



HAL
open science

Étude des praxies et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel

Aurélie Bucaille

► **To cite this version:**

Aurélie Bucaille. Étude des praxies et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel. Psychologie. Université d'Angers, 2020. Français. NNT : 2020ANGE0050 . tel-03935810

HAL Id: tel-03935810

<https://theses.hal.science/tel-03935810v1>

Submitted on 12 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE D'ANGERS

ECOLE DOCTORALE N° 603

Education, Langages, Interaction, Cognition, Clinique

Spécialité : *Neuropsychologie*

Par

Aurélie BUCAILLE

Étude des praxies et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel

Thèse présentée et soutenue à Angers le 8 Décembre 2020

Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire, EA4638, UBL, Université d'Angers,
11 boulevard Lavoisier, 49 045 Angers cedex 1

Thèse N° : 181221

Rapporteurs avant soutenance :

Madame Maud Besançon, Professeur des universités,
Université Rennes 2

Madame Béatrice Bourdin, Professeur des universités,
Université Rennes 2

Composition du Jury :

Président (à préciser après la soutenance)

Directeur de thèse : Monsieur Arnaud Roy, Professeur de
Neuropsychologie, Université d'Angers

Co-directeur de thèse : Monsieur Sylvain Brochard,
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier de
Médecine Physique et Réadaptation, CHRU de Brest

Co-encadrants :

Monsieur Christophe Jarry, Maître de Conférence en
Neuropsychologie, Université d'Angers

Dr Sylviane Peudenier, Praticien Hospitalier en Neurologie
Pédiatrique, CHRU de Brest

L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :



- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

Consulter la licence creative commons complète en français :
<http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/2.0/fr/>

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussignée Aurélie BUCAILLE,
déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une
partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet,
constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées
pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le **29 / 08 / 2020**

**Cet engagement de non plagiat doit être signé et joint
à tous les rapports, dossiers, mémoires.**

Présidence de l'université
40 rue de rennes - BP 73532
49035 Angers cedex
Tél. 02 41 96 23 23 | Fax 02 41 96 23 00



REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à adresser mes sincères remerciements aux enfants et aux familles, sans qui ce travail n'aurait pu voir le jour. Merci pour votre disponibilité, votre enthousiasme, cette recherche est la vôtre.

Je remercie le Professeur Arnaud Roy, de son accompagnement tout au long de ma formation universitaire. Merci de m'avoir donné la chance d'être formée au sein du Centre de Référence des Troubles des Apprentissages (CRTA) du CHU de Nantes, dès le master 1. Ce premier stage a confirmé mon intérêt pour les troubles neurodéveloppementaux et ma volonté de me consacrer à la cause des enfants. Merci de m'avoir transmis vos connaissances et votre engouement pour la recherche. Merci de votre encadrement de qualité à chaque étape de mon parcours : mémoire de Master 1, Master 2 professionnel, Master 2 recherche et maintenant, thèse de doctorat.

Ce travail de recherche a été rendu possible grâce au Docteur Sylviane Peudenier. Je vous remercie très chaleureusement de la confiance dont vous m'avez toujours témoignée. Merci de m'avoir offert l'opportunité de travailler au sein de votre équipe, au CRTA au CHRU de Brest. Le travail y est absolument passionnant. Merci également de votre confiance à l'occasion de ce travail de recherche, de l'énergie que vous y avez consacrée et d'avoir su réunir les conditions m'autorisant à mener à bien ce travail. Je remercie par la même occasion mes collègues du CRTA de Brest de leur soutien. Merci à Justine de son implication dans ce travail et sa contribution au recueil de données.

Merci au Professeur Sylvain Brochard et au Docteur Christophe Jarry de leurs conseils avisés, leurs relectures et regards très précieux. J'adresse également mes remerciements au Professeur Pascale Planche de la qualité de nos échanges alimentant ma réflexion à certaines étapes de ce travail. Merci également au Professeur François Osiurak du suivi et de l'évaluation de l'avancée de cette étude.

Je remercie les Professeurs Maud Besançon et Béatrice Bourdin de me faire l'honneur d'évaluer ce travail en tant que rapporteurs et membres du jury.

Je tiens par ailleurs à remercier mes collègues Amanda Guerra, de son aide à la normalisation des scores à la batterie FEE et Marie-Laure Beaussart, de ses conseils méthodologiques pour la réalisation de la revue de la littérature. Merci à Chrystelle Remigereau de m'avoir guidée dans mes premiers pas lors de l'utilisation de la batterie d'évaluation des praxies chez l'enfant. Enfin, merci à Alexandre Laurent, professeur en statistique, de sa pédagogie et sa disponibilité, m'aiguillant lorsque je me trouvais dans des impasses.

Cette recherche a aussi bénéficié du soutien des psychologues de l'éducation nationale et de l'enseignement catholique du Finistère. Merci de votre intérêt pour cette étude et de votre contribution au recrutement des participants. Merci également de la qualité de nos échanges au quotidien, des liens précieux pour l'accompagnement de nos patients et de nos élèves.

Merci au directeur de l'école Guérin (Brest) de son implication dans la participation d'élèves dans cette recherche et l'ensemble des professionnels du secteur ayant relayé l'appel à participation pour cette étude.

Je remercie également les médias d'avoir diffusé l'appel à participation de cette étude, réunissant ainsi le nombre espéré de participants : Le Télégramme, Radio Tempo, sans oublier le service de communication du CHRU de Brest.

J'adresse mes remerciements à la fondation DANA, fondation Bretonne pour l'enfance, du financement de cette recherche.

Merci à Mathilde Moreau d'avoir mis ses talents de dessinatrice à ma disposition pour la réalisation de la BD d'information sur l'étude. Cette planche s'est avérée particulièrement attractive pour les petits comme pour les plus grands.

Enfin, je tiens tout particulièrement à remercier ma famille pour leur soutien inconditionnel, mes parents, mes sœurs, ainsi que Guillaume.

Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.



Sommaire

1. Introduction générale	8
1.1 Contexte de la thèse	8
1.2 Du concept d'intelligence	12
1.3 ... A la notion de haut potentiel intellectuel	15
1.4 Les praxies	20
1.5 Les fonctions exécutives	25
1.6 Structure de la thèse	28
2. Revue de la littérature	31
2.1 Article I. Neuropsychological profile in intellectually gifted children: a systematic review...	32
2.1.1 Abstract	34
2.1.2 Introduction	35
2.1.3 Method	35
2.1.4 Results	43
2.1.5 Findings in neuropsychological domains	49
2.1.6 Discussion	54
2.1.7 Conclusion and futures directions	60
2.1.8 References	61
3. Partie clinique et expérimentale	66
3.1 Problématique, objectifs et hypothèses générales	67
3.2 Méthodologie générale	73
3.2.1 Participants	73
3.2.2 Matériel	74
3.2.3 Procédure	78
3.3 Article II. Motor skills in intellectually gifted children	81
3.3.1 Abstract	83
3.3.2 Introduction	84
3.3.3 Methods	88
3.3.4 Statistical analysis	95
3.3.5 Results	96
3.3.6 Discussion	103
3.3.7 References	108

3.4 Article III. Étude du fonctionnement exécutif des enfants à haut potentiel intellectuel	118
3.4.1 Résumé	120
3.4.2 Introduction	121
3.4.3 Méthode	125
3.4.4 Analyses statistiques	128
3.4.5 Résultats	128
3.4.6 Discussion	130
3.4.7 Conclusion	134
3.4.8 Références	135
3.5 Explorations complémentaires des FE.....	140
3.5.1 Comparaisons des groupes aux échelles basées sur la performance	140
3.5.2 Comparaisons des groupes aux mesures obtenues en situation de vie quotidienne	142
3.5.3 Fréquence des déficits exécutifs et attentionnels	144
3.5.4 Convergence des BRIEF et échelles de Conners Parents et Enseignant	147
3.5.5 Étude de corrélation entre BRIEF Parents et Enseignant	147
3.5.6 Corrélation entre mesures basées sur la performance et questionnaires de la BRIEF version Parents et Enseignant	151
3.5.7 Étude de cas.....	153
4. Discussion générale.....	156
4.1 Préambule.....	156
4.2 L'hypothèse d'un trouble praxique.....	157
4.2.1 Rappel des hypothèses et des résultats	157
4.2.2 Interprétation des résultats en regard des théories	160
4.3 L'hypothèse d'un trouble des fonctions exécutives	164
4.3.1 Rappel des hypothèses et résultats aux mesures basées sur la performance	164
4.3.2 Apport des mesures de situations de vie quotidienne	167
4.3.3 Divergence des deux types d'évaluation	169
4.4 Synthèse des résultats : les contours d'un profil cognitif	173
4.5 Vers une définition du trouble dans le cadre du HPI.....	176
4.6 Limites et perspectives.....	180
4.6.1 Les défis méthodologiques	180
4.6.2 De nouvelles perspectives	184
5. Conclusion générale	187
6. Références	189
7. Table des tableaux et des figures	214
7.1 Table des tableaux.....	214
7.2 Table des figures.....	215
8. Annexes.....	216

1. Introduction générale

1.1 Contexte de la thèse

Cette thèse est le fruit d'une réflexion émergeant de la pratique clinique de toute une équipe impliquée dans la problématique des troubles des apprentissages de l'enfant. Le projet de recherche, impulsé et dirigé par le Dr Sylviane Peudenier, neuropédiatre au CHRU de Brest, a été l'occasion de réaliser différents travaux, dont ceux exposés dans la présente thèse. Ce travail n'aurait été cependant possible sans une solide assise scientifique. Les expertises du Pr Sylvain Brochard (Professeur des Universités, Praticien Hospitalier, CHRU de Brest), de Monsieur Christophe Jarry (Maître de Conférence en Neuropsychologie, Université d'Angers) et du Pr Arnaud Roy (Professeur en Neuropsychologie de l'enfant, Université d'Angers) ont à cet égard permis d'établir la validité du projet, d'en juger la faisabilité et de son utilité en termes de retombées scientifiques et cliniques. Mon intérêt pour la recherche est né lors de mes années de Master. Cependant, seule une question soulevée par la pratique clinique conditionnait l'idée de réaliser un jour une thèse.

Mon expérience clinique en Centre de Références des Troubles des Apprentissages (CRTA) et les discussions avec mes collègues nous ont amenés à constater, bien que paradoxal à première vue, que les Enfants à Haut Potentiel Intellectuel (EHPI) pouvaient se trouver en difficulté sur le plan scolaire, au point de motiver une demande de rendez-vous en CRTA. Les plaintes peuvent être variées, mais deux d'entre elles ont particulièrement retenu notre attention, orientant les problématiques dans le cadre de cette thèse.

La première de ces plaintes concerne la difficulté pour ces enfants à atteindre le niveau de calligraphie attendue, en dépit par ailleurs d'une réelle appétence pour le langage écrit, tout particulièrement la lecture. Ce décalage nous est apparu comme une gêne, pour certains d'entre eux, susceptible d'entraver leurs apprentissages et d'impacter leur scolarité. La conjoncture d'un manque d'aisance graphomotrice et la difficulté d'être en capacité de répondre aux contraintes imposées par

le milieu scolaire, feraient courir le risque d'un évitement, ou d'un désinvestissement, voire d'une aversion vis-à-vis de ce type de tâche. L'hypothèse d'un manque d'intérêt, souvent évoquée dans les ouvrages ou les articles de revues scientifiques, nous semblait éluder tout un pan de nos connaissances en neuropsychologie. Il est en effet admis que des déficits ou difficultés cognitives peuvent co-exister avec des fonctions cognitives préservées voire supérieures chez un même individu.

Des travaux préliminaires (Bucaille, 2016 ; Brosseau-Beauvir, 2017 ; Bucaille, 2018), consistant en plusieurs états de l'art sur le sujet de la motricité chez l'EHPI, nous ont apporté peu de réponses d'un point de vue empirique. Seules des difficultés d'écriture (calligraphie) étaient mises en évidence et mentionnées comme un facteur de risque de « sous-réalisation scolaire »¹, sans qu'aucune prévalence du problème n'ait été établie et sans en mesurer la gravité (s'agit-il d'un trouble ?). Parallèlement, la référence constante au phénomène de « dysynchronie » (décalage entre le niveau intellectuel et les habiletés motrices de ces enfants), dans bons nombres d'ouvrages et d'articles de revue (de vulgarisation ou à comité de lecture), invitait à penser que ces enfants puissent être entravés dans leur développement moteur et donc, dans leurs apprentissages. Il nous a semblé que la neuropsychologie, de par ses modèles et méthodes, pouvait constituer une approche appropriée pour traiter ces questions animant les personnes désireuses de mieux comprendre ces enfants et leurs besoins.

Les raisons nous ayant conduits à intégrer les fonctions exécutives (FE) dans ce travail sont plurielles. D'une part, il est difficilement envisageable de faire l'impasse sur les FE, dont on sait l'implication déterminante dans l'élaboration et la réalisation du geste (Canzano et al., 2016 ; Luria, 1978 ; Osiurak, 2016), si l'on veut traiter exhaustivement la question. Vue l'association fréquente du trouble gestuel et des FE dans divers contextes cliniques (Hartman et al., 2010 ; Leonard et al.,

¹ Terme employé pour désigner une hétérogénéité entre le niveau intellectuel supérieur des EHPI et leur niveau de réussite scolaire, inférieur (Dowdall & Colangelo, 1982 ; McCoach, & Siegle, 2003).

2015 ; Remigereau et al., 2018), outre un possible trouble du geste, les EHPI pourraient donc présenter des difficultés exécutives. Comme nous l'avons fait précédemment pour la motricité, nous avons réalisé des recherches préliminaires parmi différentes sources (bases de données, réseaux sociaux de chercheurs, ouvrages, etc.) afin de documenter leur fonctionnement exécutif. Si l'étude d'Arffa (2007) est souvent citée comme un travail de référence, démontrant les liens unissant les FE et l'intelligence ainsi que la supériorité des EHPI (en comparaison à des enfants d'intelligence moyenne au niveau exécutif), nos recherches préliminaires (Allard, 2017 ; Bucaille et al., 2017) ont quant à elles plutôt révélé des éléments très contrastés.

