercially-available games.

References

- Alloway, T. P. (2010). Working memory and executive function profiles of individuals with borderline intellectual functioning. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Intellect Disabil Res*, 54(5), 448-456. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01281.x
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2009). The efficacy of working memory training in improving crystallized intelligence. *Nature Precedings*
- Alloway, T. P., Bibile, V., & Lau, G. (2013). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? *Computers in Human Behavior*, 29(3), 632-638.
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychon Bull Rev*, 22(2), 366-377. doi: 10.3758/s13423-014-0699-x
- Baldo, J. V., Shimamura, A. P., Delis, D. C., Kramer, J., & Kaplan, E. (2001). Verbal and design fluency in patients with frontal lobe lesions. [Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *J Int Neuropsychol Soc*, 7(5), 586-596.
- Bergman Nutley, S., Soderqvist, S., Bryde, S., Thorell, L. B., Humphreys, K., & Klingberg, T. (2011). Gains in fluid intelligence after training non-verbal reasoning in 4-year-old children: a controlled, randomized study. [Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Dev Sci*, 14(3), 591-601. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.01022.x
- Blishen, B. R., Carroll, W. K., & Moore, C. (1987). The 1981 socioeconomic index for occupations in Canada. *Canadian Review of Sociology/Revue canadienne de sociologie*, 24, 465-488.
- Boot, W. R., Blakely, D. P., & Simons, D. J. (2011). Do action video games improve perception and cognition? *Front Psychol*, 2, 226. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00226

- Bouchard, T. J., Jr., Lykken, D. T., McGue, M., Segal, N. L., & Tellegen, A. (1990). Sources of human psychological differences: the Minnesota Study of Twins Reared Apart. [Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S. Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *Science*, 250(4978), 223-228.
- Brennan, F., & Ireson, J. (1997). Training phonological awareness: A study to evaluate the effects of a program of metalinguistic games in kindergarten. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 9, 241-263.
- Brown, L., Sherbenou, R. J., & Johnsen, S. K. (2010a). *Test of Nonverbal Intelligence, 4th Edition* (4th ed.). San Antonio: TX: Harcourt Assessment.
- Brown, L., Sherbenou, R. J., & Johnsen, S. K. (2010b). *TONI-4 Test of Nonverbal Intelligence 4th Edition Examiner Manual*. San Antonio:TX: Harcourt Assessment.
- Carroll, J. B. (1997). The three-stratum theory of cognitive abilities. In D. P. Flanagan, J. L. Genshaft & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (pp. 122-130). New York, NY, US: Guilford Press.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54, 1-22.
- Cattell, R. B. (1987). *Intelligence: Its structure, growth and action*. New York, N.Y.: Elsevier Science Publishers B.V.
- Chen, H., Keith, T., Chen, Y., & Chang, B. (2009). What Does the WISC-IV Measure? Validation of the Scoring and CHC-based Interpretative Approaches. *Journal of Research in Education Sciences*, 54(3), 85-108.
- Craig, S. A. (2006). The Effects of an Adapted Interactive Writing Intervention on Kindergarten Children's Phonological Awareness, Spelling, and Early Reading Development: A Contextualized Approach to Instruction. *Journal of Educational Psychology*, 98(4), 714-731.
- de Kloet, A. J., Berger, M. A., Verhoeven, I. M., van Stein Callenfels, K., & Vlieland, T. P. (2012). Gaming supports youth with acquired brain injury? A pilot study. *Brain Injury*, 26(7-8), 1021-1029. doi: 10.3109/02699052.2012.654592
- Deary, I. J., Strand, S., Smith, P., & Fernandes, C. (2007). Intelligence and educational achievement. *Intelligence*, 35, 13-21.

- Deary, I. J., Whalley, L. J., Lemmon, H., Crawford, J. R., & Starr, J. M. (2000). The stability of individual differences in mental ability from childhood to old age: follow-up of the 1932 Scottish Mental Survey. *Intelligence*, 28, 49-55.
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). *Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS)*. San Antonio, TX: : The Psychological Corporation.
- DeThorne, L. S., & Schaefer, B. A. (2004). A guide to child nonverbal IQ measures. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 13, 275-290.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. [Research Support, N.I.H., Extramural Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Science*, 318(5855), 1387-1388. doi: 10.1126/science.1151148
- Dunn, L. M., & Dunn, D. M. (2007). *Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT™-4)* (4th ed.). San Antonio: TX: Harcourt Assessment.
- Emerson, E., Einfeld, S., & Stancliffe, R. J. (2010). The mental health of young children with intellectual disabilities or borderline intellectual functioning. [Comparative Study Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*, 45(5), 579-587. doi: 10.1007/s00127-009-0100-y
- Gardner, H., & Hatch, T. (1989). Educational Implications of the Theory of Multiple Intelligences. *Educational Researcher*, 18(8), 4-10.
- Gigi, K., Werbeloff, N., Goldberg, S., Portuguese, S., Reichenberg, A., Fruchter, E., et al. (2014). Borderline intellectual functioning is associated with poor social functioning, increased rates of psychiatric diagnosis and drug use - A cross sectional population based study. *Eur Neuropsychopharmacol*. doi: 10.1016/j.euroneuro.2014.07.016
- Gray, J. R., & Thompson, P. M. (2004). Neurobiology of intelligence: science and ethics. [Research Support, U.S. Gov't, P.H.S. Review]. *Nat Rev Neurosci*, 5(6), 471-482. doi: 10.1038/nrn1405
- Hassiotis, A., Strydom, A., Hall, I., Ali, A., Lawrence-Smith, G., Meltzer, H., et al. (2008). Psychiatric morbidity and social functioning among adults with borderline intelligence living in private households. *J Intellect Disabil Res*, 52(Pt 2), 95-106. doi: 10.1111/j.1365-2788.2007.01001.x

- Hassiotis, A., Tanzarella, M., Bebbington, P., & Cooper, C. (2011). Prevalence and predictors of suicidal behaviour in a sample of adults with estimated borderline intellectual functioning: results from a population survey. *J Affect Disord*, *129*(1-3), 380-384. doi: 10.1016/j.jad.2010.10.002
- Healy, A. F., Wohldmann, E. L., Sutton, E. M., & Bourne, L. E., Jr. (2006). Specificity effects in training and transfer of speeded responses. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *32*(3), 534-546. doi: 2006-06644-007 [pii]
10.1037/0278-7393.32.3.534
- Herrington, V. (2009). Assessing the prevalence of intellectual disability among young male prisoners. *J Intellect Disabil Res*, *53*(5), 397-410. doi: 10.1111/j.1365-2788.2008.01150.x
- Hunter, J. E., & Schmidt, F. L. (1996). Intelligence and job performance: Economic and social implications. *Psychology, Public Policy, and Law*, *2*(3-4), 447-472.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. [Research Support, N.I.H., Extramural Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S.]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *105*(19), 6829-6833. doi: 10.1073/pnas.0801268105
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. [Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S.]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *108*(25), 10081-10086. doi: 10.1073/pnas.1103228108
- Kail, R., & Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. [Research Support, U.S. Gov't, P.H.S. Review]. *Acta Psychol (Amst)*, *86*(2-3), 199-225.
- Karande, S., Kanchan, S., & Kulkarni, M. (2008). Clinical and psychoeducational profile of children with borderline intellectual functioning. *Indian J Pediatr*, *75*(8), 795-800. doi: 10.1007/s12098-008-0101-y
- Kinsella, G., Ong, B., Murtagh, D., Prior, M., & Sawyer, M. (1999). The role of the family for behavioral outcome in children and adolescents following traumatic brain injury. *J Consult Clin Psychol*, *67*(1), 116-123.

- Kvist, A. V., & Gustafsson, J. E. (2008). The relation between fluid intelligence and the general factor as a function of cultural background: A test of Cattell's Investment theory. *Intelligence*, *36*(5), 422-436.
- Lilienthal, L., Tamez, E., Shelton, J. T., Myerson, J., & Hale, S. (2013). Dual n-back training increases the capacity of the focus of attention. [Randomized Controlled Trial]. *Psychon Bull Rev*, *20*(1), 135-141. doi: 10.3758/s13423-012-0335-6
- Mackey, A. P., Hill, S. S., Stone, S. I., & Bunge, S. A. (2011). Differential effects of reasoning and speed training in children. *Dev Sci*, *14*(3), 582-590. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.01005.x
- MacMillan, D. L., Gresham, F. M., Bocian, K. M., & Lambros, K. M. (1998). Current Plight of Borderline Students: Where Do They Belong? *Education and Training in Mental Retardation and Developmental Disabilities*, *33*(2), 83-94.
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, *37*(1), 1-10.
- Moffitt, T. E., Caspi, A., Harkness, A. R., & Silva, P. A. (1993). The Natural-History of Change in Intellectual-Performance - Who Changes - How Much - Is It Meaningful. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *34*(4), 455-506.
- Munro, N., Lee, K., & Baker, E. (2008). Building vocabulary knowledge and phonological awareness skills in children with specific language impairment through hybrid language intervention: a feasibility study. *Int J Lang Commun Disord*, *43*(6), 662-682. doi: 905627917 [pii]
10.1080/13682820701806308
- Neugnot-Cerioli, M., Gagner, C., & Beauchamp, M. H. (In press). The use of games in paediatric cognitive intervention: a systematic review. *International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*.
- Nisbett, R. E. (2009). *Intelligence and How to Get It: Why Schools and Cultures Count*. W. W. Norton & Company.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., et al. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, *465*(7299), 775-778. doi: nature09042 [pii]
10.1038/nature09042

- Passig, D., & Eden, S. (2000). Enhancing the Induction Skill of Deaf and Hard-of-Hearing Children with Virtual Reality Technology. *J Deaf Stud Deaf Educ*, 5(3), 277-285. doi: 10.1093/deafed/5.3.277
5/3/277 [pii]
- Perrig, W. J., Hollenstein, M., & Oelhafen, S. (2009). Can We Improve Fluid Intelligence With Training on Working Memory in Persons With Intellectual Disabilities? *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 8(2), 148-164.
- Rezaiyan, A., Mohammadi, E., & Fallah, P. A. (2007). Effect of computer game intervention on the attention capacity of mentally retarded children. *Int J Nurs Pract*, 13(5), 284-288. doi: IJN639 [pii]
10.1111/j.1440-172X.2007.00639.x
- Rindermann, H., Flores-Mendozab, C., & Mansur-Alvesb, M. (2010). Reciprocal effects between fluid and crystallized intelligence and their dependence on parents' socioeconomic status and education. *Learning and Individual Differences*.
- Segers, E., Nooijen, M., & de Moor, J. (2006). Computer vocabulary training in kindergarten children with special needs. *Int J Rehabil Res*, 29(4), 343-345. doi: 10.1097/MRR.0b013e328010f4e0
00004356-200612000-00013 [pii]
- Soderqvist, S., Nutley, S. B., Ottersen, J., Grill, K. M., & Klingberg, T. (2012). Computerized training of non-verbal reasoning and working memory in children with intellectual disability. *Front Hum Neurosci*, 6, 271. doi: 10.3389/fnhum.2012.00271
- Spearman, C. (1923). *The nature of "intelligence" and the principles of cognition*. Oxford (England): Macmillan.
- Staiano, A. E., Abraham, A. A., & Calvert, S. L. (2012). Competitive versus cooperative exergame play for African American adolescents' executive function skills: short-term effects in a long-term training intervention. *Dev Psychol*, 48(2), 337-342. doi: 2012-04837-002 [pii]
10.1037/a0026938
- Stolker, J. J., Heerdink, E. R., Leufkens, H. G., Clerkx, M. G., & Nolen, W. A. (2001). Determinants of multiple psychotropic drug use in patients with mild intellectual

- disabilities or borderline intellectual functioning and psychiatric or behavioral disorders. [Comparative Study]. *Gen Hosp Psychiatry*, 23(6), 345-349.
- Taylor, H. G., Yeates, K. O., Wade, S. L., Drotar, D., Klein, S. K., & Stancin, T. (1999). Influences on first-year recovery from traumatic brain injury in children. *Neuropsychology*, 13(1), 76-89.
- te Nijenhuis, J., van Vianen, A. E. M., & van der Flier, H. (2007). Score gains on g-loaded tests: No g. *Intelligence*, 35(3), 283-300.
- Turkheimer, E., Haley, A., Waldron, M., D'Onofrio, B., & Gottesman, II. (2003). Socioeconomic status modifies heritability of IQ in young children. *Psychol Sci*, 14(6), 623-628. doi: psci_1475 [pii]
- Van der Molen, M. J., Van Luit, J. E., Van der Molen, M. W., Klugkist, I., & Jongmans, M. J. (2010). Effectiveness of a computerised working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. [Comparative Study
Randomized Controlled Trial
Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Intellect Disabil Res*, 54(5), 433-447. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01285.x
- Weschler, D. (1939). *The measurement of adult intelligence*. Baltimore, MD, US: Williams & Wilkins Co.
- Weschler, D. (1999). *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence*. San Antonio:TX: Harcourt Assessment.
- Weschler, D. (2003). *Wechsler Intelligence Scale for Children — Fourth Edition* San Antonio:TX: Harcourt Assessment.
- Weschler, D. (2006). *Wechsler Nonverbal Scale of Ability*. San Antonio:TX: Harcourt Assessment.