D'autre part, des particularités comportementales pouvant s'apparenter à des signes de dysfonctionnement exécutif sont parfois rapportées par les proches des EHPI consultant en CRTA. Ces enfants peuvent être décrits comme déployant des stratégies atypiques. En effet, s'ils parviennent à accomplir promptement et efficacement la tâche demandée, la méthodologie « normalement » attendue n'est pas systématiquement respectée. Certains expriment la difficulté à détailler la voie les conduisant au résultat, sans parvenir à en faire la démonstration. D'autres enfants sont adressés en consultation pour des comportements inattentifs, inadéquats, perturbateurs pour la vie de la classe. Si les proches justifient ces manifestations comme la résultante d'un ennui en classe, la question d'un déficit d'attention ou d'une symptomatologie de type dysexécutive se pose légitimement. A notre connaissance, une seule étude a été conduite sur les aspects comportementaux des FE chez l'EHPI, ne révélant pas de déficit à l'échelle du groupe (Hernández Finch et al., 2018), mais suggérant une variabilité notable sur le plan individuel. Nombreux sont les articles et ouvrages plus ou moins spécialisés évoquant des recoupements entre « les manifestations » du haut potentiel et les symptômes du Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H), dont on sait qu'il impacte le fonctionnement exécutif (Mullet & Rinn., 2015, p.195: « *Many gifted characteristics overlap the symptoms of attention deficit–hyperactivity disorder* »). Les descriptions évocatrices de difficultés d'organisation ou d'inhibition sont

courantes, tel cet exemple concret : « *Ils ne suivent pas les traditions, improvisent, font les choses autrement, estiment souvent que les détails et les tracasseries organisationnels n'ont aucune importance (...)* » (Kieboom, 2011 p.146). Il est même suggéré que le HPI puisse être une condition favorisant la survenue d'un trouble du neurodéveloppement : « *En pratique, il arrive régulièrement que des enfants combinent leur HPI avec un autre trouble du développement ou de l'apprentissage, comme l'autisme, le syndrome d'Asperger, le TDA/H (...)* » (Kieboom, 2011, p.51). Autant d'arguments méritant que l'on s'attarde sur le sujet.

Enfin, les FE représentent un sujet d'étude qui suscite mon intérêt depuis plus de treize ans, début de mon cursus en neuropsychologie à l'université d'Angers. Ma formation à la recherche, débutée en Master 1 sous la direction du Pr Didier Le Gall, puis lors des Master 2 professionnel et recherche sous la direction du Pr Arnaud Roy, m'ont permis de développer des connaissances relatives aux FE dans des contextes cliniques variés, tels que la dyslexie-dysorthographe (DL-DO), la neurofibromatose de type 1, puis plus tard, la phénylcétonurie et l'autisme. A certaines de ces occasions, les liens entre FE et intelligence ont été abordés, sans pouvoir traiter directement la problématique. Or, il s'agit d'un questionnement d'actualité, pour lequel de nouvelles études empiriques sont attendues afin d'appréhender leurs liens. L'analyse comparative d'individus à intelligence supérieure et moyenne constitue assurément l'une des méthodes les plus appropriées, mais aussi l'opportunité d'étudier ces deux construits centraux dans le champ de la psychologie.

Les parties introductives suivantes vont s'attacher, dans un premier temps, à définir et contextualiser les connaissances disponibles à ce jour sur l'EHPI, à travers l'explicitation de deux concepts centraux pour l'étude de cette population (notions d'intelligence et de Haut Potentiel Intellectuel - HPI -). La seconde partie introductive aura quant à elle pour objectif de définir les domaines neuropsychologiques spécifiquement traités dans cette étude à savoir, les praxies et les FE.

1.2 Du concept d'intelligence

Le concept de HPI repose principalement sur la notion d'intelligence (Carman, 2013), dont la définition reste largement débattue. Différentes définitions ont été proposées jusqu'ici, convergeant sur certains points. Ainsi, l'intelligence est admise comme une capacité mentale très générale qui implique, entre autres, la capacité à raisonner, planifier, résoudre des problèmes, penser de façon abstraite, comprendre des idées complexes, apprendre rapidement et apprendre de ses expériences. Elle reflète notre capacité à s'adapter à notre environnement, à le saisir, le comprendre, y conférer un sens et déterminer ce qu'il faut y faire (Gottfredson, 1997 ; Sternberg & Kaufman, 1998 ; Thorndike, 1921).

Bien que le concept d'intelligence soit relativement universel, il s'agit avant tout d'un concept social (Pfeiffer, 2015), étroitement lié aux croyances ou valeurs de la culture dans lequel il s'inscrit. Les définitions incluent généralement les capacités cognitives, aux côtés d'autres qualités, telle la capacité à identifier des domaines d'intelligence chez les autres ou encore, la connaissance de soi-même, dans la société confucéenne par exemple (Pang et al., 2017). En somme, les différentes cultures désignent comme « intelligent » ce qui relève d'attributs (dans les domaines cognitif, social, comportemental) considérés comme adaptés aux exigences de la vie au sein de leur communauté (Sternberg & Kaufman, 1998).

La question de l'origine de l'intelligence, innée ou acquise, ne cesse d'animer la communauté scientifique depuis plus d'un siècle (Galton, 1883 ; Terman, 1926). Aujourd'hui, il existe un consensus sur le fait que l'intelligence est sous-tendue à la fois par des facteurs biologiques (héréditaires) et environnementaux (tels que le niveau socio-culturel, l'âge de l'entrée à l'école et le niveau scolaire intégré, l'exercice physique, les interventions cognitives, la nutrition, la pollution, etc.). En revanche, leur part explicative respective dans la variance du QI reste particulièrement débattue. Les avancées importantes réalisées dans les technologies de la génétique et des neurosciences suscitent autant d'espoir que d'inquiétudes d'obtenir de nouveaux éléments de

réponse. Pour l'heure, la recherche en génétique ne permet d'expliquer que 1 à 4% de la variance de l'intelligence (Plomin & von Stumm, 2018). Les progrès accomplis dans le domaine des neurosciences participent également à une meilleure compréhension des mécanismes cérébraux sous-tendant l'intelligence, sans pour autant valider l'hypothèse d'une origine purement biologique.

Au niveau théorique, l'approche psychométrique montre le plus d'influence (par rapport aux approches développementales par exemple) sur la modélisation de l'intelligence et bénéficie de nombreux travaux de recherche (Neisser et al., 1996). Celle-ci postule que la structure de l'intelligence peut être mise à jour en analysant les relations entre résultats obtenus par des individus à différents tests mentaux. Adoptant cette perspective, l'intelligence s'exprimerait sous forme d'un facteur général, appelé « facteur *g* » (Spearman, 1904, 1923), sous-tendant l'ensemble des comportements d'un sujet. Ainsi, une personne qui, soumise à une diversité d'épreuves, obtiendrait de bonnes performances dans un domaine, aurait plus de chances d'en obtenir également de bonnes dans tous les autres. Ce phénomène a largement été démontré (Johnson et al., 2008) et mis en évidence à travers le monde (Warne & Burningham, 2019), bien que sa signification soit encore discutée (Kovacs & Conway, 2019).

Le modèle unifactoriel de l'intelligence a cependant été remis en question face à la mise en évidence de plusieurs aptitudes primaires et indépendantes, constitutives de l'intelligence (Thurstone, 1938). En 1963, Cattell propose un modèle distinguant 2 types d'intelligence : l'intelligence fluide (*Gf*) et l'intelligence cristallisée (*Gc*). *Gf* est définie comme une compétence essentiellement innée, permettant la résolution de problèmes nouveaux et pour lesquels l'individu ne dispose pas de solution connue. Ce concept est complété par celui d'intelligence cristallisée (*Gc*), dérivée de l'exercice de *Gf* au cours du développement et de l'apprentissage, qui correspond à l'assimilation de connaissances spécifiques à la culture de l'individu.

Les modèles les plus récents de l'intelligence combinent ces deux types de modèles, unifactoriel et multifactoriel. C'est le cas de la taxonomie issue de la fusion du modèle étendu *Gf*-

Gc de Cattell (1963) et Horn (Horn & Blankson, 2005) et du modèle à 3 strates de Carroll (1993), aussi appelé modèle de Cattell-Horn-Carroll (CHC) (McGrew, 1997). Différentes aptitudes y sont classifiées, réparties en trois niveaux hiérarchiques. Le premier comprend une centaine d'aptitudes spécifiques. Seize dimensions se trouvent représentées au niveau intermédiaire et enfin, le facteur g est situé au niveau supérieur.

Ce modèle, bien qu'il soit le plus abouti, ne fait toutefois pas complètement l'unanimité. Des modèles alternatifs existent (Gardner, 1983 ; Sternberg, 1981), mais souffrent pour l'heure d'un manque de validité (Sternberg & Kaufman, 1998). La plupart des mesures contemporaines de l'intelligence (comme les échelles de Wechsler) reposent donc actuellement sur le modèle CHC, alliant à la fois l'idée d'une conception unidimensionnelle de l'intelligence et les théories d'intelligences multiples (Roulin, 2018).

Les premières mesures de l'intelligence ont été développées dans le cadre de l'éducation publique (Cicciola et al., 2014). A la fin du XIXème siècle, le gouvernement français rend la scolarisation publique, gratuite, laïque et obligatoire. Cette ambition s'avère néanmoins confrontée à quelques obstacles. Cette scolarisation de masse conduit en effet à intégrer des enfants souffrant de problèmes mentaux, marginalisés ou provenant de milieux défavorisés, pour lesquels une éducation spéciale est nécessaire. Mandaté par le gouvernement, Alfred Binet est chargé d'élaborer une méthode afin de repérer ces enfants. Il présente en 1905 le premier outil (l'Échelle Métrique de l'Intelligence) permettant de déterminer le niveau d'intelligence d'un enfant en rapport avec sa classe d'âge (« âge mental ») et ainsi identifier les enfants aux besoins éducatifs spéciaux. Pendant de nombreuses décennies, l'usage des outils d'évaluation de l'intelligence en France restera ainsi dédié au repérage des élèves en difficulté. Bien que Binet ait constaté que certains enfants réussissaient mieux que les autres à son test, ses observations sont restées à l'époque anecdotiques et aucune attention particulière n'était portée à ces enfants surdoués, « avantagés ». Il faudra attendre les années 1970-1980 pour que le sujet soit abordé en France (Bert, 2018) et un rapport au

gouvernement (Delaubier, 2002) pour que les conditions de scolarisation des EHPI soient discutées et l'usage du Quotient Intellectuel, légitimée pour l'identification de ces enfants.

Si la mesure de l'intelligence est reconnue pour son utilité, elle présente cependant un certain nombre de limites. Tout d'abord, il s'agit d'une mesure basée sur un modèle qui ne peut en réalité saisir la complexité des phénomènes du monde réel qu'il est censé représenter (Sternberg & Kaufman, 1998). « L'intelligence » devient le produit de ce qui a été mesuré par le test (Boring, 1923). La mesure qui en découle est avant tout le résultat d'une inférence de compétences à partir de performances, obtenues au cours de mise à l'épreuve, dans des conditions expérimentales standardisées. Le QI est par ailleurs une mesure normative, obtenue en comparaison à un groupe d'individus, qui appelle nécessairement un travail d'interprétation (Roulin, 2018). Comme de nombreuses mesures, elle comprend aussi un risque d'erreur (Grégoire, 2012). Pour toutes ces raisons, le QI ne peut être considéré comme synonyme d'intelligence (Grégoire, 2019), mais plutôt comme une mesure d'efficacité tentant de l'approcher.

Malgré ces imperfections, la mesure de l'intelligence est considérée comme la plus robuste (Grégoire, 2009) et la plus aboutie de toutes celles développées en psychologie. Elle démontre une très bonne stabilité dans le temps, tout au long de la vie (Deary et al., 2004). Des liens ont été mis en évidence entre la mesure de l'intelligence et la santé, le bien-être, la santé mentale et la longévité (Savage et al., 2018 ; Whalley & Deary, 2001). Elle reste de loin celle dont la valeur prédictive est la plus précise (Grégoire, 2017a) notamment au niveau de la réussite scolaire (Giofrè et al., 2017a) et professionnelle. Elle est largement plébiscitée par les psychologues pour apporter un éclairage sur le fonctionnement cognitif des enfants (Giofrè et al., 2017b ; Thaler et al., 2010). Cette mesure est donc considérée comme un outil de choix pour identifier les EHPI (Silverman, 2009).

1.3 ... A la notion de haut potentiel intellectuel

Différents termes ont été employés au cours de l'histoire pour désigner des enfants dont les capacités intellectuelles dépassent la norme. Ces termes recouvrent différentes connotations et

concepts théoriques (Lubart, 2006). En France, le terme de « surdoué » a progressivement été abandonné du fait de sa connotation héréditaire, mais aussi divine (« don »), dans un pays très attaché au principe de laïcité et d'égalité de chances. Le terme de « précocité intellectuelle » a été retenu par l'éducation nationale et certaines associations. Ce terme est largement employé depuis le rapport Delaubier (2002) au ministre de l'éducation nationale sur la scolarité des enfants intellectuellement précoces (EIP). L'EIP y est défini (p. 4) comme « *un enfant qui manifeste la capacité de réaliser, dans un certain nombre d'activités, des performances que ne parviennent pas à accomplir la plupart des enfants de son âge* ». Ce terme fait référence à un modèle linéaire du développement, affirmant que les performances ne sont exceptionnelles qu'en raison de l'âge auquel elles sont observées (Lautrey, 2004). De fait, il questionne la stabilité de cette avance dans le temps (Lubart, 2006).

D'autres auteurs affirment que le développement de l'EHPI peut s'avérer « dyschronique » (Terrassier, 2009) ou « asynchronique » (Silverman, 1997) ou encore « hétérochronique » (Corbin et al., 2012) d'un secteur à l'autre (motricité, intelligence, socialisation...) ou au sein même du fonctionnement cognitif. Le terme de précocité tend ainsi à être de plus en plus délaissé au profit de « haut potentiel » (« high ability » en Europe) ou « haut potentiel intellectuel » (Liratni & Pry, 2007). Cette terminologie attire l'attention à la fois sur les aspects quantitatifs (haut) et sur la notion de « potentiel », en tant que potentiel de réalisation plutôt que de réalisation effective (Cuche & Brasseur, 2017). En effet, plusieurs recherches ont alimenté l'idée que, malgré d'excellentes capacités intellectuelles, un enfant peut se trouver en situation de sous-réalisation scolaire (Reis & McCoach, 2000) ou que son potentiel ne puisse complètement s'exprimer en raison de certains facteurs, comme un trouble des apprentissages (Brody & Mills, 1997).

En pratique, et en règle générale, un enfant est considéré à haut potentiel lorsqu'il obtient un Quotient Intellectuel Total (QIT) supérieur ou égal à 130 aux échelles d'efficiences intellectuelle

(Caroff, 2004 ; Grégoire 2012 ; McCoach et al., 2001 ; Quartier et al., 2019), soit 2 écarts-types au-dessus de la moyenne. S'en tenant aux statistiques, les EHPI représenteraient donc 2,3% des enfants d'un âge donné.

Plusieurs limites ont toutefois été pointées concernant le recours au QI pour l'identification des personnes à HPI, dont les qualités psychométriques de l'outil, notamment au niveau de sa sensibilité (effet plafond chez les EHPI) et de sa fidélité (maintien du $QI \geq 130$ dans le temps) (Caroff, 2004). Des alternatives à ce type de mesures ont été recherchées, à travers des évaluations auto- ou hétéro-rapportées (à destination des parents, des enseignants), mais l'appréhension du construit d'intelligence s'est avérée faible (Terriot et al., 2017). Il est aussi parfois reproché aux échelles d'intelligence de ne pas tenir compte de toutes les modalités d'expression de l'intelligence (en référence aux modèles d'intelligences multiples comme celui de Gardner, 1983) et de « sous-identifier » des enfants dont les capacités ne seraient pas visibles dans les tests habituels. D'autres estiment que le HPI ne saurait se résumer à une intelligence élevée et que d'autres facteurs tels que la motivation, la créativité et les aptitudes exceptionnelles (Renzulli, 2005) doivent être pris en considération. Mais au final, sur l'ensemble de ces propositions, il n'a pas été possible pour le moment de dégager un ou des domaine(s) autre(s) (ou complémentaires) que l'intelligence pour identifier les EHPI de manière aussi fiable qu'avec un test d'intelligence. Certains chercheurs invitent à considérer ces aspects plutôt comme des formes distinctes de haut potentiel, à l'image du *haut potentiel créatif* (Besançon et al., 2010).

Dans la pratique clinique (et dans la recherche), la diversification des méthodes d'évaluation pour l'identification des EHPI est encouragée (Caroff, 2004), incluant le recueil d'éléments anamnestiques, à la recherche par exemple d'étapes développementales qui auraient été acquises précocement (premiers mots, marche précoce). Cependant, la variabilité inter- et intra-individuelle est telle que ce seul critère risquerait de conduire à de faux-positifs ou faux-négatifs. Des facteurs additionnels sont souvent pris en compte, sans être pour autant considérés comme spécifiques au

HPI : l'environnement socio-économique, la composition de la famille, le cursus scolaire, la qualité de l'acquisition du langage, les activités extrascolaires ou encore le fonctionnement affectif (Quartier et al., 2019 ; Revol & Bléandonu, 2012). Enfin, si dans la pratique clinique, le QI est une information précieuse pour identifier les EHPI, il permet rarement à lui seul de répondre aux besoins exprimés par les patients et leurs parents. Le HPI peut générer un rapport particulier à soi ou au monde, et par conséquent motiver la consultation d'un psychologue (Cuhe & Brasseur, 2017). Une analyse clinique est nécessaire afin d'apporter une réponse spécifique à chaque individu.

Dans le domaine de la recherche, les études conduites sur le HPI sont particulièrement critiquées pour leur manque de rigueur sur le plan méthodologique (Dai et al., 2011 ; Gauvrit, 2015 ; Lautrey, 2004). Ainsi, la mesure de l'intelligence n'est pas aussi fréquemment utilisée que l'on pourrait le penser, puisque seules 62% des études sur le HPI utilisent une mesure du QI et seulement 52% utilisent un seuil de 130 (Carman, 2013). Les seuils de QIT adoptés varient en effet d'une étude à l'autre (en moyenne de 120 à 140). Dans certaines d'entre elles, le critère d'inclusion ne repose que sur la présence d'un seul indice (ou quotient) atteignant le seuil de 130 (par exemple, le Quotient Intellectuel Verbal (QIV) ou de Performance (QIP) dans les études de Sweetland et al., 2006 ; Johnson et al., 2003). Le choix de ces critères est rarement explicité, mais laisse à penser qu'il dépendrait du but de l'étude et des moyens déployés pour le recrutement (Quartier et al., 2019). Les EHPI constituent en effet une population rare, par définition statistique (2,3%), peu facile à approcher pour les chercheurs, motivant probablement l'abaissement du seuil du QIT dans certaines études, en vue de favoriser l'inclusion de participants.

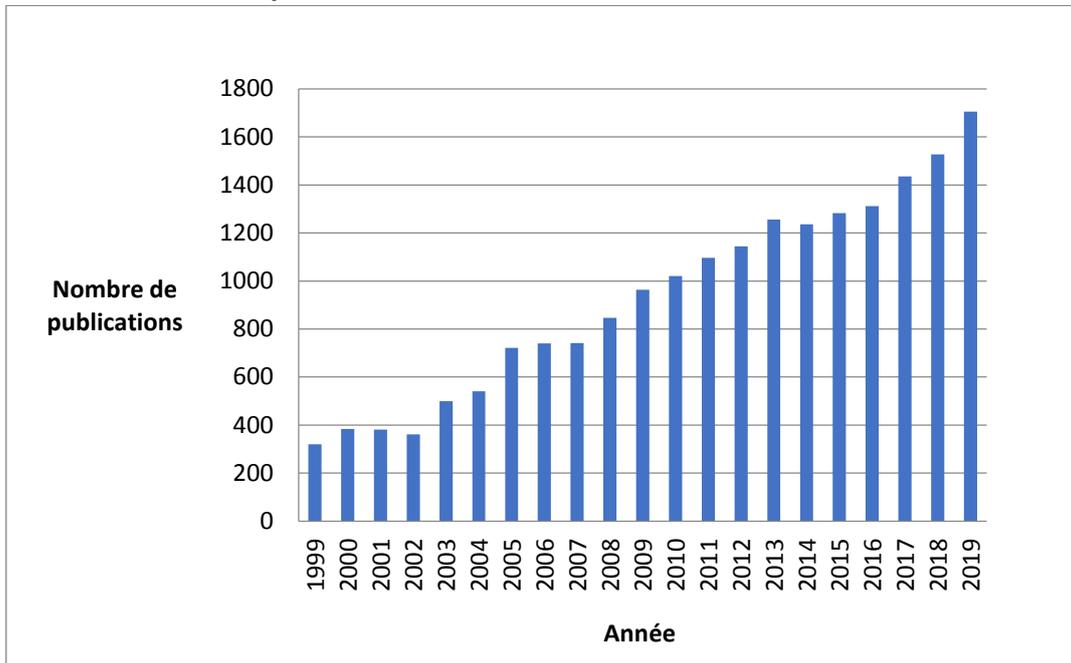
Ces variations ne sont pas anodines et peuvent considérablement modifier les résultats d'une recherche et de fait, les conclusions qui en sont extraites. Par exemple, si le seuil est en-dessous de 130, le risque est alors de rapprocher les résultats des HPI à ceux de la population générale et de masquer des effets qui seraient visibles en adoptant un seuil plus strict (Gauvrit, 2015). Ces

disparités méthodologiques entre recherches sur le HPI limitent les comparaisons possibles entre résultats et en complexifient la synthèse (Viana-Sáenz et al., 2020). Elles peuvent aussi expliquer au moins en partie l'hétérogénéité des conclusions actuellement portées sur le HPI.

Il semblerait que la majeure partie des études s'intéressant au HPI soient conduites sur des populations spécifiques, à savoir des enfants issus des consultations spécialisées ou enfants suivant un cursus scolaire adapté pour le HPI (Gauvrit, 2015), sans en connaître la proportion exacte. L'étude de ces populations constitue un biais d'échantillonnage pour qui voudrait s'intéresser au HPI au sens large, dans la mesure où la généralisation des résultats est délicate. La récurrence des études basées sur ce type de méthodologie peut conduire à un sérieux problème de représentativité de l'ensemble de la littérature sur le sujet des EHPI.

Malgré les difficultés inhérentes à l'étude de cette population (variabilité de sa définition, différences dans les critères employés pour son identification, problèmes de représentativité des échantillons), le nombre de publications sur le sujet n'a cessé de s'accroître au cours des dernières années (Dai et al., 2011). En l'espace de vingt ans, le nombre de publications a été multiplié par plus de 5, passant de 320 à 1705 entre 1999 et 2019 (figure 1).

Figure 1. Nombre de publications concernant les enfants à haut potentiel intellectuel répertoriées dans la base de données Scopus entre 1999 et 2019



Il existe une réelle demande d'informations scientifiques sur le sujet, de la part des familles mais aussi des professionnels (enseignants, psychologues et autres), qui ne se sentent pas toujours suffisamment préparés à accueillir ce type de public (Lautrey, 2004). L'approche neuropsychologique, de par sa vocation à décrire l'architecture fonctionnelle de la cognition des individus dans leur différence, représente une opportunité d'apporter un nouvel éclairage sur le fonctionnement de ces enfants (Jambaqué, 2004).

1.4 Les praxies

La littérature sur le sujet des praxies fait essentiellement référence à « l'apraxie », considérée comme un trouble de l'activité gestuelle acquis en l'absence de déficits sensorimoteurs, de trouble de la compréhension ou de détérioration mentale (Le Gall et al., 2012). Différentes formes d'apraxies sont classiquement distinguées, selon le type de geste perturbé. Néanmoins, les modélisations théoriques rendent compte d'une multitude de facteurs susceptibles d'expliquer des perturbations visibles dans le geste. Étudier les praxies renvoie à s'intéresser à une organisation en

trois niveaux : la motricité, le mouvement et le geste (Le Gall, 1998). Le premier niveau fait référence au potentiel neuromusculaire, le second à « la volonté », et le dernier au « sens ». Le geste est ainsi conçu comme le résultat observable d'un processus se réalisant par la motricité, passant par une phase qui confère à la motricité une organisation, et au geste, un sens. Les praxies font donc référence à un comportement moteur dirigé vers un but, présument une intention consciente (Le Gall et al., 2012). Au cours du développement, l'enfant va, au fur et à mesure de ses expériences et des interactions avec son environnement, accroître son répertoire de gestes, de manière quantitative et qualitative.

Les troubles du mouvement intentionnel de l'enfant sont regroupés sous le terme de Trouble du Développement de la Coordination (TDC) (APA, 2016). Le TDC est considéré comme un trouble neurodéveloppemental s'exprimant chez des enfants indemnes de troubles sensoriels et neurologiques, mais présentant des déficits dans l'acquisition et l'exécution d'habileté motrice. Les mécanismes cérébraux impliqués dans le TDC sont encore mal connus. Bien qu'il ne résulte pas d'une affection neurologique (telle que la paralysie cérébrale, l'hémiplégie, la dystrophie neuromusculaire), il est admis que ce trouble pourrait être en lien avec une organisation cérébrale atypique, dans laquelle des régions aussi variées que les aires pariétales et frontales, les ganglions de la base, le cervelet, le cortex cingulaire et gyrus lingual seraient impliqués (Biotteau et al., 2020). Toutefois, le polymorphisme des symptômes, la co-occurrence de dysfonctionnements autres, la fréquence et la variété des étiologies associées n'ont pas permis d'identifier une organisation cérébrale spécifique à ce trouble, dans lequel l'interaction entre facteurs biologiques et environnementaux doit être également prise en compte (Gomez & Sirigu, 2015 ; Peigneux & Betsch, 2009).

Classiquement, l'apraxie de l'adulte (pathologie acquise) sert de cadre de référence dans la compréhension du TDC de l'enfant (Costini et al., 2013 ; Leroy-Malherbe, 2006 ; Peigneux et al., 2009). Différents types de TDC ont ainsi été décrits par analogie aux troubles rencontrés chez

l'adulte, sur la base des symptômes observés, tels que la dyspraxie (en référence à un trouble développemental, par opposition au trouble acquis) « idéatoire », « idéomotrice », « visuo-constructives », « visuo-spatiale », « de l'habillement » ou encore « buccolinguofaciale » (Vaivre-Douret, 2007 ; Vaivre-Douret et al., 2011a). De fait, les modèles cognitifs de l'apraxie chez l'adulte, malgré leur caractère « statique » faisant fi de la dynamique développementale, ont servi de point de départ à la description des troubles du geste chez l'enfant (Peigneux et al., 2009).

Différentes composantes praxiques gestuelles ont été décrites dans le cadre de modèles de l'apraxie élaborés chez l'adulte. Parmi les modèles les plus influents, l'un d'entre eux (Roy & Square, 1985 ; Roy, 1996), postule que le geste est sous-tendu par trois composantes principales, comprenant notamment le système conceptuel (cognitif-linguistique) et le système de production. Le système conceptuel inclut les connaissances relatives aux fonctions et aux actions possibles avec des objets, la connaissance des actions indépendamment des outils ou des objets, et les connaissances relatives à la sériation d'actions seules en séquence. Le système de production porte sur la mise en œuvre de l'action et de son contrôle, englobant des processus de haut niveau (attention, programmation des actions et activation des programmes) et de bas niveau (environnement, mobilisation des muscles). Une composante non spécifique du contrôle gestuel complète le modèle, le système sensori-perceptif, traitant les informations auditivoverbales et visuelles relatives aux gestes ou aux objets. Ce modèle, initialement basé sur les apports de la psychologie cognitive, a été récemment validé et enrichi (avec l'intégration de modules supplémentaires entre le système sensori-perceptif et le système conceptuel) par sa mise à l'épreuve auprès de patients apraxiques (Stamenova et al., 2012).

Le modèle des engrammes gestuels développé par Rothi et al. (1991, 1997) envisage l'apraxie comme la résultante d'une altération des représentations du geste (ou « engrammes gestuels ») ou d'une déconnexion de ces représentations avec les « patterns innervatoires » (Jarry, 2013). Le modèle propose de distinguer 3 modalités d'entrées (auditive/verbale, visuelle/objet,

visuelle/geste) pour la réalisation de gestes et suggère l'existence de voies multiples, dont l'existence d'une voie directe (analyse visuelle → production gestuelle). Dans son modèle, Buxbaum (2001) reprend quant à elle la notion d'engramme en remplaçant l'étude du geste dans une perspective anatomo-fonctionnelle. Dans ces deux modèles, l'existence d'un lexique d'action (regroupant les connaissances sur la manipulation) occupe une place centrale dans l'utilisation d'outils (Osiurak, 2016).

Ces théories, centrées sur la définition d'un trouble basé sur l'atteinte de la sémantique ou de la mémoire du geste (Beumard, 2015 ; Le Gall, 2012) se sont peu attachées à décrire l'utilisation réelle d'outils, en l'absence de module dédié à cet aspect (Lesourd et al., 2018). En effet, le rôle central occupé par les représentations d'outils déjà manipulés dans ces modèles, éclipse la question de l'utilisation d'outils nouveaux ou encore, l'utilisation non usuelle d'outils (Jarry et al., 2016), tel que se servir d'une règle pour atteindre un objet sous un meuble. Le recours aux connaissances relatives à la manipulation n'aurait rien de systématique et il semblerait que d'autres aspects cognitifs, tel que le raisonnement (basé sur les connaissances mécaniques), occuperait une place fondamentale dans la réalisation du geste (Goldenberg, 2014). Les connaissances mécaniques contiennent des informations relatives aux propriétés physiques utiles pour réaliser une action mécanique (Osiurak, 2016). Elles ne sont pas directement associées à l'usage d'outils familiers, mais renvoient à la compréhension des propriétés physiques utiles pour élaborer une action mécanique (savoir couper renvoie à savoir qu'il faut opposer à l'objet un outil abrasif, solide et fin). Cette approche offre un nouveau cadre de compréhension des difficultés pouvant être rencontrées par les patients lors de l'utilisation d'outils en situation de vie quotidienne, dont l'explication ne peut être exclusivement imputée à un défaut de stockage d'informations.