**CHAPITRE 5: VARIABLES INFLUENÇANT LA
REMÉDIATION COGNITIVE VIA LE PROGRAMME GAME**

I. Introduction

Comme nous l'avons vu dans le Chapitre 4, le programme GAME a permis une amélioration des compétences de raisonnement ciblées. Ainsi les individus ayant suivi le programme GAME-c (portant sur le raisonnement cristallisé) ont montré une amélioration de leurs compétences cristallisées, notamment sur l'échelle de QI Verbal (QIV), alors que les individus ayant suivi GAME-f (portant sur le raisonnement fluide) ont connu une amélioration de leur fonctionnement intellectuel fluide, évalué par l'échelle TONI. De manière plus surprenante, les adolescents qui suivaient le programme GAME-c ont également amélioré leur raisonnement fluide.

1. Variables influençant la Réponse à l'Intervention (RAI)

La littérature anglophone dans le champ de la réadaptation fait référence à la notion de « *responsiveness to intervention* » ou « *unresponsiveness to intervention* » et le terme de réponse à l'intervention (RAI) sera utilisé ici en guise de traduction. La notion de RAI peut référer à une méthode employée pour diagnostiquer un trouble des apprentissages, en identifiant les individus qui ne répondent pas aux interventions (Fuchs & Fuchs, 2009; Fuchs & Vaughn, 2012). Toutefois, ce n'est pas l'aspect de la RAI que nous aborderons ici, puisque les adolescents ayant suivi la remédiation ont déjà tous reçu un diagnostic d'intelligence limite, et souvent un à plusieurs diagnostics de troubles d'apprentissage. La RAI telle qu'abordée ici désigne le fait de juger le niveau de la réceptivité d'un individu face à une remédiation (Al Otaiba, 2002). En effet, tous les individus ne profitent pas de la même façon d'une remédiation cognitive : certains présentent une meilleure récupération que d'autres (Al Otaiba, 2002). Notre objectif était donc d'identifier les différents facteurs (cognitifs,

comportementaux, psychiatriques) qui ont contribué à l'amélioration des compétences sur chaque versant du programme GAME.

À ce jour, il n'y a pas d'étude ayant évalué la RAI sur des remédiations ciblant l'intelligence, puisque ce domaine d'étude est encore très récent (Nisbett, 2009). En revanche, plusieurs études portant sur la RAI se sont intéressées à des remédiations ciblant la conscience phonologique et leurs résultats ne font pas toujours consensus. En effet, seulement 35% d'un échantillon d'enfants d'âge préscolaire avait montré une amélioration suite à une intervention sur la conscience phonologique et ce qui différenciait ces enfants des « non-répondants » était le niveau initial du QIV: plus il était faible, moins les enfants montraient d'améliorations (Torgesen & Davis, 1996). Ces résultats sont soutenus par ceux de Beringer et al. (1999), alors qu'une étude similaire n'a pas retrouvé cet effet (W. Schneider, Ennemoser, Roth, & Kuspert, 1999). Ainsi, le niveau de QI initial semble pouvoir jouer un rôle sur la RAI, mais ceci ne serait pas systématique. D'ailleurs, Stage et al. (2003) argumentent que dans le cas de leur intervention sur la conscience phonologique, le QIV initial n'était pas un bon prédicteur comparé au niveau de prérequis à la lecture ou aux capacités attentionnelles. Des études portant sur d'autres domaines d'intervention, comme le raisonnement verbal ou la MDT, identifient également une moins bonne RAI chez les enfants présentant des difficultés attentionnelles (S. A. Gray, et al., 2012; O'Shaughnessy & Swanson, 2000; Vadasy, et al., 1997). Ainsi, dans le projet GAME, le niveau de fonctionnement initial sur les mesures d'intelligence fluide et cristallisée (Gf et Gc), ainsi que les capacités attentionnelles des adolescents ont été pris en compte pour voir s'ils influençaient ou non la RAI. Les aspects comportementaux qui découlent de difficultés attentionnelles (impulsivité, agitation motrice, etc.) pourraient sans doute également influencer la RAI.

2. Objectifs

Les objectifs du présent chapitre sont les suivants: 1) Établir le lien entre les habiletés cognitives initiales sur chaque facteur testé (raisonnements fluide et cristallisé) et le niveau de RAI, compte tenu des études suggérant un lien entre niveau cognitif initial et la RAI (Berninger, et al., 1999; Torgesen & Davis, 1996; Vadasy, et al., 1997); 2) Explorer l'association entre les habiletés attentionnelles et le niveau d'amélioration, en prenant en compte les résultats des adolescents ayant un FIL aux tests attentionnels, ainsi que sur les réponses aux questionnaires remplis par leurs parents et l'intervenant (CBCL). 3) Établir dans quelle mesure les profils comportementaux et psychiatriques des adolescents ayant un FIL prédisent la RAI pour chaque versant du programme GAME.

3. Hypothèses

Les hypothèses formulées en lien avec les objectifs sont les suivantes : 1) Les habiletés initiales n'influenceront pas la remédiation, compte tenu des études ne retrouvant pas d'association (W. Schneider, et al., 1999; Stage, et al., 2003) 2) De faibles capacités attentionnelles devraient entraîner une moins bonne récupération, peu importe le versant du programme (GAME-f et GAME-c). 3) Au niveau comportemental, nous prévoyons que les comportements externalisés gêneront davantage les adolescents dans leur RAI que les problèmes internalisés (S. A. Gray, et al., 2012). 4) La récupération sera moins bonne chez les individus qui présentent des symptômes psychiatriques, notamment pour la dépression qui est connue pour avoir une incidence négative sur la cognition (Hammar & Ardal, 2009).

II. Méthodologie

1. Participants

Vingt-quatre adolescents (16 garçons, $M=14.12$ ans, $SD=1.05$) ayant suivi l'un des deux programmes de remédiation GAME ont participé à cette étude. Chaque groupe de remédiation cognitive (GAME-f et GAME-c) était composé de douze adolescents.

2. Mesures

La méthodologie complète du programme GAME incluant une description détaillée des mesures est présentée au Chapitre 3 (Neugnot-Cerioli, Gagner, & Beauchamp, En revision). En guise de rappel, un bref résumé des outils d'évaluation utilisés est présenté ici.

2. a. Évaluation cognitive

Les adolescents étaient évalués avant et après la remédiation cognitive, afin de mesurer leur amélioration suite au programme GAME. Le Test of Non Verbal Intelligence, Fourth Edition (TONI-4, Brown, Sherbenou, & Johnsen, 2010) évaluait les aspects fluides de l'intelligence, les adolescents effectuaient la version A en pré-test et la version B en post-test. Le *QIV* permettait une évaluation de l'intelligence cristallisée à l'aide de la Weschler Intelligence Scale-4th Edition (WISC-IV, Weschler, 2003) en pré-test et de la Weschler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI, Weschler, 1999) en post-test. Les sous-tests *Recherche dans le ciel*, *Coups de fusil* et *Faire deux choses à la fois* de la *Test of Everyday Attention for Children* (TEA-CH, Manly, Robertson, Anderson, & Nimmo-Smith, 1998) permettent une évaluation des capacités d'attention sélective sur les modalités visuelle et

auditive et en attention divisée intermodale. La personne doit repérer des cibles parmi des distracteurs, dénombrer des sons sur un laps de temps, puis effectuer ces deux tâches en même temps.

2. b. Questionnaires

Child Behaviour Checklist (CBCL, Achenbach & Rescorla, 2000): Ce questionnaire comprend plusieurs formes, l'une s'adressant aux parents et une autre à l'enseignant (qui était ici remplie par l'intervenant qui avait effectué le plus d'heures de remédiation avec l'adolescent). Il permet d'évaluer les comportements internalisés et les comportements externalisés selon huit sous-échelles (T-score=50, SD=10).

Brief Symptom Inventory (BSI, Derogatis, 2001): Ce questionnaire autorapporté est utilisé pour identifier la présence de niveau de manifestations psychiatriques selon neuf échelles : *Somatisation, Comportements obsessifs-compulsifs, Sensibilité Interpersonnelle, Dépression, Anxiété, Hostilité, Phobie, Idéation paranoïde, Psychotisme* (T-score=50, SD=5).

3. Analyses statistiques

Compte tenu de la multicolinéarité des variables et de la taille d'échantillon, des régressions linéaires simples ont été préférées aux régressions linéaires multiples, le but ici étant d'estimer la valeur prédictive des variables cognitives (*QIV, TONI-4, TEA-CH*), comportementales (*CBCL*) et psychiatriques (*BSI*) sur la récupération (RAI). Les mêmes analyses ont été conduites séparément pour les adolescents ayant suivi GAME-f et GAME-c. Concernant GAME-f, la RAI n'a été évaluée que sur la variable *TONI-4*. Pour GAME-c la

RAI a été étudiée sur la variable *QIV*, ainsi que sur la variable *TONI-4*, puisque le groupe GAME-c a obtenu des améliorations sur le raisonnement fluide.

III. Résultats

1. GAME-fluide

Conformément à nos hypothèses de départ, le niveau de base de l'adolescent en terme d'intelligence cristallisée (*QIV*) et de raisonnement fluide (*TONI-4*) ne permet pas de prédire l'amélioration des adolescents suite au programme (respectivement, $R^2 = .32$, $p = .07$; $R^2 = .01$, $p = .80$). Les capacités attentionnelles visuelle (*Recherche dans le ciel*), auditive (*Coups de fusil*) et divisée (*Faire deux choses à la fois*) ne permettent pas non plus de prédire la RAI ($R^2=.15$, $p=.27$; $R^2=.11$, $p=.35$; $R^2=.03$, $p=.66$) (Tableau 1).

Au CBCL Parent, l'échelle *Externalisé* permet de prédire l'amélioration des adolescents ($\beta=.82$, $R^2=.68$, $p=.003$), plus le niveau d'externalisation est élevé, plus la RAI est importante. Aucun résultat significatif n'est présent entre la RAI sur le *QIV* et le reste des échelles du CBCL Parent ou de la version Enseignant complétée par l'intervenant ($p>.05$). Au BSI, aucun indice n'est apparu significatif.

2. GAME-Cristallisé

Effet sur l'intelligence cristallisée (QIV)

Concernant les variables cognitives, le niveau de base de l'intelligence cristallisée (*QIV*) et du raisonnement fluide (*TONI*) ne permet pas de prédire la RAI sur l'intelligence cristallisée dans le programme GAME-c (respectivement, $R^2=.03$, $p=.60$; $R^2=.04$, $p=.56$). Les

capacités attentionnelles visuelle (*Recherche dans le ciel*), auditive (*Coups de fusil*) et divisée (*Faire deux choses à la fois*) ne permettent pas non plus de prédire la RAI ($R^2=.06$, $p=.45$; $R^2=.11$, $p=.31$; $R^2=.06$, $p=.51$).

Au CBCL Parent et Enseignant, aucun indice ne permet de prédire la RAI. Au BSI, l'échelle *Comportements Obsessif-Compulsifs* tend à être significative ($\beta=-.55$, $R^2=.31$, $p=.06$), plus les adolescents auraient de manifestations obsessionnelles-compulsives, moins ils bénéficieraient de l'intervention GAME-c pour améliorer leur intelligence cristallisée.

Effet sur le raisonnement fluide (TONI)

Concernant les variables cognitives, le niveau de base de l'intelligence cristallisée (*QIV*) et du raisonnement fluide (*TONI*) ne permet pas de prédire la RAI sur le raisonnement fluide dans le programme GAME-c (respectivement, $R^2=.14$, $p=.22$; $R^2=.002$, $p=.90$). Les capacités attentionnelles visuelle (*Recherche dans le ciel*), auditive (*Coups de fusil*) et divisée (*Faire deux choses à la fois*) ne permettent pas non plus de prédire la RAI ($R^2=.008$, $p=.79$; $R^2=.16$, $p=.22$; $R^2=.12$, $p=.29$).

Au CBCL Parent, aucun indice ne permet de prédire la RAI. Au BSI, les échelles *Dépression* et *Hostilité* permettent de prédire la RAI au programme GAME-c sur le raisonnement fluide (respectivement $\beta=-.58$, $R^2=.3$, $p=.05$ et $\beta=-.60$, $R^2=.36$, $p=.04$).

IV. Discussion

L'objectif de ce chapitre était d'établir les facteurs cognitifs, comportementaux et psychiatriques susceptibles de prédire l'amélioration des adolescents suite à l'intervention cognitive. En effet, les programmes de remédiations cognitives se concentrent souvent

d'avantage sur les variables inhérentes au programme qui permettent d'influencer l'amélioration (e.g., temps, intervenant), plutôt que sur les variables inhérentes aux participants. Les deux versants du programme GAME (GAME-f et GAME-c) étaient traités séparément dans nos analyses, toutefois certains résultats communs ont été retrouvés dans les deux échantillons.

Le niveau cognitif de base de la fonction entraînée ne permet pas de prédire la RAI, les jeunes démontrant une moins bonne performance au pré-test avaient autant de chance d'améliorer leurs habilités cognitives suite à l'intervention GAME, que ce soit sur le raisonnement fluide ou cristallisé, et ceci, peu importe le programme. Nos résultats sont donc en accord avec ceux de Schneiderman (1995) et Stage et al. (2003), ces derniers n'ayant pas non plus identifié de lien entre le niveau initial au QIV et l'amélioration suite à un entraînement sur la conscience phonologique.

Contrairement à nos hypothèses initiales, les capacités attentionnelles au pré-test ne permettent pas non plus de prédire l'amélioration des jeunes à aucun des deux programmes (GAME-c et GAME-f), que celles-ci soient évaluées directement par des tests attentionnels ou d'après des échelles de comportement évaluant la perception du parent et de l'intervenant du niveau attentionnel des participants (CBCL Parent et Enseignant). Plusieurs hypothèses pourraient expliquer ces résultats en apparence contradictoires. Tout d'abord, le programme GAME est constitué de jeux, le matériel utilisé durant l'intervention est donc ludique et motivationnel, ce qui pourrait diminuer l'impact négatif de l'attention sur la RAI. De plus, chaque séance d'intervention était effectuée de manière individuelle et ne durait qu'une heure durant laquelle l'adolescent jouait à trois jeux différents. Ceci permettait donc de diminuer la lassitude face à la tâche en changeant régulièrement d'activités tout en apportant un étayage

fréquent et régulier de la part de l'intervenant, diminuant possiblement les comportements inattentifs. La salle dans laquelle avait lieu la remédiation était toujours la même et ne disposait que d'un bureau et de deux chaises, minimisant également les distractions. Enfin, la plupart des adolescents (92%)(Neugnot-Cerioli, Gagner, & Beauchamp, Submitted) bénéficiaient d'une médication pour pallier les problèmes d'attention. Ces différents éléments pourraient permettre d'expliquer pourquoi les compétences attentionnelles n'avaient pas d'impact sur l'amélioration du raisonnement. Ceci suggère d'ailleurs que le programme GAME peut être adressé à des personnes souffrant de difficultés attentionnelles, sans que ceci ne remette en cause les progrès qu'ils effectueront dans le programme et pourrait être vu comme une qualité du programme GAME.

Concernant les manifestations comportementales, pour le programme GAME-f, les comportements externalisés permettent de prédire une plus grande amélioration du raisonnement fluide. Ceci peut sembler surprenant, puisque les comportements externalisés sont liés aux comportements de type inattentifs et agressifs, ainsi qu'au non-respect des règles. Toutefois, 83.30% de l'échantillon de participants se trouve sous le seuil cliniquement significatif pour les comportements externalisés. Ainsi, la plupart ne présentent pas de problèmes de comportements et sont des adolescents ayant plutôt des comportements actifs (évalués par l'échelle de comportements externalisés), ce qui pourrait se traduire par une plus grande curiosité et un meilleur investissement dans les tâches du programme GAME. Concernant le programme GAME-c, les comportements internalisés et externalisés évalués par les parents et l'intervenant ne permettaient pas de prédire la RAI.

La présence de manifestations psychiatriques tendait à être associée à une moins bonne récupération au sein des versants GAME-c et GAME-f du programme d'intervention. Les

échelles de mesure utilisées pour comptabiliser les symptômes psychiatriques faisaient référence à des problèmes de pensées, de dépression ou d'hostilité envers l'entourage et ont permis de prédire une moins bonne amélioration du raisonnement fluide et cristallisé. Ces résultats sont donc en accord avec nos hypothèses initiales et sont en accord avec une étude antérieure démontrant que les problèmes de dépression sont généralement associés à une diminution du rendement cognitif (Hammar & Ardal, 2009).

Ces analyses présentent certaines limites. Ainsi, la taille de l'échantillon pour chacun des groupes est petite et diminue la puissance statistique des analyses. Une plus grande puissance statistique pourrait permettre de mettre en lumière d'autres associations entre les variables initiales et le RAI. Ici, le groupe contrôle était exclu, ce qui ne permet plus de prendre en compte l'effet de pratique ou le manque d'équivalence parfaite entre les tests des évaluations pré- et post, puisque les différences trouvées au sein de chaque groupe de remédiation ne peuvent plus être comparées à des individus n'ayant pas suivi d'intervention. Toutefois, l'effet de pratique ne devrait pas avoir influencé les résultats puisqu'il est normalement équivalent chez tous les participants, ce qui ne devrait donc pas confondre les analyses de régression. Enfin, les variables étudiées sont toutes corrélées entre elles, ce qui empêche de mesurer la contribution spécifique de chaque variable sur la variance totale de l'amélioration suite à la remédiation.

En conclusion, le niveau cognitif initial ne permet pas de prédire la RAI au sein du programme GAME, aussi bien pour le versant fluide que cristallisé. C'est également le cas pour les capacités attentionnelles. Ainsi, le programme GAME peut s'adapter à une population dont le quotient intellectuel est variable. Certains adolescents du présent projet présentaient un QI proche de la déficience intellectuelle légère, il serait donc intéressant de voir si les

adolescents présentant une DIL pourraient aussi bénéficier du programme GAME. De plus, la présence de troubles déficitaires de l'attention n'est pas incompatible avec notre programme, puisque la plupart de l'échantillon avait reçu ce diagnostic et que la présence de difficultés attentionnelles n'influençait pas la RAI. Enfin, et comme il serait probablement le cas pour la plupart des programmes d'intervention, la présence de manifestations psychiatriques semble diminuer la RAI. Il est donc important de prendre en compte l'état psychique des adolescents avant de leur proposer une prise en charge cognitive, notamment pour le programme GAME-c.

CHAPITRE 6 : DISCUSSION GÉNÉRALE

I. Résumé des principaux résultats

L'objectif principal de cette thèse était de créer, d'implanter et d'évaluer l'efficacité d'un programme de remédiation cognitive intervenant de façon comparable sur les aspects fluide (Gf) et cristallisé (Gc) de l'intelligence, au sein d'une population d'intérêt clinique, les adolescents présentant un fonctionnement intellectuel limite (FIL). Compte tenu de la forte prévalence de ce trouble, il était préférable de choisir un support facile d'accès et pouvant s'implanter dans différents milieux. C'est pour cette raison que le programme de remédiation GAME (Gains et Apprentissage Multiples pour Enfant) s'est développé autour de jeux disponibles dans le commerce, afin de pouvoir l'utiliser aisément dans les écoles, à la maison ou en milieu hospitalier. Ce support semblait d'autant plus intéressant qu'il est ludique, ce qui pourrait entraîner une plus grande motivation auprès d'une population pédiatrique.

1. Intervention par le jeu

Afin de développer le programme GAME, il était nécessaire dans un premier temps de faire le point sur les remédiations cognitives utilisant le jeu comme outil d'intervention, pour en connaître les avantages et les limites. La revue systématique de la littérature (Chapitre 2), portant sur l'utilisation du jeu comme outil de remédiation cognitive dans la population pédiatrique, a permis d'orienter le développement du programme GAME. Tout d'abord, cette approche s'est confirmée comme pouvant être efficace puisque la plupart des études identifiées dans la revue systématique concluaient à une amélioration suite à l'intervention. La versatilité de cet outil est également une de ses qualités principales. Le jeu s'adresse à des populations très variables, peut se faire sur différents supports et s'applique à de nombreuses

fonctions cognitives. En effet, les différentes interventions documentées dans la recension des écrits portaient sur des populations variées, allant d'enfants présentant des retards de langage, des troubles du spectre autistiques, de l'attention, ou des enfants en surpoids, malentendants, ou issus de milieux socioéconomiques défavorisés. Une grande part des remédiations se faisait sous la forme de jeux d'ordinateurs qui ont l'avantage de nécessiter une moins grande supervision; alors que les jeux exigeant une interaction directe (ex : rime, lecture et invention d'histoire) étaient davantage utilisés dans le domaine du langage. Le langage oral et écrit, l'attention et les fonctions exécutives, le raisonnement fluide et le traitement des visages constituent les différents domaines cognitifs rééduqués avec succès dans ces études. En partant de ce constat, les jeux nécessitant des interactions sociales ont été favorisés pour le programme GAME-c, versant visant les compétences cristallisées, qui sont étroitement reliées au langage. De même, l'un des jeux utilisés avec succès dans la remédiation rapportée dans la recension des écrits sur le raisonnement fluide (Mackey, et al., 2011) a été conservé dans le programme GAME-f, qui visait ces mêmes aspects (Gf).

Plus de la moitié des études identifiées dans la recension des écrits utilisaient un paradigme expérimental d'une qualité allant d'intermédiaire à élevée. Certains éléments sont toutefois apparus essentiels pour garantir une généralisation des résultats et ils ont donc été intégrés dans le projet GAME. La présence d'un groupe contrôle et d'une attribution aléatoire (expérimental vs. contrôle) apparaît essentielle pour pouvoir interpréter les améliorations qui pourraient être constatées suite à la remédiation afin de pouvoir généraliser les résultats. De plus, il est important que les évaluations post-tests soient effectuées à l'aveugle, c'est-à-dire, sans que l'évaluateur connaisse le groupe d'appartenance de l'enfant évalué, afin d'éviter un biais dans la passation des épreuves. Le niveau initial aux tests cognitifs se doit d'être

similaire entre chaque groupe ou, si ce n'est pas le cas, il doit être considéré comme un facteur confondant, au moment des analyses statistiques. Concernant le temps d'intervention, les études variaient grandement, mais la plupart de celles qui s'étaient révélées efficaces duraient de deux à trois mois à raison de trente minutes à deux heures par semaine. Généralement les remédiations durant environ deux mois semblaient suffisantes pour constater des améliorations, ce qui est d'ailleurs également le cas pour des protocoles d'intervention utilisant d'autres types de matériel d'intervention (Slomine & Locascio, 2009). La durée du programme GAME a donc été fixée à huit semaines de remédiation, à raison de deux séances d'une heure par semaine. De plus, particulièrement lors du programme GAME-f, les jeux étaient présentés de façon à ce que la difficulté soit croissante tout au long de la remédiation, puisqu'une telle approche permettrait une optimisation de la récupération (Brennan & Ireson, 1997). Parmi les études révisées, d'autres informations étaient souvent négligées et n'étaient pas rapportées, telles que le lieu où se déroulait l'intervention, la formation des intervenants, mais aussi les tailles d'effet, lorsque certains résultats étaient significatifs; une attention particulière a donc été portée dans le report des données.

Cette recension des écrits a permis d'avoir un aperçu systématique de l'état des connaissances sur la remédiation cognitive par le jeu dans la population pédiatrique. Elle a fourni un cadre détaillé des différents points méthodologiques à prendre en compte et fut essentielle dans la construction du programme GAME, tant au niveau du programme en soi, du choix des jeux, que du report de ces informations et du traitement des données.