D'autres modèles cognitifs ont par ailleurs été développés pour décrire l'architecture fonctionnelle sur laquelle repose certains types de praxies en particulier. L'écriture, dont l'apprentissage est fondamental et critique chez l'enfant, bénéficie de plusieurs modélisations

théoriques. L'écriture reposerait sur des processus pouvant être départagés en deux catégories (Yates et al., 1995) : les processus de « haut niveau » impliqués dans la génération d'un texte (traduction d'idées en représentations langagières) et les processus de « bas niveaux », impliqués dans la transcription (traduire ces représentations en symboles écrits sur une page). Dans leur modèle du trouble de l'écriture chez l'enfant (dysgraphie), McCloskey et Rapp (2017) distinguent deux principales « causes » possibles à la perturbation de l'écriture chez l'enfant. Les causes proximales recouvrent l'ensemble des mécanismes cognitifs impliqués dans l'épellation : la mémoire à long terme orthographique, le processus de conversion phono-graphémique et la mémoire de travail orthographique. Les causes distales comprennent quant à elles les perturbations de la conscience phonologique, de la mémoire visuelle (limitant la construction de représentations orthographiques) ou du contrôle moteur (conversion des représentations des lettres en allographes et élaboration des plans moteurs passant par des représentations spécifiant les mouvements). A l'image des modèles apraxiques généraux de l'adulte, il semblerait qu'une perturbation observée dans le geste d'écriture puisse en réalité résulter d'un déficit de processus très divers.

L'identification des TDC chez l'enfant repose sur une approche descriptive (Remigereau & Costini, 2018), dans le cadre d'un examen classiquement basé sur des tests initialement développés pour l'adulte. Néanmoins, ces tests font rarement référence aux modèles adultes sur lesquels ils s'appuient, si bien qu'il est parfois difficile pour l'examineur de comprendre les mécanismes sous-jacents impliqués dans la perturbation du geste (Costini et al., 2017).

Concernant l'examen des praxies chez l'enfant dans le cadre de ce travail de thèse, plusieurs épreuves issues de la « *Batterie d'évaluation des troubles d'utilisation d'objets chez l'enfant* » (LPPL, 2013), ont été sélectionnées pour être administrées aux participants, aux côtés d'autres tâches connues déjà connues pour leur utilité dans la pratique clinique. Les tests constitutifs de cette batterie sont issus de la « *Batterie Praxies et Raisonnement Technique* » développés chez l'adulte (Jarry et al., 2016), adaptés à la population pédiatrique et dont l'utilité clinique a été éprouvée

(Remigereau et al., 2016 ; Remigereau et al., 2018). Les fondements théoriques de ces outils reposent sur les modèles précédemment exposés, mettant en jeu les connaissances sensorimotrices, conceptuelles, pratiques, les connaissances sur le corps humain, le contrôle visuel et la dynamique gestuelle. Enfin, conformément aux recommandations actuelles pour l’investigation du TDC (Blank et al., 2019), les compétences motrices en situation de vie quotidienne ont été appréhendées par une évaluation écologique, à travers le questionnaire de la *Batterie d’évaluation du mouvement chez l’enfant (2^{ème} édition) – M-ABC-II-* (Marquet-Doléac et al., 2016, pour l’adaptation française).

1.5 Les fonctions exécutives

Les FE sont considérées comme des fonctions de « haut niveau » facilitant l’adaptation de l’individu à son milieu (Van der Linden et al., 2000). Elles sont au cœur de la régulation du comportement, face aux exigences et fluctuations soudaines de l’environnement (Friedman & Miyake, 2017 ; Gillet et al., 2000). A partir du moment où des réponses nouvelles doivent être trouvées face à des situations inédites ou complexes, les FE sont mises en œuvre. Leur émergence progressive est un phénomène essentiel du développement de l’enfant, lui permettant d’ajuster continuellement son comportement selon des contingences internes et environnementales (Roy, 2015).

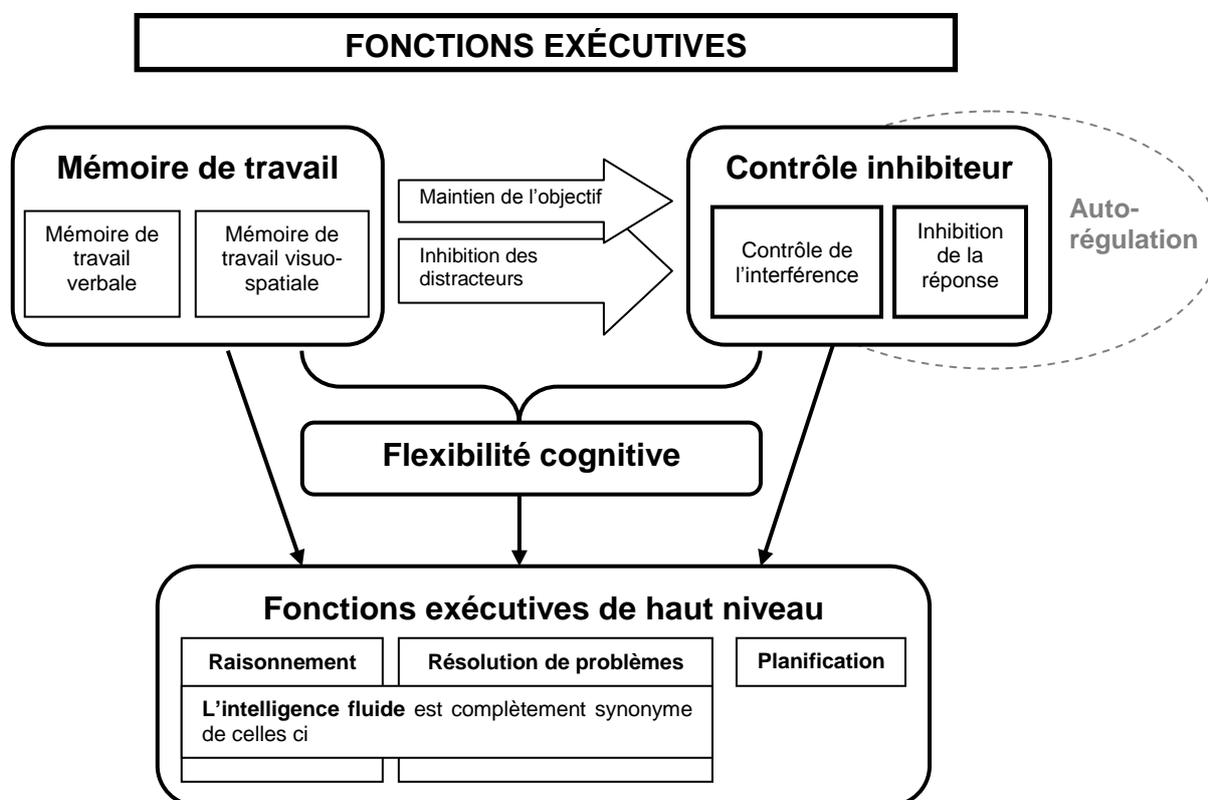
Initialement indifférenciées dans la petite enfance, les FE vont progressivement s’autonomiser au fur et à mesure du développement de l’enfant, faisant d’elles des fonctions qui deviendront plus tard distinctes mais interdépendantes (Lee et al., 2013). Leur développement précoce et prolongé, en lien notamment avec la maturation des structures frontales (Gogtay et al., 2004), leur confère cependant une certaine vulnérabilité (Anderson et al., 2010 ; Roy et al., 2012). Sous-tendues par un large réseau cérébral, elles sont susceptibles d’être affectées dans divers contextes cliniques, comme les lésions acquises, les troubles du neurodéveloppement ou les maladies neurogénétiques (Canton et al., 2019 ; Le Fur et al., 2020 ; Roche et al., 2020 ; Roy et al., 2010 ; Varvara et al., 2014). Compte tenu de la diversité des contextes étiologiques dans lesquels

elles s'expriment, et parfois même de leur forte prévalence, les atteintes du fonctionnement exécutif sont considérées comme un trouble fréquent dans la population pédiatrique (Roy et al., 2020). Leur rôle déterminant dans la réussite scolaire et professionnelle (Diamond, 2013 ; Gerst et al., 2017) et dans le développement sociocognitif justifie d'une attention toute particulière et d'un examen neuropsychologique ajusté (Diamond, 2016).

Vu l'importance qu'occupent ces fonctions dans le développement psychologique, elles ont parfois été assimilées à l'intelligence. Les définitions des FE et de l'intelligence présentent des points de similitude, notamment les références aux notions d'adaptation et de résolution de problème (Cattell, 1987). Un rapprochement a ainsi été opéré entre FE et intelligence fluide (*Gf*) sur le plan théorique (Diamond, 2013) et empirique (Verguts & De Boeck, 2002). Toutefois, les FE dans leur ensemble ne participent qu'à une petite partie de la variance de l'expression de l'intelligence. Quelques FE spécifiques pourraient être ainsi plus fortement liées à l'intelligence, notamment la mémoire de travail (Arffa, 2007 ; Benedek et al., 2014 ; Friedman et al., 2006) ou plutôt, les mesures de l'intelligence ne recruteraient pas toutes les FE de manière équivalente (Friedman et al., 2006).

Le modèle de Diamond (2013) distingue trois principales FE que sont l'inhibition (contrôle inhibiteur incluant le contrôle de soi) et le contrôle de l'interférence (comprenant l'attention sélective), la mémoire de travail et la flexibilité cognitive (figure 2). Les fonctions de plus haut niveau, telles que le raisonnement, la résolution de problème et la planification, sont construites sur la base de ces trois principales fonctions.

Figure 2. Adaptation du modèle de Diamond (2013)



Une distinction est parfois opérée entre les différents contextes dans lesquels les FE sont mises en jeu (Zelazo & Carlson, 2012). Ainsi, dans les situations à forte composante motivationnelle ou émotionnelle, les FE « chaudes » interviennent principalement, tandis que les FE « froides », renvoyant au versant cognitif du fonctionnement exécutif, s'expriment dans les situations neutres. Ces fonctions peuvent être touchées indépendamment les unes des autres.

Les outils destinés à l'évaluation des FE ont connu un véritable essor au cours des vingt dernières années. Les tests déjà existant pour l'adulte sont le plus souvent transposés et adaptés en vue de les rendre ludiques et attrayants pour les enfants (Roy et al., 2020). Pour l'heure, en France, les étalonnages des tests édités reposent cependant sur de petits effectifs et peuvent questionner la qualité du score normatif obtenu. Les FE sont classiquement évaluées dans le cadre d'un examen standardisé, comprenant des mesures basées sur la performance. Les questionnaires permettent

quant à eux d'interroger la qualité du fonctionnement exécutif en situation de vie quotidienne, par l'observation directe de comportements dans les milieux dans lesquels évolue l'enfant (à la maison et à l'école). L'*Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives* (BRIEF, Gioia et al., 2000 ; adaptation française : Roy et al., 2013) est actuellement l'outil de référence en France pour en appréhender ces aspects.

1.6 Structure de la thèse

Après une introduction explicitant les concepts relatifs à notre population d'étude, comprenant les notions fondamentales d'intelligence et de HPI, suivies des définitions et modélisations théoriques des praxies et des FE, la thèse s'organise autour de trois articles. La revue de la littérature, rédigée sous forme d'article (article I), offre une synthèse des données empiriques concernant le fonctionnement cognitif des EHPI. Celle-ci concourt à l'élaboration de la problématique présentée ensuite, suivi de l'exposé des objectifs, des hypothèses et de la méthode générale de notre étude. L'étude du fonctionnement pratique des EHPI est spécifiquement traitée dans la partie suivante (article II). Deux autres sections sont ensuite consacrées aux FE. La première propose d'examiner les résultats (scores de déficits normés) des participants aux tests basés sur la performance (article III) et la seconde, leurs résultats bruts à ces tests (en comparaison avec le groupe d'EDT de notre étude) et aux échelles d'évaluation hétéro-rapportées (partie « Explorations complémentaires des FE »). Les apports de ces différents travaux sont débattus dans la discussion générale puis synthétisés dans la conclusion.

La première étape de ce travail de thèse consistait à établir une synthèse des données théoriques (Article I), aboutissant à une vision globale du fonctionnement cognitif des EHPI. L'objectif était de déterminer le positionnement de ces enfants en référence à une norme pour chacune des grandes fonctions cognitives et d'esquisser ainsi les contours d'un profil cognitif. Les résultats ont permis de discuter l'hypothèse de « dyssynchronie » souvent évoquée dans la littérature, mais généralement peu étayée par des données empiriques. Dans le même temps, ce

travail a été l'occasion de dresser un état des lieux des méthodologies utilisées pour l'étude de cette population et de proposer des alternatives pour dépasser les limites rencontrées dans ce champ de recherche. De nouvelles perspectives de recherche sont proposées à la fin de l'article.

Ensuite, la partie expérimentale se compose d'un exposé de la problématique générale de la thèse, suivi des hypothèses de recherche et de la méthodologie générale. Deux articles expérimentaux sont ensuite proposés. Ces deux articles participent à la description du fonctionnement cognitif des EHPI, l'un concernant leur capacité gestuelle et l'autre, leur fonctionnement exécutif.

L'article II traite de la question de l'efficacité du geste au sein d'un échantillon d'EHPI en comparaison à un groupe d'EDT, apparié sur l'âge. Ce travail est original du point de vue de sa méthodologie, en raison de son approche systématique de l'évaluation du geste, théoriquement guidée, incluant à la fois une évaluation basée sur la performance et des mesures de situations de vie quotidienne (questionnaire parental).

L'article III, publié en 2020 dans la revue *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, se focalise quant à lui sur la problématique du fonctionnement exécutif des EHPI. Si quelques articles internationaux ont en effet rapporté des performances comparables voire supérieures chez les EHPI, une partie de la littérature rapporte cependant une description comportementale proche de celle souvent observée dans le syndrome dysexécutif ou le TDA/H. Cet article se propose de tester l'hypothèse dysexécutive chez les EHPI, à l'appui d'une nouvelle batterie (Roy et al., à paraître) validée auprès d'une large tranche d'âge, offrant un examen relativement exhaustif, spécifique et théoriquement guidé des FE. Les performances des EHPI y sont comparées à un large échantillon normatif. La fréquence des scores d'alerte, de déficit et de déficit sévère est testée en référence à une population théorique.

La partie suivante « Explorations complémentaires des FE » apporte une nouvelle analyse des performances des EHPI – non plus basée sur des scores de déficits, mais de performances brutes

- et aborde la question de la qualité de leur fonctionnement exécutif dans leurs différents milieux de vie, à la maison et à l'école. Les résultats obtenus aux questionnaires de la BRIEF et aux échelles de Conners sont comparés à ceux obtenus par les EDT. La fréquence des scores significatifs au sein des deux échantillons est ensuite analysée, afin d'obtenir une représentation du nombre de participants concernés par un score potentiellement significatif sur le plan clinique. La convergence des scores aux questionnaires complétés par les parents et les professeurs est examinée pour déterminer si les déficits observés d'un côté et de l'autre, concernent finalement bien les mêmes enfants. L'interprétation de ces résultats est directement intégrée dans la partie Discussion.