2. Le fonctionnement intellectuel limite (FIL) à l'adolescence

Le second article (Chapitre 3) présenté dans ce travail de thèse portait sur la population ciblée par le programme de remédiation cognitive GAME, les adolescents présentant un fonctionnement intellectuel limite (FIL). Tel que mentionné précédemment, le FIL a été très peu étudié alors même que 12 à 18% de la population fonctionne à ce niveau et qu'il est souvent associé à une multitude de comorbidités (Ferrari, 2009; Hassiotis, et al., 2011). En effet la littérature sur le sujet traite souvent ce niveau de fonctionnement en lien avec la DIL et adresse les différentes comorbidités de manière spécifique, ce qui ne permet pas d'avoir un profil global de ces jeunes. L'objectif de cette étude était donc d'évaluer les profils cognitif, adaptatif, comportemental et psychiatrique et d'évaluer comment ces caractéristiques étaient susceptibles d'influencer le niveau de stress vécu par les parents. Concernant le fonctionnement cognitif, le niveau de vocabulaire réceptif des adolescents présentant un FIL était normatif et constituait une force spécifique, tout comme les capacités de fluidité verbale, qui restaient toutefois situées dans la zone limite. Un effet similaire est retrouvé dans les études en déficience intellectuelle et les auteurs argumentent que ces habiletés dépendent plus de l'âge chronologique que développemental, puisque ce qui aurait le plus d'importance est le temps d'exposition au langage (Danielsson, et al., 2012; Facon & Facon-Bollengier, 1997). La plupart de l'échantillon avait recours à la prise d'une médication pour corriger les difficultés attentionnelles. Ceci explique sans doute que l'attention et la mémoire de travail étaient légèrement supérieures au fonctionnement intellectuel global sur certains aspects (attention visuelle et auditive, MDT visuelle) et non d'autres (attention soutenue et MDT verbale), ces premiers étant d'ailleurs connus pour être mieux corrigés par la prise de psychostimulants que ces derniers (Holmes, et al., 2010; Konrad, Gunther, Hanisch, & Herpertz-Dahlmann, 2004).

Le niveau des comportements adaptatifs des adolescents présentant un FIL, bien que situé dans la zone limite, était supérieur à leur fonctionnement intellectuel global et n'était d'ailleurs pas corrélé avec celui-ci. Il apparaît donc essentiel de les évaluer spécifiquement, d'avoir une représentation juste du fonctionnement adaptatif de ces adolescents dans la vie quotidienne, plutôt que de considérer uniquement le score global de QI qui n'en serait pas un indicateur précis. Le niveau élevé de manifestations comportementales et psychiatriques a déjà été mentionné dans cette population (Emerson, 2003; Gigi, et al., 2014; Hassiotis, et al., 2008; Hassiotis, et al., 2011) et cet article en retrouve également un niveau inquiétant. Il apparaît donc indispensable de dépister de façon systématique la présence de troubles psychiatriques chez les adolescents présentant un FIL, d'autant que le risque suicidaire est connu pour être plus élevé dans cette population (Hassiotis, et al., 2011). Il est également nécessaire de dépister les troubles du comportement, qu'ils soient internalisés ou externalisés, puisqu'ils sont associés à un plus haut niveau de stress parental et auraient donc un impact direct sur le fonctionnement familial.

3. Le programme GAME: de sa création à l'évaluation de son efficacité

La création et la validation du programme GAME auprès d'une population présentant un FIL constituaient la partie centrale de ce travail de thèse. Dans un premier temps, l'objectif était de créer un programme portant sur deux dimensions de l'intelligence, les raisonnements fluide et cristallisé, en adoptant une méthode comparable. En effet, les différentes études publiées lors de la dernière décennie soutiennent la possibilité d'améliorer Gf en intervenant sur la mémoire de travail (MDT) ou directement sur celle-ci (Au, et al., 2015; Jaeggi, et al.,

2008). En revanche, l'amélioration de Gc n'a pas fait l'objet d'autant d'investigation et la seule étude rapportant des améliorations s'est faite suite à une remédiation portant sur la mémoire de travail (MDT) et non directement sur Gc (Alloway & Alloway, 2009), contrairement ce qui a été fait dans ce travail de thèse. Ainsi deux versants du programme GAME ont été créés, le versant GAME-fluide (GAME-f), ciblant des tâches de logiques et de résolutions de problèmes, alors que GAME-cristallisée (GAME-c) favorisait l'apprentissage de connaissances, notamment dans le domaine verbal. Afin de permettre une comparabilité des deux versants du programme GAME, GAME-c et GAME-f se basaient chacun sur trois jeux de société, un jeu d'ordinateur et un jeu de Nintendo3DS (Voir Annexes 1 à 3). Les jeux ont été sélectionnés par une neuropsychologue et une étudiante en neuropsychologie, après avoir été pratiqués afin de cibler spécifiquement certaines habiletés. Un manuel a d'ailleurs été rédigé afin de proposer pour chacun des jeux les étapes de stratégies et d'intervention à fournir aux adolescents, et d'uniformiser au maximum les interventions faites par chacune des intervenantes (Voir Annexe 4).

Dans un second temps, l'objectif était d'évaluer l'efficacité de ce nouveau programme auprès d'adolescents présentant un FIL pur ou partiel (soit les deux indices de raisonnement étaient dans la zone limite, soit un seul des deux). Afin d'obtenir une évaluation la plus rigoureuse possible de l'efficacité de GAME-f et GAME-c, la passation des évaluations et des interventions a été uniformisée au maximum. Les intervenantes, toutes étudiantes graduées en psychologie, dispensaient les deux interventions. Les horaires (matin et après-midi), le lieu (école), le temps alloué pour chaque séance (une heure), la fréquence (deux fois par semaine) et la durée (nombre maximal de seize heures) étaient similaires pour GAME-f et GAME-c.

Les évaluations pré- et post- tests étaient les mêmes pour les deux groupes de remédiations et le groupe contrôle. L'attribution à chacune des conditions était effectuée de manière aléatoire.

Cette étude soutient le fait que Gf et Gc, deux dimensions de l'intelligence, peuvent être améliorées suite à une remédiation cognitive. S'il a déjà été montré que Gf peut être améliorée par entraînement direct (Mackey, et al., 2011), c'est la première fois qu'elle l'est dans une population d'intérêt clinique, les adolescents présentant un FIL pur ou partiel. De plus, Gc n'avait jusqu'alors jamais été entraînée directement, la seule étude ayant montré une amélioration s'étant faite par le biais de la MDT dans la population normale (Alloway, 2010). Concernant GAME-f, une amélioration du raisonnement fluide a été mise en évidence suite à la remédiation avec une augmentation de 0.5 écart-type (8.32 points de QI) au test TONI-4 évaluant le raisonnement fluide en comparaison au groupe contrôle. Cette amélioration n'a pas été retrouvée au niveau du QI Perceptif de la WISC-IV, qui est construit différemment (DeThorne & Schaefer, 2004) et représente une mesure moins pure de Gf, puisqu'il évaluerait également en partie l'intelligence visuelle (Gv). Ceci pourrait donc expliquer que cet effet ne soit pas retrouvé dans cette tâche (Chen, Keith, Chen, & Chang, 2009). Concernant GAME-c, les adolescents ayant suivi ce programme ont présenté une amélioration substantielle de leur QI Verbal, soit 0.41 écart-type (+6.18 points de QI) comparé au groupe contrôle. Cette amélioration était d'ailleurs spécifique à Gc, puisque le niveau de vocabulaire réceptif est resté le même. Ceci soutient le fait que l'amélioration du QI Verbal reflète une modification des capacités de raisonnement de haut niveau, plutôt qu'un simple apprentissage de nouvelles connaissances. Suite à cette intervention, les capacités de fluence verbale, sans s'être améliorées directement, faisaient l'objet d'un traitement plus efficace, permettant de réduire leur charge cognitive. Ceci se traduit par un progrès dans la capacité à passer d'une catégorie à

l'autre en tâche de fluence verbale, les adolescents ne produisaient pas plus de mots, mais commettaient moins d'erreurs dans le respect de la règle de flexibilité. De manière surprenante, le programme GAME-c a également permis de constater une amélioration de Gf, comparable à celle obtenue par les adolescents ayant suivi le programme GAME-f. Le programme GAME-c n'utilisait pourtant pas ou peu de matériel visuel, il est donc peu probable que cet effet soit dû à un manque de spécificité de GAME-c. L'hypothèse d'explication qui semble la plus probable est donc que des transferts seraient possibles entre ces facteurs spécifiques du facteur plus général g (Carroll, 1997).

La plupart des études qui ont montré une amélioration de Gf et Gc suite à une remédiation cognitive l'ont faite par transfert après entraînement de la MDT (Alloway, et al., 2013; Au, et al., 2015; Jaeggi, et al., 2008). Un possible transfert inverse a été évalué, puisque le programme GAME se faisait par intervention directe sur Gf et Gc et non par le biais de la MDT. Ainsi, les capacités de MDT ont été évaluées avant et après la remédiation cognitive, pour rendre compte d'éventuels progrès, et ce, sur les versants verbal et visuo-perceptif. Il s'est avéré qu'aucun des volets du programme GAME (GAME-f et GAME-c) n'a permis d'améliorer la MDT verbale ou visuo-perceptive, en terme de scores obtenus à chaque épreuve ou d'empan mnésique endroit et envers. Ce résultat n'est pas surprenant puisque le programme GAME ne nécessite pas particulièrement de recourir à la MDT, les consignes et les règles de chaque jeu étant simples à intégrer et similaires d'une séance à l'autre, et les tâches à effectuer ne ciblant pas la MDT. D'ailleurs, Gray et Thompson (2004) suggèrent que la MDT et g seraient principalement reliées par les processus attentionnels. Sachant que l'entraînement de la MDT permet une amélioration de la capacité à fixer son attention (Lilienthal, Tamez, Shelton, Myerson, & Hale, 2013), l'amélioration de Gf et Gc suite à un entraînement de la

MDT pourrait donc être due principalement à une amélioration des capacités attentionnelles, qui permettrait en retour une amélioration aux tâches évaluant Gf et Gc. L'augmentation du score global de QI avec à la prise de psychostimulant dans le cas d'enfants présentant un TDAH, semble d'ailleurs soutenir cette hypothèse (Zhang, Jin, & Zhang, 2011). Dans ce cas, l'enfant réussit mieux à se concentrer sur les différentes tâches à réaliser: il est alors davantage capable d'investir ses ressources cognitives sur les différentes épreuves du test de QI.

D'ailleurs, les analyses supplémentaires effectuées dans le Chapitre 5 apportent d'autres informations importantes quant à la généralisation des résultats. Un premier élément est que le niveau cognitif de base sur Gf et Gc n'a pas influencé la qualité de l'amélioration suite à l'intervention, aussi bien pour GAMEf que GAMEc. Les habiletés attentionnelles n'ont pas non plus eu d'impact sur la qualité de la récupération, qu'elles soient évaluées par le biais de tests neuropsychologiques objectifs ou de questionnaires remplis par le parent ou l'intervenante, en fonction de ses observations pendant la remédiation. Enfin, la présence de manifestations psychiatriques entraînait une moins bonne récupération aussi bien pour GAME-f que GAME-c. Plus spécifiquement, ce sont les problèmes de pensée, de dépression et d'hostilité envers l'entourage qui permettent de prédire une moins grande amélioration suite à l'intervention.

Enfin, suite à la dernière séance de remédiation, les adolescents ont été interrogés sur leur ressenti vis-à-vis de celle-ci. Ces aspects sont certes plus qualitatifs, mais méritent d'être mentionnés, compte tenu de la valeur clinique de ce travail de thèse. Ainsi, certains jeunes semblaient rapporter une meilleure confiance en soi et en leurs habiletés (ex: « Je réussis mieux dans mes évaluations, avant je pensais toujours que ma réponse était pas bonne et en fait maintenant je sais que c'est peut-être vrai, alors j'essaie ». N.S., 14 ans, GAME-c) ou une

bonne intégration des stratégies fournies (« J'arrive mieux à tout bien regarder avant de commencer et des fois ben je fais pas d'erreur parce que j'ai pris le temps comme tu m'as dit de faire ». Z.S, 12 ans, GAME-f) (Voir Annexe 5 pour plus d'exemples). La plupart des adolescents se sont montrés investis durant l'intervention et prenaient plaisir à venir assister aux séances. L'adolescence est parfois un âge plus complexe pour intéresser des jeunes à prendre part à un programme de remédiation, et les retours positifs des adolescents montrent que l'approche adoptée était ici adaptée à leurs profils et leurs intérêts, permettant de garantir une belle implication et une motivation tout au long des séances de remédiations. Les intervenantes ont également rapporté avoir eu une expérience positive durant les séances, qui ont souvent vu naître une certaine complicité avec les adolescents.