La discussion générale reprend l'ensemble des apports de chacun de ces travaux en croisant leur conclusion, afin de répondre aux objectifs et aux hypothèses de la recherche.

La conclusion rapporte la synthèse des éléments clés de cette thèse, en ouvrant la voie sur de nouvelles perspectives.

2. Revue de la littérature

Cette partie théorique a donné lieu à un travail préliminaire et a fait l'objet d'une communication orale :

Brosseau-Beauvir, A. (2017). *Étude des spécificités de la motricité chez l'enfant à haut potentiel intellectuel : revue systématique de la littérature*. Thèse de médecine. Université de Brest.

Bucaille, A. (2018). « *Motricité chez l'enfant à haut potentiel intellectuel* ». Communication orale au colloque « Regards Croisés : L'enfant à Haut Potentiel Intellectuel : atout ou vulnérabilité ? », Brest.

2.1 Article I

Neuropsychological profile of intellectually gifted children: a systematic review

Ce texte est la reproduction d'un article soumis à une revue internationale à comité de lecture.

NEUROPSYCHOLOGICAL PROFILE OF INTELLECTUALLY GIFTED CHILDREN: A SYSTEMATIC REVIEW

Aurélie Bucaille^{1,2}, Christophe Jarry², Justine Allard³, Sylvain Brochard^{4,5,6}, Sylviane Peudener¹,
Arnaud Roy^{2,7}

¹ Learning Disabilities Reference Center, Brest University Hospital, Brest, France

² Pays de la Loire Psychology Laboratory, University of Angers, Angers, France

³ “L’estuaire” medical and educational institute, Saint-Brévin-les-Pins, France

⁴ Pediatric Rehabilitation Department, ILDYS Foundation, Brest, France

⁵ Pediatric Rehabilitation Department, Brest University Hospital, Brest, France

⁶ Medical Information Processing Laboratory (LaTIM), INSERM, Brest, France

⁷ Learning Disabilities Reference Center, Nantes University Hospital, Nantes, France

Corresponding author: aurelie.bucaille@chu-brest.fr

ORCID: 0000-0001-5464-5005

2.1.1 Abstract

Objective. The term *intellectually gifted* (IG) refers to children of high intelligence, which is classically measured by the intelligence quotient (IQ). Some researchers assume that these children's cognitive profile is characterized by both strengths and weaknesses, compared with that of their typically developing (TD) peers with an average IQ. The aim of this systematic review was to verify this assumption, by compiling data from empirical studies of cognitive functions (language, motor skills, visuospatial processing, memory, attention and executive functions, social and emotional cognition) and academic performances. **Method.** The literature search yielded 658 articles, 15 of which met the selection criteria taken from the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA) model. We undertook a qualitative summary, to highlight any discrepancies between cognitive functions. **Results.** IG children exhibited better skills than TD children in a number of domains, including attention, language, mathematics, verbal working memory and shifting (i.e., executive functions), and social problem solving (i.e., social cognition). However, the two groups had comparable skills in other domains, namely visuoconstructional skills, memory, planning, inhibition and visual working memory (i.e., executive functions), and facial recognition (i.e., social cognition). **Conclusion.** Despite strengths, IG children may perform similarly to their TD peers on many cognitive measures. Just like any other children, they can display learning disabilities, which can be responsible for academic underachievement. Further studies are needed to better understand this heterogeneity. The present review provides pointers for overcoming methodological problems and opens up new avenues for giftedness research.

Keywords: Gifted, High ability, Neuropsychology, Cognitive function, Systematic review

2.1.2 Introduction

The definition of *giftedness* is still a matter of debate. Many forms of giftedness have been described and theorized. Among them is intellectual giftedness (IG), which is related to theories of intelligence, and historically based on the psychometric approach (Mandelman et al., 2010; Sternberg, 1981). *IG* refers to a high ability level, which was defined almost a century ago by Spearman (1927) as the *g factor*. Standardized measures of general cognitive ability are widely used to identify IG children (Cao, Jung, & Lee, 2017), based on the intelligence quotient (IQ; McCoach et al., 2001). From this perspective, children are considered to be IG when their full scale intelligence quotient (FSIQ) reaches a particular threshold (Geake, 2009), generally equal to or above 130 on a test such as the Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC; Caroff, 2004; Grégoire, 2012; Terriot, 2018). If this rigorous criterion is applied, gifted children represent 2.2% of a given age group.

Over the past decades, the increased availability of data on brain and cognitive functions in IG children has allowed neuropsychologists to gain a better understanding of the way these children function. Taken together, many studies point to a unique neurodevelopmental trajectory in IG children. Intelligence is known to be supported by an extensive neuronal network in which frontal and parietal areas play a major role (Jung & Haier, 2007). The resolution of complex tasks, usually underpinned mainly by frontal areas (Jin, Kwon, Jeong, Kwon, & Shin, 2006; Lee et al., 2006), elicits a different pattern of activation in individuals with high intelligence, involving more posterior areas. In general, the functioning of IG children's brain networks is characterized by less segregation, less modularization, and more global integration (Luders et al., 2007; Solé-Casals et al., 2019; Westerhausen et al., 2018).

At the cognitive level, it has been suggested that IG children do not necessarily excel across the whole spectrum of performance measures. Their performances may be on a par with, or only

slightly ahead of, their peers in a number of areas (Schofield & Ashman, 1987). They may also have weaknesses in their cognitive functioning, with learning difficulties and/or disabilities (Brody & Mills, 1997). Some authors have postulated that IG children undergo *asynchronous development*, with cognitive and social aspects lagging behind their general ability (Silverman, 1997; Terrassier, 2009). Meanwhile, other studies have suggested that some cognitive functions, such as attention or executive functions (EFs), play a key role in the development of intelligence. We would therefore expect IG children to perform better on these functions than TD children. So far, however, studies have failed to confirm this suggestion (Montoya-Arenas et al., 2018; Viana-Sáenz et al., 2020).

To our knowledge, there has yet to be a study comparing IG children and TD children on overall cognitive performances. This is paradoxical, given that a cognitive characterization would enhance the clinical description of this population. It is important to identify IG children's cognitive strengths and weaknesses, in order to provide suitable care and support at school for those who need it. Greater knowledge about their neuropsychological functioning would allow assessment guidelines to be developed for professionals. However, there are numerous methodological issues that need to be resolved if research is to move forward. At a theoretical level, gathering data on neuropsychological functioning in giftedness may help to refine the definition of this population.

We undertook a systematic review of the literature pertaining to a range of cognitive domains in IG. To this end, research findings were grouped according to the classes of cognitive functions identified by Lezak et al. (2004): receptive and expressive functions (perceptual skills, linguistic and motor skills/praxis), memory, attention and EFs, and social and emotional cognition. Academic skills (reading, writing, mathematics) were also taken into consideration. This systematic review summarized the contributions and limitations of these studies, and opened up avenues for future research.

2.1.3 Method

Search strategy

The PRISMA guide (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & the PRISMA Group, 2009) and PRISMA protocol (PRISMA-P) (Moher et al., 2015) were used for this systematic review. An initial search was conducted by the primary author in PROSPERO and Cochrane, to avoid duplication of similar reviews being undertaken. Two researchers independently conducted searches in Scopus, PubMed, PsycArticles (PsycInfo) and Psychology & Behavioral Sciences Collection (PBSCO) between June and September 2018. All searches were updated on 16 June 2020. No restrictions were applied to publication dates. Searches were performed using combinations of the following terms: “gifted” OR “giftedness” OR “talented” OR “superior intelligence” OR “high abilities” OR “high intelligence” OR “high-IQ” AND “neuropsychology” OR “cognition” OR “attention” OR “executive functions” OR “social cognition” OR “working memory” OR “memory” OR “speech” OR “reading” OR “spelling” OR “visuospatial” OR “perceptual” OR “perceptive” OR “motor” OR “gesture” OR “praxis” OR “coordination” OR “graphomotor” OR “arithmetic” OR “mathematics” OR “learning disabilities” AND “preschooler” OR “children” OR “child” OR “adolescent”. Example of a search string used in the review: "gifted" OR "giftedness" OR "talented" OR "superior intelligence" OR "high ability" OR "high intelligence" OR "High-IQ" AND "attention" AND "preschooler" OR "children" OR "child" OR "adolescent". A manual search was conducted in the reference lists of retrieved papers to identify further relevant studies.

Article screening

All studies were collected using a matrix on a spreadsheet in order to help locate duplicate articles, classify them according to inclusion criteria, and register excluded studies. After removing duplicates, the two reviewers independently screened titles, abstracts and full-text articles of the remaining 658 articles for eligibility. To be eligible for the current review of neuropsychological

outcomes in gifted children, studies had to fulfill four criteria: (1) only case-control and cross-sectional studies that included IG and a comparison group or norms were taken into consideration (2) identification criteria of IG were based on at least an intellectual measure, at + 2 standard deviations (SD) from the mean (criteria used in each study are detailed in table 1) (3) for studies focusing on specific IG sub-groups with ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder) or Learning Disability (LD), this cutoff is lowered at an $IQ \geq 120$, according to recommendations (see further explanation in the section below; criteria for these studies are detailed in table 2) (4) the studies used a valid and reliable cognitive assessment to determine the performance of the groups for each cognitive domain considered (5) article was published in English or in French on a peer reviewed journal.

Exclusion criteria were:

- Studies on other population than IG (such as Autism Spectrum Disorder) or studies included IG with neurological disease or other neurodevelopmental conditions than ADHD or LD, such as autism spectrum disorder or premature birth.
- Papers covering purely other issues than cognitive functioning (education, neuroimaging).
- Case studies, retrospective studies on IG youth (as they generally focused on predictors of later intellectual level), book chapters, conference proceedings and reviews.
- Researches that did not provide intelligence criteria for IG group (for example, only the mean IQ is provided) or the IQ measure was not consensual (for example: IQ based on two subtests of an intelligence scale with no information about prorating method, or the inclusion is based on only one quotient such as Verbal IQ or Performance IQ only at ≥ 130)
- TD group including children with an intelligence score at + 2 standard deviations.
- Participants older than 18 years old.
- Studies that did not provide sufficient description of cognitive tasks, or not using quantitative methods or not testing the statistical significance of the results.

After applying these criteria, 643 studies were excluded and 15 studies were included (see figure 1).

Table 1. Samples characteristics of studies comparing IG children to a TD children

Study	groups	Age or grade	Country	Criteria for IG sample	Group comparison	Recruitment
Arffa et al. (1998) ^a	IG = 26	9-14 y/o	USA	IQ > 130 (WISC-III)	Statistical manual	TD and IG school children
Arffa (2007)	IG = 45 TD ₁ = 55 TD ₂ = 48	6-15 y/o	USA	IQ >130 (WISC-III, <i>M</i> = 138.8)	TD ₁ : IQ: 115-129 TD ₂ : IQ: 90-114	TD and IG school children
Chae et al. (2003)	IG = 106 TD = 71	6-9 y/o	USA	IQ ≥ 130 (WISC, <i>M</i> = 138.4)	IQ: 83-127	Children enrolled in the Educational Institute for Gifted Children or not
Chung et al. (2011)	IG = 22 TD = 26	13-15 y/o	Korea	IQ ≥ 130 (WISC-III)	IQ < 130	Students from a private institute for special education who had received awards qualifying advanced mathematical or through local private academy
Harnishfeger & Bjorklund (1990)	IG = 32 TD = 32 ^b	<i>M</i> = 12.16 <i>M</i> = 12.49 y/o	USA	(a) IQ ≥ 130 (WISC) (b) score of ≥ 50% on a gifted checklist completed by the child's teachers and (c) functioning at least 2 grade levels above his or her assigned grade.	TD = 85-118 (OLSAT)	Children from a gifted program
Knepper et al. (1983)	IG = 30 TD = 30	<i>M</i> = 11.10 y/o	USA	Standard Age Scores ≥ 130 (CAT)	90-110	Previously selected to participate in a school program for the IG
Leikin et al. (2013)	IG = 36 ^c TD = 46 ^c	16-18 y/o	Israel	IQ > 130, RAPM ≥ 27	RAPM ≤ 26	Chosen from classes for gifted students
Minahim & Rhode (2016)	IG = 39 ^b TD = 39	Grades 1-5 <i>uk</i>	Brazil	IQ > 99th percentile CPM	IQ ≤ 90th percentile	From gifted program, previously tested. TD: Recruited from the same classes
Montoya-Arenas et al. (2018)	IG = 32 TD ₁ = 29 TD ₂ = 43	7-11 y/o	Colombia	IQ > 130 (WISC-III)	TD ₁ : 85-115 TD ₂ : 116-129	Selected by their teachers based on academic achievement and an interview
Segalowitz et al. (1992)	IG = 18 TD = 30 ^b	<i>M</i> = 12.2 <i>M</i> = 12.6 y/o	Canada	Screen for the top 20% of the cohort on a national achievement test and IQ > 135 (WISC-R)	-	Recruited from an enrichment program. TD: children from home classrooms from which some of the enrichment children came
Shi et al. (2013) ^d	IG = 24 TD = 26	<i>M</i> = 10.41 <i>M</i> = 10.62 y/o	China	In the top 5 percentile peer's norm (RAPM)	25-75% (RAPM)	Selected from a large sample (more than 1000 children)
Zhang et al. (2016)	IG = 43 TD = 43	9-10 y/o	China	In the top 5 percentile in peer's norms (RAPM)	25% -90% (RAPM)	Recruited from an experimental class of primary school

^a The above average group was include in this review

^b The adult sample was include in this review

^c Only IG and TD samples non excelling in mathematics were include

^d Only Study 1 was include

Samples: IG: Intellectually gifted; TD: Typically developing children with intelligence in average; *M*: mean score;

Measures: CAT: Cognitive Abilities Test; CPM: Raven's Colored Progressive Matrices; IQ : Intelligence quotient; OLSAT: Otis-Lennon School Ability Test; RAPM: Raven's (Advanced) Progressive Matrices; Intelligence Scale; WISC(-R, -III): Wechsler Intelligence Scale for Children

Table 2. Samples characteristics of studies including IG children sub-groups (Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Learning Disabilities)

Study	groups	Age or grade	Country	Criteria for IG sample(s)	Group comparison	Recruitment
Chae et al. (2003)	<ul style="list-style-type: none"> • IG = 96 • IG_{ADHD} = 10 • TD = 71 • ADHD = <i>us</i> 	6-9 y/o (<i>M</i> = 7.7)	USA	<ul style="list-style-type: none"> • IG_{ADHD}: IQ ≥ 130 (WISC) and ADHD diagnosis based on TOVA, CBCL scores and behavioral observation during test. 	<ul style="list-style-type: none"> • IG: IQ ≥ 130 (WISC) • TD: IQ: 83-127 • ADHD 	Children enrolled in the Educational Institute for Gifted Children or not.
Katusic et al. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • IG_{ADHD} = 34 • ADHD₁ = 276 • ADHD₂ = 21 	6-18 y/o	USA	<ul style="list-style-type: none"> • IG_{ADHD}: IQ ≥ 120 (WISC-R, WISC-III) with ADHD diagnosis based on DSM-IV criteria, ADHD questionnaires, clinical diagnosis 	<ul style="list-style-type: none"> • ADHD₁: children with IQ < 80 and ADHD • ADHD₂: children with IQ between 80-120 and ADHD 	Children attended school in the district with IQ documented in their school and/or medical records.
Kraft (1993)	<ul style="list-style-type: none"> • IG = 40 • IG_{LD} = 21 • LD = 40 	<ul style="list-style-type: none"> <i>M</i> = 9.3 <i>M</i> = 9.4 <i>M</i> = 9.7 (y/o) 	USA	<ul style="list-style-type: none"> • IG_{LD}: IG non able reader (reading at least 1.5 years below grade level at Gray Oral Reading Scores). 	<ul style="list-style-type: none"> • IG: IQ > 130 (CTMM) able reader (reading at or above grade level) • LD: IQ = 90-110, (WISC-R) non able reader (same criteria as IG) 	Identified by school psychologist as gifted-IQ or gifted-IQ reading impaired
van Viersen et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • IG = 31 • IG_{LD} = 26 • TD = 31 • LD = 33 	<ul style="list-style-type: none"> <i>M</i> = 100.6 <i>M</i> = 108.8 <i>M</i> = 103.5 <i>M</i> = 113.9 (m/o) 	The Netherlands	<ul style="list-style-type: none"> • IG: IQ > 125 or a 95 % reliability interval tapping at least 130 in the case of a short form (WISC-III). • IG_{LD}: IG with dyslexia^a 	<ul style="list-style-type: none"> • TD • LD: dyslexic^b 	Participants were recruited through advertisements on the websites of educational magazines and clinical institutions and through contacts with school psychologists.