Les résultats de ces études apportent de nouvelles informations sur la remédiation cognitive par le jeu, le profil des adolescents présentant un FIL et la remédiation de certains aspects de l'intelligence, Gf et Gc, dans une population d'intérêt clinique présentant un FIL pur ou partiel associé ou non à des troubles d'apprentissage. Certaines limites inhérentes aux questions de recherche, ainsi qu'à la réalité clinique, doivent toutefois être mentionnées.

II. Limites de l'étude

Certaines limites sont communes aux deux études expérimentales de ce travail de thèse, puisque les deux populations se recouvraient en partie et étaient recrutées dans le même établissement scolaire. En effet, ces adolescents présentaient souvent de nombreuses comorbidités en lien avec leur profil cognitif global, dont des troubles d'apprentissage (TDA/H, troubles spécifique du langage oral et écrit, trouble d'acquisition de la coordination, etc.) et des troubles psychiatriques (trouble anxieux, trouble de l'attachement, dépression,

etc.). Toutefois, cette hétérogénéité des profils fait partie de la réalité clinique et la définition même du FIL, puisqu'en effet, la plupart des individus ayant un FIL présente également une comorbidité associée (Salvador-Carulla, et al., 2013). Si une telle hétérogénéité dans les profils présentés par les jeunes a pu diminuer la puissance des analyses statistiques effectuées, il n'en reste pas moins que des améliorations ont été trouvées suite à chacune des remédiations, et que la taille des effets rapportés était respectable. Ceci est d'autant plus pertinent que l'objectif du programme GAME était de pouvoir répondre à la population d'adolescents présentant un FIL de manière générale, et non de pouvoir répondre uniquement à certains sous-profils. De plus, la taille d'échantillon restait petite (29 adolescents au total dans l'étude portant sur le profil de FIL et 12 adolescents par groupe dans l'étude de remédiation), ce qui réduit la puissance des analyses statistiques. Toutefois, plusieurs effets significatifs ont été retrouvés, ce qui suggère que ces résultats sont d'autant plus robustes. D'ailleurs, la taille d'échantillon en remédiation cognitive est similaire à ce qui peut être retrouvé dans la littérature (Mackey, et al., 2011; Segers, Nooijen, & de Moor, 2006), particulièrement dans le cas de programmes comme celui-ci nécessitant un nombre important d'heures en séance individuelle. En effet, la simple passation des évaluations pré et post-test, ainsi que le temps de remédiation représentaient jusqu'à 24 heures de travail en relation directe avec l'adolescent.

Concernant l'étude sur la remédiation cognitive, il n'a pas été possible de n'inclure que des adolescents présentant un FIL pur, ainsi, 14.71% de l'échantillon présentait un FIL partiel, avec l'un des indices principaux dans la zone limite ($70 < \text{ICV}$ ou $\text{IRP} < 85$) et l'un qui était légèrement supérieur ($85 < \text{ICV}$ ou $\text{IRP} < 100$). En effet, le protocole d'intervention étant

lourd en terme de temps et d'investissement pour certains parents, il n'a pas été possible d'être aussi sélectif qu'il l'aurait fallu pour pouvoir développer le programme GAME exclusivement pour des adolescents présentant un FIL. Toutefois, les analyses faites dans le contexte du Chapitre 5 montrent que le niveau initial de QI n'était pas corrélé au niveau de récupération des adolescents, autrement dit, les améliorations retrouvées n'étaient pas influencées par l'inclusion de ces adolescents présentant un fonctionnement intellectuel légèrement plus élevé que ceux présentant un FIL pur. Il est donc possible de conclure que le programme de remédiation GAME serait tout aussi efficace pour intervenir auprès d'une population présentant un FIL.

Les batteries utilisées pour effectuer les tests-retests n'étaient pas parfaitement similaires. Néanmoins, le choix des tests a été fait de façon à réduire au maximum l'impact de ces différences sur les résultats. Dans le cas de Gc, les sous-tests de Vocabulaire et Similitudes de la WISC-IV et de la WASI ont permis de conserver des tâches très similaires, même si les items et normes diffèrent. Quant au TONI-4, les versions test-retests présentent une relativement bonne corrélation ($.67 < r < .89$), mais qui est toutefois variables et ne permettraient pas forcément de repérer des changements plus subtils. C'est donc afin de limiter l'impact de ces effets tests-retests que le groupe contrôle a été constitué.

Enfin, il aurait été intéressant d'effectuer une troisième évaluation post-test six mois à un an après l'intervention afin d'évaluer si les améliorations effectuées par les adolescents sur Gf et Gc perduraient à travers les temps. Toutefois, il était difficile de trouver des outils d'évaluations pour effectuer un troisième retest tout en minimisant les effets de pratique. Tel que mentionné précédemment, peu d'outils permettant de faire des tests-retests sont disponibles, ce qui complique souvent la méthodologie à adopter dans des protocoles de

remédiation cognitive. Il aurait également été intéressant d'inclure d'autres variables dans le programme GAME, notamment concernant le niveau académique des adolescents avant et après la remédiation, afin d'évaluer si l'amélioration de Gf et Gc se traduisait dans la vie quotidienne. Néanmoins, l'établissement ne suivant pas un cursus régulier, les évaluations scolaires sont adaptées à chacun des adolescents, ce qui ne permettait pas d'évaluer cet aspect. Tel que mentionné également, les adolescents ont eu des commentaires positifs à l'endroit du programme GAME, entre autres sur les effets bénéfiques qu'il a pu avoir sur la confiance en soi. Il aurait donc été intéressant d'évaluer de manière plus objective la confiance en soi rapportée par les adolescents avant et après l'intervention, pour s'assurer de la présence de cet effet et exclure la possibilité que ces remarques soient davantage le fait d'une désirabilité sociale vis-à-vis de l'intervenante, plutôt que d'une réelle amélioration. Il est aussi intéressant de relever que les adolescents du programme GAME-f rapportaient souvent présenter une moins grande impulsivité et une meilleure planification à la suite de l'intervention. Il aurait donc été intéressant d'évaluer ces aspects des fonctions exécutives, et ceci pour les deux programmes de remédiations GAME-f et GAME-c, puisque Gf s'améliorait pour ces deux versants du programme. Ceci aurait d'ailleurs permis de voir si l'amélioration de Gf était sous-tendue par des facteurs similaires dans les deux interventions.

III. Avenues de recherches futures et retombées cliniques

1. Avenues de recherche

Cette étude a permis, comme l'avaient fait d'autres études auparavant, de soutenir la possibilité d'améliorer certains aspects de l'intelligence (Alloway, 2010; Alloway, et al., 2013;

Au, et al., 2015; Diamond, Barnett, Thomas, & Munro, 2007; Jaeggi, et al., 2008; Jaeggi, et al., 2011), ici Gf et Gc. Elle contribue donc à la remise en question de la stabilité longtems postulée des facteurs de l'intelligence. Dans le programme GAME, les adolescents ont présenté une amélioration des capacités de Gf après avoir suivi le programme GAME-c. L'hypothèse d'explication qui a été avancée, en considérant le contenu du programme GAME-c (très peu de matériel visuoperceptif), est que des transferts seraient possibles entre Gf et Gc, celles-ci étant des facteurs spécifiques du facteur plus général g (Caroll, 1997). Le transfert de compétence allant de Gc vers Gf est d'autant plus étonnant, que selon la théorie de l'investissement de Cattell (1987), Gc serait le fruit de Gf et se développerait progressivement à mesure qu'un individu effectue des tâches nécessitant l'emploi de Gf. Ainsi, l'effet inverse aurait pu sembler davantage en accord avec cette théorie: l'amélioration de Gf suite à GAME-f aurait pu mener à une amélioration de Gc par transfert. Toutefois, le programme est de courte durée et un tel transfert semblait peu probable, celui-ci se construisant progressivement au cours du temps selon Cattell. Afin de tester cette hypothèse, il serait intéressant de répliquer les résultats obtenus dans le programme GAME, toutefois cet effet étant important, il est fort probable que le même effet soit retrouvé. Il serait donc plus pertinent encore qu'un programme visant Gc, comme celui de Alloway et al. (2013), évalue également Gf, pour examiner si des améliorations sur cet aspect suite à l'intervention sont également retrouvées. Ceci permettrait de savoir plus spécifiquement si cette amélioration de Gf après entraînement de Gc n'est spécifique qu'au programme GAME ou si c'est un effet plus général, ce qui aurait alors des répercussions au niveau des connaissances théoriques sur l'intelligence.

Le Chapitre 3, portant sur le profil des adolescents présentant un FIL, a mis en évidence que la présence de comportements internalisés et externalisés, ainsi que de

problèmes oppositionnels augmente le niveau de stress parental. Toutefois, il serait intéressant également de regarder dans quelle mesure les attitudes parentales influencent elles-mêmes les comportements des adolescents. Ces aspects ont été mentionnés dans la DI (Hastings, 2002), mais il n’y aurait pas encore un modèle expérimental clair qui évaluerait chacun de ces facteurs, encore moins dans le contexte du FIL.

2. Retombées cliniques

L’étude sur les profils des adolescents présentant un FIL renforce l’importance de certains éléments importants qui doivent retenir l’attention des cliniciens. En effet, tel que discuté auparavant, les individus présentant un FIL ne sont pas considérés comme souffrant d’un trouble spécifique (American Psychiatric Association, 2013), ce qui les prive parfois, en l’absence de trouble associé, d’un accès à différents services médicaux et paramédicaux dont ils pourraient bénéficier. D’ailleurs, les conséquences d’un FIL à l’âge adulte sont nombreuses, pour rappel les trajectoires scolaires et professionnelles sont moins bonnes que dans la population normale. Les conséquences en cas de troubles psychiatriques sont plus graves et cette population est surreprésentée dans le milieu carcéral (Fernell & Ek, 2010; Hassiotis, et al., 2008; Hassiotis et al., 2001; Hayes, et al., 2007; Karande, Kanchan, & Kulkarni, 2008). L’étude présentée au Chapitre 3 montre que les manifestations de troubles comportementaux et psychiatriques sont beaucoup plus fréquentes chez les adolescents présentant un FIL que chez leurs pairs. Il apparaît donc essentiel de revoir la vision actuelle du FIL et de prêter une attention toute particulière à cette population, qui est souvent négligée dans la pratique clinique. Le profil adaptatif, comportemental et psychiatrique doit faire l’objet d’un dépistage systématique lorsque ce niveau de fonctionnement intellectuel est identifié. En

effet, les troubles du comportement étaient associés chez les parents à un plus haut niveau de stress parental, qui se percevaient comme moins compétents et leur enfant comme étant plus difficile que les autres, ils jugeaient également la relation avec leur enfant comme plus dysfonctionnelle. Ainsi, il est important de dépister les difficultés de comportement et en présence de ceux-ci, de travailler également en lien avec le parent, afin d'évaluer la perception qu'il a de sa vie parentale, et au besoin d'apporter le soutien nécessaire. En effet, un suivi en psychoéducation pourrait permettre de fournir à l'adolescent des outils pour gérer ses comportements et d'outiller le parent pour faire face aux différentes manifestations. Il pourrait également être nécessaire, lorsque le niveau de détresse du parent est trop important, de proposer un suivi en psychothérapie afin de l'accompagner. Ceci est d'autant plus important que les attitudes du parent, et notamment son niveau de stress, influencent les interventions éducatives proposées à leur enfant (Kazdin & Whitley, 2003). Le dépistage de troubles psychiatrique est également un élément clé dans la prise en charge d'adolescents présentant un FIL. Ceci permettrait d'identifier les adolescents qui auraient besoin de bénéficier d'un suivi en psychothérapie pour adresser les difficultés rencontrées. D'ailleurs, la présence de manifestations psychiatriques était associée à une moins bonne récupération lors du programme GAME, ce qui suggère que celles-ci auraient un impact négatif sur les apprentissages. Cette population présentant déjà de nombreuses difficultés dans son parcours académique, il est important de minimiser l'impact que ces difficultés peuvent avoir sur sa cognition.