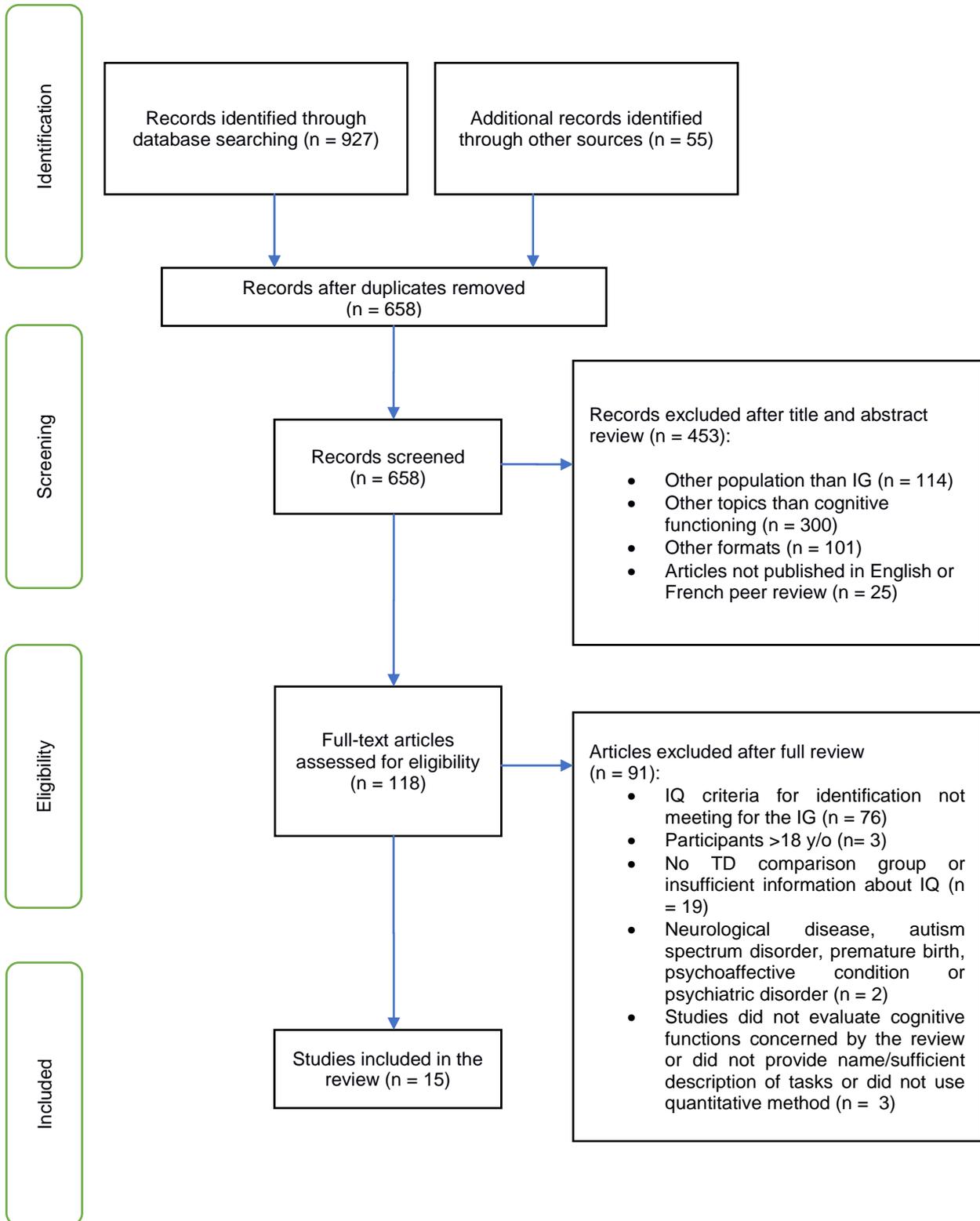
M: mean; *us*: unspecified

^a Criteria for IG with dyslexia: discrepancy between IQ and reading or spelling ability at least two SD, who demonstrated (a) at most average scores on both reading *and* spelling (standard score ≤ 12), (b) below average scores on reading *or* spelling (lowest 10–15%), and (c) below average performance on at least one of the three cognitive factors that have been proposed to underlie dyslexia: Phonological awareness, Rapid automatized naming, and Verbal short term memory.

^b Criteria for dyslexic group: (a) significant discrepancy between IQ and reading or spelling performance of at least 2 SD and (b) below average scores on reading or spelling (lowest 10–15 % or a standard score ≤ 6)

Samples: ADHD: Attention deficit hyperactivity disorder; IG: Intellectually gifted; IG_{ADHD}: Intellectually gifted with attention deficit hyperactivity disorder, IG_{LD}: Intellectually gifted learning disability; LD: Children with learning disability (with intelligence in average); TD: Typically Developing children (with intelligence in average)

Measures: CBCL: Children Behavior Checklist, CTMM: California Test of Mental Maturity; IQ: Intelligence quotient; TOVA: Test of Variables of Attention, WISC(-R,-III): Wechsler Intelligence Scale for Children

Figure 1. Flow diagram of selected studies

Data extraction

Data were extracted from each study by the first author, using a predefined data extraction form. Information was (1) first author and year of publication, (2) country where study took place, (3) demographic characteristics of each group (IG, TD, and others), (4) intellectual and other inclusion criteria for each group, (5) recruitment method, (6) tool used for cognitive assessment, (7) results of group comparisons for each measure, and (8) main conclusion and study limitations.

As only a few studies were selected for each cognitive domain and assessment tools were too heterogeneous (for both neuropsychological assessment and IQ measure), a meta-analysis was not appropriate. We therefore undertook a narrative summary of the results and produced a final statement about the main findings for each domain.

2.1.4 Results

Study characteristics

The 15 articles included in the review provided a combined sample size of 507 IG children (mean age = 11.5 years) and 598 TD children (mean age = 11.6 years). Sample characteristics are summarized in Table 1. Four of these studies included subgroups of IG children and children of average intelligence displaying either ADHD (IG-ADHD: 44; ADHD: 297) or LD (IG-LD: 47; LD: 73).

Most of the participants were recruited from special schools for gifted children (10/15) or were selected by school professionals (doctor, psychologist) or teachers (3/15), or were recruited through advertisements or selected from a relative large sample (2/15). Studies were mostly conducted in North America (7), East Asia (3), Latin America (2), Europe (2), and the Middle East (1).

Table 3 summarizes results about neuropsychological findings for comparison between IG children and TD children. Where available, the statistical significance is reported for each variable. For studies with many statistics, the results of group comparisons are given first. Results concerning specific subgroups of children with ADHD or LD are provided in a separate table and discussed in a specific subsection (Table 4). A final statement is provided in Table 5, classifying the studies according to their results.

[PLEASE INSERT TABLE 3 HERE]

[PLEASE INSERT TABLE 4 HERE]

[PLEASE INSERT TABLE 5 HERE]

Table 3. Main results of studies comparing IG children to TD children on neuropsychological measures

Study	<i>n</i>	IQ criteria	Age (years), <i>M</i> , range	Tests	Measures	Group comparisons
Academic achievement						
Arffa (2007) ^a	IG = 45 TD ₁ = 55 TD ₂ = 48	IQ > 130 (WISC-III) IQ: 115-129 IQ : 90-114	6-15 y/o	Wide Range Achievement Test	Reading Math	<i>ns</i> IG > TD _{1,2} *
Language						
Segalowitz et al. (1992)	IG = 18 TD = 30 ^b	IQ > 135 (WISC-R)	<i>M</i> = 12.2 y/o <i>M</i> = 12.6 y/o	Vocabulary (WAIS-R)	Raw score	IG > TD***
Motor						
Arffa (2007) ^a	IG = 45 TD ₁ = 55 TD ₂ = 48	IQ > 130 (WISC-III) IQ: 115-129 IQ : 90-114	6-15 y/o	Rey Complex Figure Test	Copy	<i>ns</i>
Verbal memory						
Arffa (2007) ^a	IG = 45 TD ₁ = 55 TD ₂ = 48	IQ > 130 (WISC-III) IQ: 115-129 IQ : 90-114	6-15 y/o	Rey Auditory Verbal Learning Test	Score	<i>ns</i>
Harnishfeger & Bjorklund (1990)	IG = 32 TD = 32 ^b	IQ > 130 (WISC) IQ : 85-118 (OLSAT)	<i>M</i> = 12.16 y/o <i>M</i> = 12.49 y/o	Free-recall task (two words lists)	Recall typical words from the adult list Recall typical Recall atypical items Typical & atypical latency types Between-category latencies Global strategy	IG _{boys} < TD _{boys} <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> IG < TD** <i>ns</i>
Attention						
Chae et al. (2003)	IG = 10 ^c TD = 71	IQ ≥ 130 (KEDI-WISC) IQ : 83-127	<i>M</i> = 7.7, 6-9 y/o	Test Of Variables of Attention visual test	Omission Commission Response Time Response Time variability Response sensitivity ADHD Score	IG < TD *** IG < TD * <i>ns</i> IG < TD *** IG > TD*** IG < TD **
Minahim & Rohde (2016)	IG = 39 ^b TD = 39	IQ > 99 th percentile IQ ≤ 90 th percentile	<i>us</i> (grade 1- 5)	MTA-SNAP-IV	Inattention or HI or combined score Bussing criterion Positivity	<i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i>
Segalowitz et al. (1992)	IG = 18 TD = 30 ^b	IQ > 135 (WISC-R)	<i>M</i> = 12.2 y/o <i>M</i> = 12.6 y/o	DSM-IV Simple Reaction Time Choice Reaction Time	Mean Standard Deviation Coefficient of variation Mean Standard Deviation Coefficient of variation	IG < TD** IG < TD* <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i>
Shi et al. (2013)	IG = 24 TD = 26	RAPM ≥ 95% RAPM: 25-75%	<i>M</i> = 10.41 <i>M</i> = 10.62	Continuous Performance Test	Rate of omission errors Rate of commission errors Sensitivity Reaction Time β (judgment criterion)	IG < TD** IG < TD* IG > TD <i>ns</i> <i>ns</i>

Table 3. Main results of studies comparing IG children to TD children on neuropsychological measures (to continue)

Study	<i>n</i>	IQ criteria	Age (years), <i>M</i> , range	Tests	Measures	Group comparisons
Zhang et al. (2016)	IG = 43 TD = 43	RAPM \geq 95% RAPM: 25-90%	NA, NA, 9-10 y/o	Inattentive Blindness paradigm	Susceptible to inattentive Blindness Average accuracy (first three trials) Accuracy in crucial trials Accuracy in the divided attentional trials	IG < TD** <i>ns</i> IG > TD** IG > TD** IG = <i>ns</i> TD = <i>ns</i>
Executive functions						
Arffa et al. (1998) ^d	IG = 26	IQ > 130 (WISC-III)	9-14 y/o	Wisconsin Card Sorting Test	Perseverative errors	IG < SM*
Arffa (2007) ^a	IG = 45 TD = 103	IQ > 130 (WISC-III) IQ: 115-129 IQ: 90-114	6-15 y/o	Wisconsin Card Sorting Test Stroop Color-Word Test Fluency Test Trail Making Test Underlining Test Digit span (WISC-III)	Perseverative errors Non perseverative errors Word Color Color-Word Total Controlled Oral Word Fluency Test Design Fluency Part A Part B Total (net correct)	IG < TD ₂ ** IG < TD ₂ ** <i>ns</i> <i>ns</i> IG > TD _{1,2} * IG > TD _{1,2} * IG > TD _{1,2} * <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> IG > TD* IG > TD**
Leikin et al. (2013) ^e	IG = 36 TD = 46	RAPM \geq 27 (QI > 130) RAPM \leq 26	16-18 y/o	Letter-Number Sequencing (WISC-III) Corsi-block task	Forward digit Backward digit Standard score Forward visual-spatial Backward visual-spatial	<i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i>
Montoya-Arenas et al. (2018)	IG = 32 TD ₁ = 29 TD ₂ = 43	IQ > 130 (WISC-III) IQ: 85-115 IQ: 116-129	7-11 y/o	Wisconsin Card Sorting Test Tower of Hanoi Stroop Word Color Ruff Figural Fluency Verbal Fluency Test Phonetic	Categories Perseverative errors % perseverative errors Failures to maintain set % of responses of the conceptual level Moves Times Color Word-Color Score Phonemic Semantic	<i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> IG > TD ₁ * IG > TD ₁ **
Segalowitz et al. (1992) ^b	IG = 18 TD = 30	IQ > 135 (WISC-R)	<i>M</i> = 12.2 y/o <i>M</i> = 12.6 y/o	Wisconsin Card Sorting Test Mazes (WISC-R) Digit span (WAIS-R) Trigrams	% perseveratives errors Raw score Forward Backward	<i>ns</i> <i>ns</i> IG > TD*** IG > TD** IG > TD**