Enfin, l'étude présentée au Chapitre 4 et étayée au Chapitre 5 a permis de mettre en évidence la possibilité d'améliorer le fonctionnement intellectuel d'adolescents présentant un FIL ou une intelligence subnormale. C'est la première fois qu'une telle amélioration a été

démontrée dans une population d'intérêt clinique, aussi bien pour Gf et Gc. Un tel résultat a d'importantes implications dans le monde clinique, puisqu'il permet de montrer qu'une faiblesse au niveau du fonctionnement cognitif global n'est pas seulement une fatalité et peut être améliorée avec un entraînement spécifique. Il serait donc utile de proposer de façon plus systématique un suivi en orthopédagogie ou en neuropsychologie, afin de travailler sur le raisonnement. De plus, les jeux du programme GAME, ainsi que d'autres jeux stimulant le fonctionnement cognitif, pourraient être recommandés aux parents, afin de venir soutenir les apprentissages de leurs enfants dans un contexte ludique. Ceci est d'autant plus important que les relations parents-enfant sont parfois plus difficiles dans cette population (Neugnot-Cerioli, et al., En revision). Ces jeux peuvent également être proposés dans le milieu scolaire, par exemple, à pratiquer sur les heures de pause.

Enfin, l'absence de corrélation entre le niveau initial à Gf et Gc et l'amélioration, suite à la remédiation, suggère qu'il serait possible d'adapter ce programme à une population plus large, notamment dans le cas de la déficience intellectuelle (DI). Il serait donc pertinent pour la suite d'adapter le programme GAME à cette population, en tenant compte toutefois de la difficulté des épreuves, certaines pouvant se révéler trop difficiles pour des enfants présentant un âge mental plus jeune.

BIBLIOGRAPHIE

- Achenbach, T. M., & Rescorla, L. A. (2000). *Manual for the ASEBA Preschool forms and Profiles*. Burlington, VT: University of Vermont Department of Psychiatry.
- Al Otaiba, S. (2002). Characteristics of Children Who Are Unresponsive to Early Literacy Intervention A Review of the Literature. *Remedial and Special Education, 3*(5), 300-316.
- Alloway, T. P. (2010). Working memory and executive function profiles of individuals with borderline intellectual functioning. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Intellect Disabil Res, 54*(5), 448-456. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01281.x
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2009). The efficacy of working memory training in improving crystallized intelligence. *Nature Precedings*
- Alloway, T. P., Bibile, V., & Lau, G. (2013). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? *Computers in Human Behavior, 29*(3), 632-638.
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* Washington, DC: American Psychiatric Association.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5th ed.). Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychon Bull Rev, 22*(2), 366-377. doi: 10.3758/s13423-014-0699-x
- Beardmore, S., Tate, R., & Liddle, B. (1999). Does information and feedback improve children's knowledge and awareness of deficits after traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation, 9*(1), 45-62.
- Bergman Nutley, S., Soderqvist, S., Bryde, S., Thorell, L. B., Humphreys, K., & Klingberg, T. (2011). Gains in fluid intelligence after training non-verbal reasoning in 4-year-old children: a controlled, randomized study. [Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Dev Sci, 14*(3), 591-601. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.01022.x
- Berninger, V. W., Abbott, R. D., Zook, D., Ogier, S., Lemos-Britton, Z., & Brooksher, R. (1999). Early intervention for reading disabilities: teaching the alphabet principle in a connectionist framework. *J Learn Disabil, 32*(6), 491-503.
- Bouchard, T. J., Jr., Lykken, D. T., McGue, M., Segal, N. L., & Tellegen, A. (1990). Sources of human psychological differences: the Minnesota Study of Twins Reared Apart. [Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S. Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *Science, 250*(4978), 223-228.
- Brennan, F., & Ireson, J. (1997). Training phonological awareness: A study to evaluate the effects of a program of metalinguistic games in kindergarten. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 9*, 241-263.

- Brown, L., Sherbenou, R. J., & Johnsen, S. K. (2010). *Test of Nonverbal Intelligence, 4th Edition* (4th ed.). San Antonio: TX: Harcourt Assessment.
- Carroll, J. B. (1997). The three-stratum theory of cognitive abilities. In D. P. Flanagan, J. L. Genshaft & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (pp. 122-130). New York, NY, US: Guilford Press.
- Carroll, W. K. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York, NY, USA.: Cambridge University Press.
- Castel, A. D., Pratt, J., & Drummond, E. (2005). The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search. [Comparative Study Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Acta Psychol (Amst)*, *119*(2), 217-230. doi: 10.1016/j.actpsy.2005.02.004
- Cattell, R. B. (1943). The measurement of adult intelligence. *Psychological Bulletin*, *40*(3), 153-193.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, *54*, 1-22.
- Cattell, R. B. (1987). *Intelligence: Its structure, growth and action*. New York, N.Y.: Elsevier Science Publishers B.V.
- Chan, C. L., Ngai, E. K., Leung, P. K., & Wong, S. (2010). Effect of the adapted Virtual Reality cognitive training program among Chinese older adults with chronic schizophrenia: a pilot study. [Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Int J Geriatr Psychiatry*, *25*(6), 643-649. doi: 10.1002/gps.2403
- Chen, H., Keith, T., Chen, Y., & Chang, B. (2009). What Does the WISC-IV Measure? Validation of the Scoring and CHC-based Interpretative Approaches. *Journal of Research in Education Sciences*, *54*(3), 85-108.
- Cicerone, K. D., Dahlberg, C., Kalmar, K., Langenbahn, D. M., Malec, J. F., Bergquist, T. F., et al. (2000). Evidence-based cognitive rehabilitation: recommendations for clinical practice. [Review]. *Arch Phys Med Rehabil*, *81*(12), 1596-1615. doi: 10.1053/apmr.2000.19240
- Danielsson, H., Henry, L., Messer, D., & Ronnberg, J. (2012). Strengths and weaknesses in executive functioning in children with intellectual disability. *Res Dev Disabil*, *33*(2), 600-607. doi: 10.1016/j.ridd.2011.11.004
- Deary, I. J., Strand, S., Smith, P., & Fernandes, C. (2007). Intelligence and educational achievement. *Intelligence*, *35*, 13-21.
- Deary, I. J., Whalley, L. J., Lemmon, H., Crawford, J. R., & Starr, J. M. (2000). The stability of individual differences in mental ability from childhood to old age: follow-up of the 1932 Scottish Mental Survey. *Intelligence*, *28*, 49-55.
- Dentz, A., Parent, V., Gauthier, B., Guay, M. C., & Romo, L. ((sous presse)). L'entraînement de la mémoire de travail par le programme Cogmed et le TDAH. *Psychologie Française*.
- Derogatis, L. R. (2001). *Brief Symptom Inventory 18*. USA: Pearson.
- DeThorne, L. S., & Schaefer, B. A. (2004). A guide to child nonverbal IQ measures. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *13*, 275-290.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. [Research Support, N.I.H., Extramural Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Science*, *318*(5855), 1387-1388. doi: 10.1126/science.1151148

- Dye, M. W., Green, C. S., & Bavelier, D. (2009). Increasing Speed of Processing With Action Video Games. *Curr Dir Psychol Sci*, 18(6), 321-326. doi: 10.1111/j.1467-8721.2009.01660.x
- Emerson, E. (2003). Prevalence of psychiatric disorders in children and adolescents with and without intellectual disability. *J Intellect Disabil Res*, 47(Pt 1), 51-58.
- Emerson, E., Einfeld, S., & Stancliffe, R. J. (2010). The mental health of young children with intellectual disabilities or borderline intellectual functioning. [Comparative Study Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*, 45(5), 579-587. doi: 10.1007/s00127-009-0100-y
- Facon, B., & Facon-Bollengier, T. (1997). Chronological age and Peabody Picture Vocabulary Test performance of persons with mental retardation: new data. *Psychol Rep*, 81(3 Pt 2), 1232-1234. doi: 10.2466/pr0.1997.81.3f.1232
- Feeney, T., & Ylvisaker, M. (2006). Context-sensitive cognitive-behavioural supports for young children with TBI: a replication study. *Brain Inj*, 20(6), 629-645. doi: NLOT115051V2R363 [pii]10.1080/02699050600744194
- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Psychol Sci*, 18(10), 850-855. doi: 10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x
- Fernell, E., & Ek, U. (2010). Borderline intellectual functioning in children and adolescents - insufficiently recognized difficulties. *Acta Paediatr*, 99(5), 748-753. doi: 10.1111/j.1651-2227.2010.01707.x
- Ferrari, M. (2009). Borderline intellectual functioning and the intellectual disability construct. [Comment]. *Intellect Dev Disabil*, 47(5), 386-389. doi: 10.1352/1934-9556-47.5.386
- Fox, D. J., Tharp, D. F., & Fox, L. C. (2005). Neurofeedback: an alternative and efficacious treatment for Attention Deficit Hyperactivity Disorder. [Review]. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 30(4), 365-373. doi: 10.1007/s10484-005-8422-3
- Fuchs, L. S., & Fuchs, D. (2009). On the Importance of a Unified Model of Responsiveness-To-Intervention. *Child Dev Perspect*, 3(1), 41-43. doi: 10.1111/j.1750-8606.2008.00074.x
- Fuchs, L. S., & Vaughn, S. (2012). Responsiveness-to-intervention: a decade later. *J Learn Disabil*, 45(3), 195-203. doi: 10.1177/0022219412442150
- Gallagher, A. L., & Chiat, S. (2009). Evaluation of speech and language therapy interventions for pre-school children with specific language impairment: a comparison of outcomes following specialist intensive, nursery-based and no intervention. *Int J Lang Commun Disord*, 44(5), 616-638. doi: 911012865 [pii]10.1080/13682820802276658
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Vogel, C., Schlamp, D., Kratz, O., et al. (2009). Is neurofeedback an efficacious treatment for ADHD? A randomised controlled clinical trial. [Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Child Psychol Psychiatry*, 50(7), 780-789. doi: 10.1111/j.1469-7610.2008.02033.x
- Gigi, K., Werbeloff, N., Goldberg, S., Portuguese, S., Reichenberg, A., Fruchter, E., et al. (2014). Borderline intellectual functioning is associated with poor social functioning, increased rates of psychiatric diagnosis and drug use - A cross sectional population based study. *Eur Neuropsychopharmacol*. doi: 10.1016/j.euroneuro.2014.07.016
- Gottlieb, J., Alter, M., Gottlieb, B. W., & Wishner, J. (1994). Special education in urban America: It's not justifiable for many. *The Journal of Special Education*, 27(4), 453-465.

- Gray, J. R., & Thompson, P. M. (2004). Neurobiology of intelligence: science and ethics. [Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.Review]. *Nat Rev Neurosci*, 5(6), 471-482. doi: 10.1038/nrn1405
- Gray, S. A., Chaban, P., Martinussen, R., Goldberg, R., Gotlieb, H., Kronitz, R., et al. (2012). Effects of a computerized working memory training program on working memory, attention, and academics in adolescents with severe LD and comorbid ADHD: a randomized controlled trial. *J Child Psychol Psychiatry*, 53(12), 1277-1284. doi: 10.1111/j.1469-7610.2012.02592.x
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. [Clinical TrialResearch Support, Non-U.S. Gov'tResearch Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *Nature*, 423(6939), 534-537. doi: 10.1038/nature01647
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. [Controlled Clinical TrialResearch Support, N.I.H., ExtramuralResearch Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S.]. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 32(6), 1465-1478. doi: 10.1037/0096-1523.32.6.1465
- Hammar, A., & Ardal, G. (2009). Cognitive functioning in major depression--a summary. *Front Hum Neurosci*, 3, 26. doi: 10.3389/neuro.09.026.2009
- Hammond, D. C. (2007). What is neurofeedback? *Journal of Neurotherapy*, 10(4), 25-36.
- Handen, B. L., Janosky, J., & McAuliffe, S. (1997). Long-term follow-up of children with mental retardation/borderline intellectual functioning and ADHD. [Clinical Trial Randomized Controlled Trial Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *J Abnorm Child Psychol*, 25(4), 287-295.
- Haskins, E. C. (2012). *Cognitiive Rehabilitation Manual Translating evidence-based recommendations into practise*. Reston, Virginia: American College of Rehabilitation Manual.
- Hassall, R., Rose, J., & McDonald, J. (2005). Parenting stress in mothers of children with an intellectual disability: the effects of parental cognitions in relation to child characteristics and family support. *J Intellect Disabil Res*, 49(Pt 6), 405-418. doi: 10.1111/j.1365-2788.2005.00673.x
- Hassiotis, A., Strydom, A., Hall, I., Ali, A., Lawrence-Smith, G., Meltzer, H., et al. (2008). Psychiatric morbidity and social functioning among adults with borderline intelligence living in private households. *J Intellect Disabil Res*, 52(Pt 2), 95-106. doi: 10.1111/j.1365-2788.2007.01001.x
- Hassiotis, A., Tanzarella, M., Bebbington, P., & Cooper, C. (2011). Prevalence and predictors of suicidal behaviour in a sample of adults with estimated borderline intellectual functioning: results from a population survey. *J Affect Disord*, 129(1-3), 380-384. doi: 10.1016/j.jad.2010.10.002
- Hassiotis, A., Ukoumunne, O. C., Byford, S., Tyrer, P., Harvey, K., Piachaud, J., et al. (2001). Intellectual functioning and outcome of patients with severe psychotic illness randomised to intensive case management. Report from the UK700 trial. [Clinical Trial Multicenter Study Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Br J Psychiatry*, 178, 166-171.
- Hastings, R. P. (2002). Parental stress and behaviour problems of children with developmental disability. *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, 27(3), 149-160.