Table 3. Main results of studies comparing IG children to TD children on neuropsychological measures (to continue)

Study	<i>n</i>	IQ criteria	Age (years), <i>M</i> , range	Tests	Measures	Group comparisons
Social cognition and emotional processing						
Chae et al. (2003)	IG = 106 TD = 71	IQ ≥ 130 (WISC) IQ: 83-127	<i>M</i> = 7.7, 6-9 y/o	Korea-Children Behavior Checklist	Social competency	IG < TD***
Chung et al. (2011)	IG = 22 TD = 26	IQ ≥ 130 (WISC-III)	13-15 y/o	Public Good Game	Cooperation Condition 1 (C1) & 3 (C3) Cooperation Condition 2 (C2) Money earned C1, C2 & C3 Monetary performance between conditions Effects of success or failure in the preceding trial Cooperation rates among conditions Effects of success or failure in the preceding trial Cooperative rate according to the number of cooperators in the preceding trial : • C1 • C2 • C3	IG > TD** <i>ns</i> IG > TD**/* IG: <i>ns</i> TD: C2 > C1, 3 IG, TD: <i>ns</i> <i>ns</i> <i>ns</i> IG > TD* IG: <i>ns</i> , TD* <i>ns</i> IG*
Knepper et al. (1983)	IG = 30 TD = 30	Standard Age score ≥ 130 (CAT)	<i>M</i> = 11.10 y/o	Means-Ends Problem Solving	Social version Emotional version	IG > TD* IG > TD*
Segalowitz et al. (1992) ^b	IG = 18 TD = 30	IQ > 135 (WISC-R)	<i>M</i> = 12.2 y/o <i>M</i> = 12.6 y/o	Benton Facial Recognition Test	Score	<i>ns</i>

^a Only IG and TD₁ or TD₂ comparisons were taken into consideration

^b The adult sample was not taken into consideration for this review

^c Results of IG children with ADHD were documented separately in table 3

^d TD was not taken into consideration as it did not serve as a control group

^e Only IG and TD samples non excelling in mathematics were taken into consideration

M: mean; *ns*: not significant; *us*: unspecified

Samples: IG: Intellectually gifted; SM: Statistical manual (comparison to adult mean); TD: Typically developing children with intelligence in average;

Measures: CAT: Cognitive Abilities Test; CPM: Raven's Colored Progressive Matrices; DSM(-IV): Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (4th edition); IQ : Intelligence quotient; MTA-SNAP-IV: NIMH Collaborative Multisite Multimodal Treatment Study of Children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder; OLSAT: Otis-Lennon School Ability Test; RAPM: Raven's (Advanced) Progressive Matrices; WAIS: Wechsler Adult Intelligence Scale; WISC(-R, -III): Wechsler Intelligence Scale for Children.

Table 4. Main results of studies on IG children sub-groups (Learning disabilities, ADHD) on neuropsychological measures

Study	Samples (n)	Samples description	Test	Measures	Results			
Studies on Intellectual Gifted with ADHD								
Chae et al. (2003)	IG = 96	IG: IQ \geq 130 (WISC)	TOVA	Omissions errors	IG _{ADHD} < ADHD***			
	IG _{ADHD} = 10	IG _{ADHD} : IQ \geq 130 (WISC) and ADHD diagnosis based on TOVA, CBCL scores and behavioral observation during test.		Commissions errors	IG _{ADHD} < ADHD*			
Katusic et al. (2011)	TD = 71	IQ : 83-127	ADHD : ADHD children without IG	Response sensitivity	IG _{ADHD} > ADHD**			
				Response time	ns			
	ADHD = us	ADHD : ADHD children without IG	Response variability	ns				
			Overall ADHD score	ns				
	IG _{ADHD} = 34	ADHD ₁ = 276	ADHD ₂ = 21	WISC	Subtests score: Coding	IG > IG _{ADHD} **		
				CBCL	Other subtest and IQ	IG = IG _{ADHD}		
	ADHD ₁ = 276	ADHD ₂ = 21	ADHD ₂ = 21	CAT	Social competency	IG > IG _{ADHD} **		
				CAT	Reading score	IG _{ADHD} > ADHD _{1,2} **		
Studies on Intellectual Gifted with LD								
Kraft (1993)	IG = 40	• IG: IQ > 130 (CTMM) able reader (reading at or above grade level)	Digit span (WISC)	<i>Not specified</i>	IG _{LD} , LD < IG***			
	IG _{LD} = 21				• IG _{LD} : IG non able reader (reading at least 1.5 years below grade level at Gray Oral Reading Scores).	IG _{LD} , LD < IG***		
van Viersen et al. (2014)	LD = 40	• LD: IQ = 90-110, WISC-R non able reader (same criteria as IG)	Literacy	<i>Not specified</i>	LD < IG _{LD} < TD < IG ^b			
	IG = 31	IG: IQ > 125 or a 95 % reliability interval				Cognitive component	FAT, CB&WL, AWNA	LD < IG _{LD} < TD < IG ^b
	IG _{LD} = 26	tapping at least 130 in the case of a short form (WISC-III).				Working memory	SS, Odd-one-out	LD < TD < IG _{LD} < IG ^b
	TD = 31	IG _{LD} : IG with dyslexia ^a				Grammar, Vocabulary	CELF	LD < TD < IG _{LD} < IG ^b
LD = 33	TD: typically developing children	LD: children with dyslexia ^a						

us: unspecified, ns: not significant.

^a Criterion for dyslexia: discrepancy between IQ and reading or spelling ability at least two SD, who showed (a) at most average scores on both reading and spelling (standard score \leq 12), (b) below average scores on reading or spelling (lowest 10–15%), and (c) below average performance on at least one of the three cognitive factors that have been proposed to underlie dyslexia: PA, RAN, and VSTM.

^b Results based on Bayesian statistics

Samples: ADHD: Attention deficit hyperactivity disorder; IG: Intellectually gifted; IG_{ADHD}: Intellectually gifted with attention deficit hyperactivity disorder, IG_{LD}: Intellectually gifted with learning disability; LD: Children with learning disability (without IG); TD: Typically developing children (with intelligence in average),

Measures: AVI: Time text reading, AWNA: Automated Working Memory Assessment, CAT: California Achievement Test; CBCL: Children Behavioral Checklist; CB&WL: Continu Benoemen & Worden Lezen, CELF-4: Clinical Evaluation of Language Fundamentals, CVLT-C: California Verbal Learning Test-Children's version; EMT: Eén-minuut-test, FAT: Fonemische Analyse Test, SS: Spatial Span, TOVA: Test of Variables of Attention, WISC(-R,-III): Wechsler Intelligence Scale for Children.

Table 5. Final statement about findings in IG children compared to TD children

	Target ability	No difference	Better functioning	Worse functioning
Academic achievement	Reading Maths	<input type="checkbox"/> (Arffa, 2007)	<input checked="" type="checkbox"/> (Arffa, 2007)	
Language	Vocabulary		<input checked="" type="checkbox"/> Segalowitz et al. (1992)	
Motor skills	Visuo- constructional skills	<input type="checkbox"/> (Arffa, 2007)		
Verbal memory		<input type="checkbox"/> (Arffa, 2007) <input type="checkbox"/> Harnishfeger & Bjorklund (1990)		
Attention	Prevalence of ADHD Performance- based measures	<input type="checkbox"/> Minahim et al. (2015)	<input checked="" type="checkbox"/> Chae (2003) <input checked="" type="checkbox"/> Shi (2013) <input checked="" type="checkbox"/> Segalowitz et al. 1992 <input checked="" type="checkbox"/> Zhang (2016)	
Executive functions	Shifting	<input type="checkbox"/> Montoya-Arenas et al. (2018)* <input type="checkbox"/> Segalowitz et al. (1992)	<input checked="" type="checkbox"/> Arffa et al. (1998) <input checked="" type="checkbox"/> Arffa (2007) <input checked="" type="checkbox"/> Montoya-Arenas et al. (2018)*	
	Planification	<input type="checkbox"/> Montoya-Arenas et al. (2018) <input type="checkbox"/> Segalowitz et al. (1992)		
	Working memory	<input type="checkbox"/> Leikin et al. (2013)*	<input checked="" type="checkbox"/> Leikin et al. (2013)* <input checked="" type="checkbox"/> Segalowitz et al. (1992)	
	Inhibition	<input type="checkbox"/> Arffa (2007)		
Social cognition and emotional processes	Social/emotional skills Decision making Facial recognition	<input type="checkbox"/> Segalowitz et al. (1992)	<input checked="" type="checkbox"/> Knepper (1983) <input checked="" type="checkbox"/> Chung et al. (2011)	<input checked="" type="checkbox"/> Chae et al. (2003)
	Total	12	13	1

*Studies supporting mixed results

2.1.5 Findings in neuropsychological domains

Language

Language ability covered many functions and processes (e.g., comprehension, expression, phonology, lexicon, syntax, pragmatic), and no study systematically explored all these aspects.

Only one of the studies selected for this review (6.7%) dealt with language ability, among other cognitive and electrophysiological measures (Segalowitz et al., 1992). IG children outperformed TD children on the vocabulary subtest (Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised, WAIS-R), indicating better lexical ability in IG children.

Academic skills

Of all the studies selected, only one (6.7%) has examined academic performance of IG children (Arffa, 2007). This study addressed the role of intellectual level on several executive and non executive measures in samples of children with average, above average and superior intelligence. Authors assumed that significant relationship would occur in all or most of the executive function measures. Achievement test (Wide Range Achievement Test Reading and Math, WRAT-3) was used as a non-executive measure. Regression results indicated that intelligence accounted the most for achievement measure, from 14% of the variance for math score to 28% for reading score. After controlling for age, only significant associations were found for the Math score, as superior intelligence group obtained a significant superior score than the 2 other groups. Authors concluded that achievement was more strongly related to IQ rather than executive or non-executive measure.

Motor

Motor abilities have seldom been explored in IG children. The only selected study (6.7%) to explore them was the one described in the previous section (Arffa, 2007). Another nonexecutive measure was obtained with the Rey-Osterrieth Complex Figure, assessing visuoconstructional skills. Regression analysis revealed a significant effect of IQ (WISC-III, perceptual organization composite score) on the copy score. However, after controlling for age, only the above average group scored above average, and IG children did not differ from these two groups. The authors suggested that a ceiling effect might explain the absence of difference between the IG and above average children. However, IG children did not differ from the average sample either.

Verbal memory

Neither of the studies we reviewed (13.3% of total studies recorded) reported a difference between IG and TD children on the Rey Auditory-Verbal Learning Test. Intellectual level and verbal learning performance seem to be relatively independent (Arffa, 2007). Intelligence did not account for the variance on the learning test. Post hoc analyses only revealed superiority of the above average group over the average group. The IG children did not differ significantly from either of these two groups. Another study found that IG and TD children had comparable scores on free recall of category-related or not category-related words, whether they were adult-generated or self-generated (Harnishfeger & Bjorklund, 1990). This study did not report all the statistical and significant comparisons between groups, and tended to over-analyze some nonsignificant scores ($p \geq .05$). However, sufficient evidence was collected to conclude that IG children failed to recall more words than TD children and were no more strategic.

Attention

Of all the cognitive domains considered in this review, attentional skills accounted for the greatest number of studies (33.3%). Attention is a fundamental process that interacts with every other cognitive function and through attention, information processing, orientation, decisional processes and behavior are controlled (Leclercq & Zimmermann, 2004).

Attention in IG children was assessed with various tools, ranging from reaction times to target detection and the inattentional blindness paradigm. Taken together, studies focusing on performance-based measures (4/5) supported the idea of better attentional functioning in IG children. Only reaction times led to conflicting results. One of three studies reported faster reaction times for IG children in a simple reaction time task (Segalowitz et al., 1992), but the other two studies found that IG and TD children had similar reaction times for the Test Of Variables of Attention (TOVA)-Visual Test and continuous performance test (Chae et al., 2003; Shi et al., 2013).

These inconsistent results may be explained by the varying nature of the tasks. Nevertheless, variability in response times was lower in IG children than in TD children, in the two studies that measured it (Chae et al., 2003; Segalowitz et al., 1992), suggesting that IG children display fewer fluctuations in attentional skills. Moreover, all the studies that recorded accuracy data (e.g., omission, commission, or accuracy scores) reported better scores for IG children (Chae et al., 2003; Shi et al., 2013; Zhang et al., 2016). This superiority was also demonstrated using an inattentive blindness paradigm. IG children performed better on this task and were more liable to detect unexpected stimuli (Zhang et al., 2016). These results were interpreted as an additional spare capacity of attention.

One study that assessed the frequency of ADHD symptoms, based on teacher ratings and reports (Minahim & Rohde, 2015), found that IG children did not differ from their TD peers, suggesting that ADHD cases are neither higher nor lower in IG children.

Executive functions

EFs are a set of general-purpose control processes that regulate thoughts and behaviors (Miyake & Friedman, 2012). They “make possible mentally playing with ideas; taking the time to think before acting; meeting novel, unanticipated challenges; resisting temptations; and staying focused” (Diamond, 2013, p. 135). Different EFs can be distinguished, such as working memory (WM), inhibition, cognitive shifting, planning, and problem solving.

Executive functioning received just as much interest as attentional skills (33.3% of the studies we recorded provided EF measures). Mixed results were reported for WM, depending on the nature of the task and the processes involved. IG children performed better than TD children in both the forward and backward conditions of the digit span task, but comparably on letter-number sequencing and spatial WM tasks (Leikin et al., 2013; Segalowitz et al., 1992).

To assess shifting, all four studies we selected used the Wisconsin Card Sorting Test (WCST). However, they reported contrasting results. When the percentage of perseverative errors was taken into account, half the studies failed to find a difference between IG and TD children (Montoya-Arenas et al., 2018; Segalowitz et al., 1992), while the other half reported lower scores in favor of IG children (Arffa, 2007; Arffa et al., 1998). Other measures from the WCST differed according to the study. One evidenced fewer nonperseverative errors for IG children (Arffa, 2007), whereas no difference was found between the groups on the number of categories completed or failures to maintain sets (Montoya-Arenas et al., 2018). In the fluency task, IG children scored higher in the verbal modality (Arffa, 2007; Montoya-Arenas et al., 2018), while conflicting results were reported in the nonverbal modality, with scores either equal to (Montoya-Arenas et al., 2018) or above (Arffa, 2007) those of TD children.

Of the three studies that examined inhibitory ability, only one used a valid measure of inhibition. In this study (Arffa, 2007), IG and TD children had comparable results on an underlining test. Montoya-Arenas et al. (2018) also used the Stroop test to assess inhibition. However, the measure required (interference score) to distinguish EF(s) from other cognitive components was not provided. The same problem arose in the Trail Making Test used to assess shifting, as the alternating switch-cost measure was not provided.

Concerning planning skills, no difference was recorded between IG and TD children on either Mazes (Segalowitz et al., 1992) or the Tower of Hanoi (Montoya-Arenas et al., 2018).