- Hayes, S., Shackell, P., Mottram, P. G., & Lancaster, R. (2007). The prevalence of intellectual disability in a major UK prison. *British Journal of Learning Disabilities, 35*, 162-167.
- Healy, A. F., Wohldmann, E. L., Sutton, E. M., & Bourne, L. E., Jr. (2006). Specificity effects in training and transfer of speeded responses. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 32*(3), 534-546. doi: 2006-06644-007 [pii]10.1037/0278-7393.32.3.534
- Henderson, A., Korner-Bitensky, N., & Levin, M. (2007). Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery. [Research Support, Non-U.S. Gov't Review]. *Top Stroke Rehabil, 14*(2), 52-61. doi: 10.1310/tsr1402-52
- Herrington, V. (2009). Assessing the prevalence of intellectual disability among young male prisoners. *J Intellect Disabil Res, 53*(5), 397-410. doi: 10.1111/j.1365-2788.2008.01150.x
- Holmes, J., Cathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working Memory Deficits can be Overcome: Impacts of Training and Medication on Working Memory in Children with ADHD. *Applied cognitive Psychology, 24*, 827-836.
- Hoover, E. L., & Carney, A. (2014). Integrating the iPad into an intensive, comprehensive aphasia program. *Semin Speech Lang, 35*(1), 25-37. doi: 10.1055/s-0033-1362990
- Hudson, A. M., Matthews, J. M., Gavidia-Payne, S. T., Cameron, C. A., Mildon, R. L., Radler, G. A., et al. (2003). Evaluation of an intervention system for parents of children with intellectual disability and challenging behaviour. *J Intellect Disabil Res, 47*(Pt 4-5), 238-249. doi: 486 [pii]
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. [Research Support, N.I.H., Extramural Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S.]. *Proc Natl Acad Sci U S A, 105*(19), 6829-6833. doi: 10.1073/pnas.0801268105
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. [Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S.]. *Proc Natl Acad Sci U S A, 108*(25), 10081-10086. doi: 10.1073/pnas.1103228108
- Kamiya, J. (1971). Biofeedback training in voluntary control of EEG alpha rhythms. *Calif Med, 115*(3), 44.
- Karande, S., Kanchan, S., & Kulkarni, M. (2008). Clinical and psychoeducational profile of children with borderline intellectual functioning. *Indian J Pediatr, 75*(8), 795-800. doi: 10.1007/s12098-008-0101-y
- Kazdin, A. E., & Whitley, M. K. (2003). Treatment of parental stress to enhance therapeutic change among children referred for aggressive and antisocial behavior. *J Consult Clin Psychol, 71*(3), 504-515.
- Keegstra, A. L., Post, W. J., & Goorhuis-Brouwer, S. M. (2009). Effect of different treatments in young children with language problems. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 73*(5), 663-666. doi: S0165-5876(08)00633-2 [pii] 10.1016/j.ijporl.2008.12.028
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., et al. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD--a randomized, controlled trial. [Clinical Trial Multicenter Study Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry, 44*(2), 177-186. doi: 10.1097/00004583-200502000-00010

- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. [Clinical Trial Comparative Study Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Clin Exp Neuropsychol*, 24(6), 781-791. doi: 10.1076/jcen.24.6.781.8395
- Konrad, K., Gunther, T., Hanisch, C., & Herpertz-Dahlmann, B. (2004). Differential effects of methylphenidate on attentional functions in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. [Clinical Trial Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 43(2), 191-198. doi: 10.1097/00004583-200402000-00015
- Laatsch, L., Harrington, D., Hotz, G., Marcantuono, J., Mozzoni, M. P., Walsh, V., et al. (2007). An evidence-based review of cognitive and behavioral rehabilitation treatment studies in children with acquired brain injury. [Review]. *J Head Trauma Rehabil*, 22(4), 248-256. doi: 10.1097/01.HTR.0000281841.92720.0a
- Lilienthal, L., Tamez, E., Shelton, J. T., Myerson, J., & Hale, S. (2013). Dual n-back training increases the capacity of the focus of attention. [Randomized Controlled Trial]. *Psychon Bull Rev*, 20(1), 135-141. doi: 10.3758/s13423-012-0335-6
- Lledo, P. M., Alonso, M., & Grubb, M. S. (2006). Adult neurogenesis and functional plasticity in neuronal circuits. *Nat Rev Neurosci*, 7(3), 179-193. doi: nrn1867 [pii]10.1038/nrn1867
- Loo, C. K., & Mitchell, P. B. (2005). A review of the efficacy of transcranial magnetic stimulation (TMS) treatment for depression, and current and future strategies to optimize efficacy. [Research Support, Non-U.S. Gov't Review]. *J Affect Disord*, 88(3), 255-267. doi: 10.1016/j.jad.2005.08.001
- Lussier, F., & Flessas, J. (2009). *Neuropsychologie de l'enfant - Troubles développementaux et de l'apprentissage* (2nd ed.). Paris: Dunod.
- Mackey, A. P., Hill, S. S., Stone, S. I., & Bunge, S. A. (2011). Differential effects of reasoning and speed training in children. *Dev Sci*, 14(3), 582-590. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.01005.x
- MacMillan, D. L., Gresham, F. M., & Bocian, K. M. (1998). Discrepancy between definitions of learning disabilities and school practices: an empirical investigation. [Comparative Study Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S.]. *J Learn Disabil*, 31(4), 314-326.
- MacMillan, D. L., Gresham, F. M., Bocian, K. M., & Lambros, K. M. (1998). Current Plight of Borderline Students: Where Do They Belong? *Education and Training in Mental Retardation and Developmental Disabilities*, 33(2), 83-94.
- Manly, T., Robertson, I. H., Anderson, V., & Nimmo-Smith, I. (1998). *Test of Everyday Attention for Children, The (TEA-Ch)*. San Antonio: TX: Harcourt Assessment.
- Martin, P. I., Treglia, E., Naeser, M. A., Ho, M. D., Baker, E. H., Martin, E. G., et al. (2014). Language improvements after TMS plus modified CILT: Pilot, open-protocol study with two, chronic nonfluent aphasia cases. [Research Support, N.I.H., Extramural]. *Restor Neurol Neurosci*, 32(4), 483-505. doi: 10.3233/RNN-130365
- McGrew, K. S. (1997). Analysis of the major intelligence batteries according to a proposed comprehensive Gf-Gc framework. *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (pp. 151-180). New York, NY: Guilford Press.
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, 37(1), 1-10.

- Miniussi, C., & Rossini, P. M. (2011). Transcranial magnetic stimulation in cognitive rehabilitation. [Research Support, Non-U.S. Gov't Review]. *Neuropsychol Rehabil*, 21(5), 579-601. doi: 10.1080/09602011.2011.562689
- Moffitt, T. E., Caspi, A., Harkness, A. R., & Silva, P. A. (1993). The Natural-History of Change in Intellectual-Performance - Who Changes - How Much - Is It Meaningful. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 34(4), 455-506.
- Neugnot-Cerioli, M., Gagner, C., & Beauchamp, M. H. (En revision). Cognitive, adaptive, psychiatric and behavioral profiles of adolescents with borderline intellectual functioning and their relation to parental stress. *Journal of Intellectual Disability Research*.
- Neugnot-Cerioli, M., Gagner, C., & Beauchamp, M. H. (In press). The use of games in paediatric cognitive intervention: a systematic review. *International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*.
- Neugnot-Cerioli, M., Gagner, C., & Beauchamp, M. H. (Submitted). Training of fluid and crystallized intelligence: A game-based approach in adolescents presenting with below average IQ. *Neuropsychological Rehabilitation*.
- Nisbett, R. E. (2009). *Intelligence and How to Get It: Why Schools and Cultures Count*. W. W. Norton & Company.
- O'Shaughnessy, T. E., & Swanson, H. L. (2000). A comparison of two reading interventions for children with reading disabilities. *J Learn Disabil*, 33(3), 257-277.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., et al. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, 465(7299), 775-778. doi: nature09042 [pii]10.1038/nature09042
- Parsons, T. D., & Rizzo, A. A. (2008a). Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: a meta-analysis. [Meta-Analysis]. *J Behav Ther Exp Psychiatry*, 39(3), 250-261. doi: 10.1016/j.jbtep.2007.07.007
- Parsons, T. D., & Rizzo, A. A. (2008b). Initial validation of a virtual environment for assessment of memory functioning: virtual reality cognitive performance assessment test. [Validation Studies]. *Cyberpsychol Behav*, 11(1), 17-25. doi: 10.1089/cpb.2007.9934
- Paxon, J. E. (1995). Relapse prevention for individuals with developmental disabilities, borderline intellectual functioning, or illiteracy. *J Psychoactive Drugs*, 27(2), 167-172. doi: 10.1080/02791072.1995.10471686
- Salvador-Carulla, L., Garcia-Gutierrez, J. C., Ruiz Gutierrez-Colosia, M., Artigas-Pallares, J., Garcia Ibanez, J., Gonzalez Perez, J., et al. (2013). Borderline intellectual functioning: consensus and good practice guidelines. [Consensus Development Conference Practice Guideline Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Rev Psiquiatr Salud Ment*, 6(3), 109-120. doi: 10.1016/j.rpsm.2012.12.001
- Saposnik, G., Chow, C. M., Gladstone, D., Cheung, D., Brawer, E., Thorpe, K. E., et al. (2014). iPad Technology for Home Rehabilitation after Stroke (iHOME): A proof-of-concept randomized trial. *Int J Stroke*. doi: 10.1111/ijss.12328
- Schneider, J., & McGrew, K. (2012). *Contemporary Intellectual Assessment: Theories, Tests, and Issues* (3rd ed.). New York: Guilford; In D. Flanagan & P. Harrison
- Schneider, W., Ennemoser, M., Roth, E., & Kuspert, P. (1999). Kindergarten prevention of dyslexia: does training in phonological awareness work for everybody? *J Learn Disabil*, 32(5), 429-436.

- Schuchardt, K., Gebhardt, M., & Maehler, C. (2010). Working memory functions in children with different degrees of intellectual disability. *J Intellect Disabil Res*, 54(4), 346-353. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01265.x
- Segers, E., Nooijen, M., & de Moor, J. (2006). Computer vocabulary training in kindergarten children with special needs. *Int J Rehabil Res*, 29(4), 343-345. doi: 10.1097/MRR.0b013e328010f4e000004356-200612000-00013 [pii]
- Segers, E., & Verhoeven, L. (2005). Long-term effects of computer training of phonological awareness in kindergarten. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21(1), 17-27.
- Seltzer, M. M., Floyd, F., Greenberg, J., Lounds, J., Lindstrom, M., & Hong, J. (2005). Life course impacts of mild intellectual deficits. [Research Support, N.I.H., Extramural]. *Am J Ment Retard*, 110(6), 451-468. doi: 10.1352/0895-8017(2005)110[451:LCIOMI]2.0.CO;2
- Shalev, L., Tsal, Y., & Mevorach, C. (2007). Computerized progressive attentional training (CPAT) program: effective direct intervention for children with ADHD. [Randomized Controlled Trial]. *Child Neuropsychol*, 13(4), 382-388. doi: 10.1080/09297040600770787
- Shin, S. S., Dixon, C. E., Okonkwo, D. O., & Richardson, R. M. (2014). Neurostimulation for traumatic brain injury. *J Neurosurg*, 1-13. doi: 10.3171/2014.7.JNS131826
- Slomine, B., & Locascio, G. (2009). Cognitive rehabilitation for children with acquired brain injury. [Review]. *Dev Disabil Res Rev*, 15(2), 133-143. doi: 10.1002/ddrr.56
- Spearman, C. (1904). The "General Intelligence," Objectively Determined and Measured. *American Journal of Psychology*, 15(2), 201-292., 15(2), 2201-2292.
- Spearman, C. (1923). *The nature of "intelligence" and the principles of cognition*. Oxford (England): Macmillan.
- Stage, S. A., Abbott, R. D., Jenkins, J. R., & Berninger, V. W. (2003). Predicting response to early reading intervention from verbal IQ, reading-related language abilities, attention ratings, and verbal IQ-word reading discrepancy: failure to validate discrepancy method. *J Learn Disabil*, 36(1), 24-33.
- Sternberg, R. J., & Kaufman, S. B. (2011). *The Cambridge Handbook of Intelligence*. Cambridge: Cambridge Handbooks in Psychology.
- Stolker, J. J., Heerdink, E. R., Leufkens, H. G., Clerkx, M. G., & Nolen, W. A. (2001). Determinants of multiple psychotropic drug use in patients with mild intellectual disabilities or borderline intellectual functioning and psychiatric or behavioral disorders. [Comparative Study]. *Gen Hosp Psychiatry*, 23(6), 345-349.
- Swanson, L. A., Fey, M. E., Mills, C. E., & Hood, L. S. (2005). Use of narrative-based language intervention with children who have specific language impairment. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Am J Speech Lang Pathol*, 14(2), 131-143. doi: 10.1044/1058-0360(2005/014)
- Tallal, P. (2013). Fast ForWord(R): the birth of the neurocognitive training revolution. *Prog Brain Res*, 207, 175-207. doi: 10.1016/B978-0-444-63327-9.00006-0
- Tamm, L., Hughes, C., Ames, L., Pickering, J., Silver, C. H., Stavinoha, P., et al. (2010). Attention training for school-aged children with ADHD: results of an open trial. *J Atten Disord*, 14(1), 86-94. doi: 1087054709347446 [pii] 10.1177/1087054709347446
- Taylor, J. L., Novaco, R. W., Gillmer, B. T., Robertson, A., & Thorne, I. (2005). Individual cognitive-behavioural anger treatment for people with mild-borderline intellectual

- disabilities and histories of aggression: a controlled trial. *Br J Clin Psychol*, 44(Pt 3), 367-382. doi: 10.1348/014466505X29990
- Thurstone, L. L. (1946). Theories of intelligence. *Scientific Monthly, New York*, 62(101-112).
- Torgesen, J. K., & Davis, C. (1996). Individual difference variables that predict response to training in phonological awareness. *J Exp Child Psychol*, 63(1), 1-21. doi: 10.1006/jecp.1996.0040
- Turkheimer, E., Haley, A., Waldron, M., D'Onofrio, B., & Gottesman, II. (2003). Socioeconomic status modifies heritability of IQ in young children. *Psychol Sci*, 14(6), 623-628. doi: psci_1475 [pii]
- Vadasy, P. F., Jenkins, J. R., Antil, L. R., Wayne, S. K., & O'Connor, R. E. (1997). Community-based early reading intervention for at-risk first graders. *Learning Disabilities Research & Practice*, 12(1), 29-39.
- Van der Molen, M. J., Van Luit, J. E., Jongmans, M. J., & Van der Molen, M. W. (2009). Memory profiles in children with mild intellectual disabilities: strengths and weaknesses. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Res Dev Disabil*, 30(6), 1237-1247. doi: 10.1016/j.ridd.2009.04.005
- Van der Molen, M. J., Van Luit, J. E., Van der Molen, M. W., Klugkist, I., & Jongmans, M. J. (2010). Effectiveness of a computerised working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. [Comparative Study Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Intellect Disabil Res*, 54(5), 433-447. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01285.x
- van Dongen-Boomsma, M., Vollebregt, M. A., Slaats-Willems, D., & Buitelaar, J. K. (2015). [Efficacy of frequency-neurofeedback and Cogmed JM-working memory training in children with ADHD]. *Tijdschr Psychiatr*, 57(7), 508-516.
- Weschler, D. (1999). *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence*. San Antonio:TX: Harcourt Assessment.
- Weschler, D. (2003). *Wechsler Intelligence Scale for Children — Fourth Edition* San Antonio:TX: Harcourt Assessment.
- Wilson, B. A., Emslie, H. C., Quirk, K., & Evans, J. J. (2001). Reducing everyday memory and planning problems by means of a paging system: a randomised control crossover study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 70(4), 477-482.
- Zhang, L., Abreu, B. C., Masel, B., Scheibel, R. S., Christiansen, C. H., Huddleston, N., et al. (2001). Virtual reality in the assessment of selected cognitive function after brain injury. [Clinical Trial Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S.]. *Am J Phys Med Rehabil*, 80(8), 597-604; quiz 605.
- Zhang, L., Jin, X., & Zhang, Y. (2011). Effect of methylphenidate on intelligence quotient scores in Chinese children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Clin Psychopharmacol*, 31(1), 51-55. doi: 10.1097/JCP.0b013e3182060f3f

ANNEXE 1: LISTE DES JEUX UTILISÉS DANS LE PROGRAMME GAME

Game-Fluide

- **Jeux de société:**
 - Tilt (ThinkFun)
 - Chocolate Fix (ThinkFun)
 - Utopia Brain Teaser
- **Jeu d'ordinateur:** Azada Ancient Magic
- **Jeu Nintendo3DS:** Pr. Layton et la Boite de Pandore



GAME-cristallisée

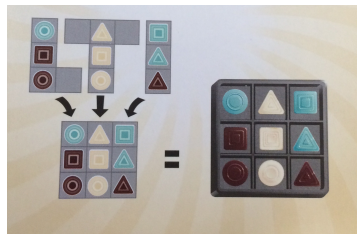
- **Jeux de société:**
 - Vocabulon Famille
 - Le P'tit Bac
 - Super Defini'Images
- **Jeu ordinateur:** WordsWorth
- **Jeu Nintendo3DS:** Adi Entraîneur Français CM1-CM2 et 6^{ème}-5^{ème}



ANNEXE 2. EXEMPLES DE JEUX PRATIQUÉS GAME-F



Chocolate Fix



Objectifs: Travailler la planification, l'impulsivité, le raisonnement, l'intégration et la mémoire de travail

Règles du jeu

•Placer les 9 chocolats sur le plateau en respectant les indices de forme (rond, carré, triangle), couleur (marron, blanc, vert) et localisation

Niveau facile



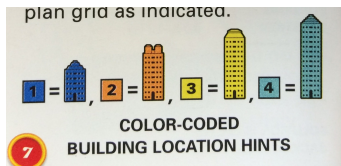
Niveau difficile



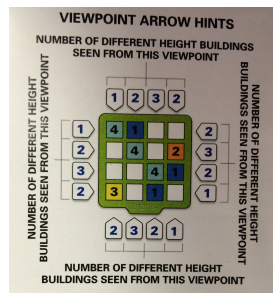
GAME

Gains et Apprentissages Multiples pour Enfants

Utopia Brain Teaser



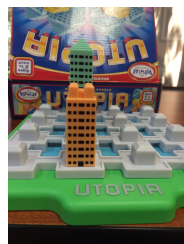
Objectifs: Travailler la planification, l'impulsivité, le raisonnement visuo-perceptif et la mémoire de travail



Règles du jeu

- 4 types de tours
- Placer les 16 tours sur le plateau de jeux en respectant les indices :
- Un seul type de tour par colonne et rangée (ex: impossible de placer deux tours vertes de 4 dans la même colonne)
- Le chiffre en début de ligne indique le nombre de tours que l'on voit si l'on se met de ce point de vue

Exemple: carte indique que l'on doit voir 2 tours, se fait de 6 façons différentes, dont...



ou



ANNEXE 3. EXEMPLES DE JEUX PRATIQUÉS GAME-C



Vocabulon

Objectifs: Travailler le vocabulaire, l'évocation lexicale et les capacité d'élaboration verbale

Règles du jeu

- Faire deviner tous les mots de la carte au jeune (côté facile)
- Demander au jeune de nous faire deviner les mots de la carte et réclamer plus d'indices (côté difficile)

Lettre A

5 n.f.	Lourde pièce de métal fixée à une chaîne qui immobilise une embarcation en s'accrochant au fond de l'eau.
6 n.m.	Autorisation donnée par une personne à une autre.
7 v.	Mettre en plus.
8 n.f.	Fine tige en acier qui sert à coudre, à tricoter.
9 n.	Personne qui anime, qui dirige un spectacle ou une émission de radio, de télévision.
10 n.m.	Garçon qui n'est plus un enfant mais qui n'est pas encore un adulte

ANNEXE 4. EXTRAITS DU MANUEL D'INTERVENTION

Vocabulon famille (GAME-c)

Commencer par choisir chacun un jeton.

Celui qui commence jette le dé et avance du nombre indiqué. La colonne sur laquelle il est indique la carte lettre qu'il va piocher.

- Lorsque c'est le jeune qui fait deviner les mots :
 - o Il prend le côté bleu/rouge (selon le niveau atteint)
 - o Si l'intervenant ne trouve pas le mot, le jeune doit alors essayer de trouver une façon de faire deviner le mot

Les jeunes font les cartes rouges, les intervenants les cartes bleu ou rouge tout dépendant du niveau de l'enfant. Le but ici est que le jeune et l'adulte ait à peu près le même nombre de points.

- Lorsque c'est l'intervenant qui fait deviner les mots :
 - o Il prend le côté rouge
 - o On lance le chronomètre pour une minute

Si au moins un des mots est trouvé, chaque participant récupère la carte lettre, toutefois, on fait tout de même deviner le maximum de mots en une minute. On revient ensuite avec le jeune sur tous les mots et on lui demande ceux qu'ils ne connaissaient pas. Si certains sont inconnus, on lui explique avec une phrase pour mettre en contexte.

Tous les mots nouveaux et pertinents doivent être inscrits dans le carnet et seront revus à la dernière séance de chaque semaine. On note également toutes lettres obtenues par chacun et on redonnera ces lettres à la séance suivante.

Si à la séance suivante le jeune ne se souvient plus de certains mots, on les vérifiera alors dans le dictionnaire.

Extraits d'une des énigmes de Pr. Layton et des stratégies fournies

N° 011: Mixité forestière



Mixité forestière
Difficulté 4/5

Stratégie : « Par quoi faut il commencer ? »

« Quels sont les premier traits que l'on peut tracer avec certitude ? »

« Sépare les arbres qui sont à côté et qui sont pareil par un trait, puisqu'ils ne peuvent pas être dans le même groupe ».

ANNEXE 5: TÉMOIGNAGES RECUEILLIS SUITE AU PROGRAMME GAME

GAME-Fluide

« Ça m'a aidée à apprendre à regarder tous les indices, à lire lentement et à faire étape par étape » L.N.G., 15 ans

« On a travaillé sur la concentration, la vitesse, la logique » J.F., 12 ans

« J'ai appris à commencer quand je suis sûr, à prendre mon temps et pas me dépêcher. J'aurais aimé ça qu'on continue! », G.G.R, 15 ans

« J'ai appris à visualiser et à procéder par essai-erreur. J'ai l'impression que ça fait une petite différence en mathématiques parce que j'essaie de visualiser la solution avant de résoudre tout de suite le problème. » A.P., 14 ans

« J'arrive mieux à tout bien regarder avant de commencer et des fois, je fais pas d'erreur parce que j'ai pris le temps comme tu m'as dit de faire ». Z.S., 12 ans

GAME-Cristallisé

« Maintenant j'ai une réflexion plus large, je vois plusieurs possibilités devant un problème à l'école », M.F., 13 ans

« Ça m'aide à l'école pour le français » N.O.B., 16 ans

« Ça m'aide en français, je connais mieux les mots. » C.M., 13 ans

« Je vois pas trop si ça va m'aider, mais c'était l'fun ». J.C.L., 13 ans

« Je réussis mieux dans mes évaluations, avant je pensais toujours que ma réponse était pas bonne et en fait maintenant je sais que c'est peut-être vrai, alors j'essaie ». N.S., 14 ans.