Social and emotional processes

Social cognition refers to how people process information within a social context, including perception, causal attributions concerning self and others, social judgments, and decision making.

These abilities were assessed in four studies (26.7%). Only one of them (Chae et al., 2003) highlighted poor social abilities in IG children, based on parents and teachers' reports in the Children Behavior Checklist (CBCL). However, a study conducted with means-ends problem solving (Knepper et al., 1983) showed that IG children outperformed the TD sample on social and emotional problem solving. These results were supported by another study of social decision making in IG adolescents (Chung et al., 2011). These authors showed that IG adolescents were more cooperative and strategic than the others, and demonstrated weak loss sensitivity, but notable greed in a public goods game.

Research on IG subgroups: learning disabilities and attention deficit hyperactivity disorder

IG-LD children have received increasing attention over the past few decades. These students are defined as simultaneously having a high general ability and a cognitive deficit (Reis et al., 2014). This results in low achievement in one or more areas, such as reading or writing skills (Maddocks, 2020).

Our review identified two studies that focused on IG subgroups, on the basis of an intelligence score two standard deviations above the mean. However, the use of this cut-off is debated. Researchers have suggested that cognitive weaknesses in IG children with LD impact the Processing speed and Working memory Indices of the WISC, leading to a depressed FSIQ (Maddocks, 2020). Authors therefore recommend either lowering the IQ cut-off or using an alternative measure, such as the General Aptitude Index (Foley Nicpon et al., 2011). This led us to consider research on IG-LD children that we had initially excluded, owing to an intellectual level less than two standard deviations above the mean, with an IQ cut-off of 120 (Lovett & Sparks, 2013). With this new criterion, two additional studies were included in our review (Katusic et al., 2011; van Viersen et al., 2014), bringing the total number of studies on IG subgroups to four (26.7%).

Two studies found that the IG-ADHD subgroup outperformed children with ADHD of average IQ on the TOVA (Chae et al., 2003). They made fewer commission and omission errors, and had better response sensitivity. They did not differ on either response time, response variability, or overall ADHD score. Compared with their IG peers, they scored lower on the Coding subtest (WISC), but not on the other subtests or on IQ scores. Their social competence, assessed via parental reports (CBCL), was poorer than that of the IG children. The IG-ADHD children had better reading performances than the children with ADHD of average IQ (Katusic et al., 2011).

The two remaining studies attempted to characterize some of the cognitive functioning of dyslexic IG children, by investigating their WM (Kraft, 1993) and language skills (literacy, grammar, vocabulary, phonology; van Viersen et al., 2014). Dyslexic IG children and dyslexic children with an average IQ scored lower than typical IG children on verbal WM tasks (Kraft, 1993). However, IG children with LD outperformed dyslexic children and TD on WM and on the language component (grammar and vocabulary), suggesting strengths in their cognitive profile (van Viersen et al., 2014). Weaknesses were evidenced in cognitive components related to language (e.g., phonology), but the dyslexic IG children always outperformed their dyslexic peers of average IQ.

2.1.6 Discussion

The aim of this systematic review was to draw up an inventory of studies of the neuropsychological functioning of IG children and to summarize these children's cognitive strengths and weaknesses. It is the first to provide a comprehensive understanding of IG children's overall cognitive functioning.

Our study supports the conclusion that IG children generally exhibit average to superior skills, depending on the cognitive area. Only one study found weaker skills in a specific area of functioning (social competence, proxy-reported by parents and teachers).

This review provides evidence that IG children can be distinguished from their IQ average peers, with better functioning in some cognitive areas, such as attentional skills, mathematics achievement, some EFs, and social cognition. Their attentional skills are the ones that have been most documented (along with EFs) up to now, and results converge. IG children commit fewer errors on attentional tasks and display higher accuracy. Contrary to what has been suggested for many years (by drawing a parallel with ADHD symptomatology), these children are no more concerned by ADHD diagnosis or signs than TD children. These findings are in accordance with a recent systematic review (Rommelse et al., 2016), supporting the idea that higher intelligence is negatively linked to ADHD and related symptoms.

The executive functioning of IG children has received just as much interest as attention. However, findings in this area are noticeably more heterogeneous. This can be explained by the diverse (nonunitary) nature of EFs, which may lead to patterns of dissociation (Friedman & Miyake, 2017). A recent meta-analysis of EFs in children with high intelligence (criteria not defined) concluded that they outperformed TD children on verbal and visuospatial WM, but not on other EFs (Viana-Sáenz et al., 2020). Our results are partially consistent with this study. IG children appeared to perform better on the verbal component of WM, as well as on shifting, when assessed with a verbal fluency task, probably thanks to their larger vocabulary. Contradictory results have been reported by studies using the WCST. IG and TD children have equivalent performances on the remaining EFs (planning, inhibition, and visual WM).

IG children demonstrate similar functioning to TD children in different domains that are reading, long-term memory, and visuoconstructional skills. Only one study reported poorer functioning in IG children, and this was for social cognition. Results on this domain were also heterogeneous. It is important to distinguish between different aspects. In low-level social cognition, such as facial recognition, IG children did not differ from their average IQ peers. However, in social/emotional

problem solving and social decision making, they demonstrated better skills in performance-based measures. This contrasted with teachers' and parents' ratings, which indicated poorer social abilities in IG children. This is not surprising, as performance-based and rating measures are known to generally yield different types of information (Toplak et al., 2013).

Our review also indicates that despite a growing interest in IG children with LD or ADHD, few empirical studies have attempted to empirically describe their cognitive profile. Nevertheless, their findings are along the same lines, showing better attentional and reading abilities in IG-ADHD children than in children with ADHD of average IQ. Despite this relative advantage, IG-ADHD children may also encounter difficulties at school (Rommelse et al., 2017) and worrisome psychosocial outcomes requiring diagnosis and treatment, just like any other children (Katusic et al., 2011). Both IG-dyslexic children and average IQ-dyslexic children exhibit poorer WM skills than IG children who are able readers. However, IG-dyslexic children display better WM and language skills (grammar, vocabulary) than average IQ-dyslexic children and even TD children. These better skills may be sources of compensation, but also obstacles to the diagnosis of dyslexia in IG children.

Interestingly, the present systematic review disproved the assumption that IG children have better overall cognitive functioning. As an example, although EFs are considered by some to be the fundamental components of intelligence (Ardila et al., 2000; Ardila, 2018), our study demonstrated that a higher intellectual level does not necessarily correspond to better executive functioning. Finally, as IG children seem not to outperform TD children in many cognitive domains, we can surmise that intelligence develops in a relatively independent manner from other cognitive functions. Some authors interpret discrepancies between intelligence level and other areas as being clinically specific to IG children, and consider them to constitute a vulnerability factor (Terrassier, 2009). However, according to other researchers, discrepancies can be explained by Spearman's law

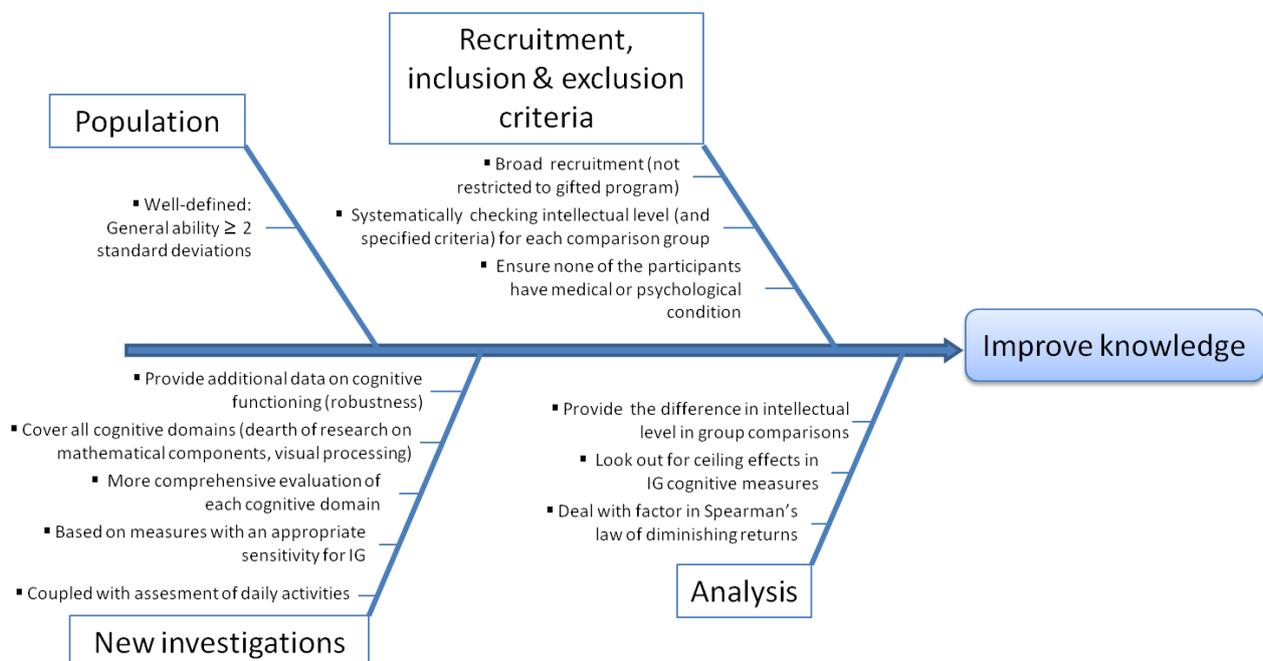
of diminishing returns, which is responsible for increased dispersion in a higher ability population (Blum & Holling, 2017; Labouret & Grégoire, 2018), refuting any clinical explanation. Still others suggest that the lack of difference between samples of IG and TD children on cognitive measures could be due to ceiling effects in tests.

Although our study offered a new perspective on IG children, by considering their overall cognitive functioning, it had several limitations. First of all, there was a dearth of studies in some domains (e.g., visuospatial or mathematical components). These domains are mainly studied in other types of giftedness, notably mathematical giftedness (O'Boyle et al., 2005), with criteria for math achievement rather than a general ability score. This explains why no such data were including in our study. The small number of studies included in this review was the result of a methodological choice to include a well-defined population. Many inclusion and exclusion criteria were applied for this review, in order to avoid limitations encountered in other studies among IG children, including confused definitions and a lack of stringent criteria (Viana-Sáenz et al., 2020). For some domains (e.g., academic achievement, language, and motor ability), the conclusions of this review were based on a single study. Further studies are necessary to generate additional data and make these conclusions more robust. Moreover, more systematic studies are needed to explore all aspects of the domain being considered.

This review also faced methodological issues arising from the studies we selected. The latter generally included children from gifted programs, who are over-represented in the literature, thus raising the prospect of sampling bias. Moreover, as previously mentioned (Segalowitz et al., 1992), recruitment for these studies was based on the inclusion criteria for the program. It is not clear whether the researchers checked these. Additionally, few studies identified their exclusion criteria, in particular, the presence of medical conditions (e.g., neurological or psychiatric disease). These are important aspects, as they are likely to have an impact on cognitive performance. It should also

be noted that descriptions of the TD groups were evasive, and their IQ scores were not systematically provided. Few studies statistically tested the difference in IQ between the two groups, even though the size of this difference and its location in the distribution could have resulted in different effects (Schofield & Ashman, 1987). Researchers should pay attention to these aspects in future studies. Lastly, the studies included in this review tended to be old. Current studies tend to focus more on educational issues, even though our knowledge of these children paradoxically remains very limited. Researchers in the neuropsychology field will have an important role to play in enhancing our understanding of these children in years to come. Figure 2 provides key recommendations for overcoming barriers that are currently encountered in this research field.

Figure 2. Key recommendations for improving knowledge about cognitive functioning in intellectually gifted people



2.1.7 Conclusion and futures directions

This systematic review provided insight into the cognitive functioning of IG children with skills equal or superior to those of TD children. Strengths were identified in language (vocabulary), math achievement, attention, some EFs (verbal WM, spontaneous verbal shifting), and social/emotional cognition (decision making, emotional/social problem solving). However, IG children did not differ from their TD peers on either reading achievement, visuoconstructional skills, verbal memory, or other EFs (planning, inhibition, and visual WM). Parents' and teachers' reports identified impaired social competence, but IG children still performed well on performance-based measures in this domain. Further research is needed to explain the gap between what these children are actually able to achieve and adults' perceptions of their skills. At the same time, this study highlights the need to further investigate the cognitive functioning of IG children in a more systematic way, based on well-defined criteria for the study of IG. Researchers need to pay attention to the tools they use to assess IG children, because of potential ceiling effects. The question of these tests' sensitivity to IG people deserves to be raised, as they are often constructed for large populations in clinical settings, and not really for individuals of exceptional ability. Further studies are necessary to move forward on this issue.

This review confirmed discrepancies in cognitive measures of IG, and put forward several explanatory assumptions. It is an issue of crucial importance that deserves thorough study, in order to improve the characterization of the IG profile and inform the controversial debate about how to identify IG children with learning disabilities (Lyman et al., 2017). Just like their peers, these children may also be concerned by LD, despite cognitive strengths and possible compensatory mechanisms.

Acknowledgements

Conflicts of Interest disclosure

COI: None

Financial support

This work was supported by the Fondation DANA, “Fondation Bretonne pour l’enfance” (Brest) under the aegis of the Fondation de France.

2.1.8 References

- Ardila, A. (2018). Is intelligence equivalent to executive functions? *Psicothema*, *30.2*, 159–164. <https://doi.org/10.7334/psicothema2017.329>
- Ardila, A., Pineda, D., & Rosselli, M. (2000). Correlation between intelligence test scores and executive function measures. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *15*(1), 31–36. <https://doi.org/10.1093/arclin/15.1.31>
- Arffa, S. (2007). The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *22*(8), 969–978. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.001>
- Arffa, S., Lovell, M., Podell, K., & Goldberg, E. (1998). Wisconsin card sorting test performance in above average and superior school children: Relationship to intelligence and age. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *13*(8), 713–720. [https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(98\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(98)00007-9)
- Blum, D., & Holling, H. (2017). Spearman’s law of diminishing returns. A meta-analysis. *Intelligence*, *65*, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.07.004>

- Brody, L. E., & Mills, C. J. (1997). Gifted children with learning disabilities: A review of the issues. *Journal of Learning Disabilities*, 30(3), 282–296. <https://doi.org/10.1177/002221949703000304>
- Chae, P. K., Kim, J.-H., & Noh, K.-S. (2003). Diagnosis of ADHD among gifted children in relation to KEDI-WISC and T.O.V.A. performance. *Gifted Child Quarterly*, 47(3), 192–201. <https://doi.org/10.1177/001698620304700303>
- Chung, D., Yun, K., Kim, J. H., Jang, B., & Jeong, J. (2011). Different gain/loss sensitivity and social adaptation ability in gifted adolescents during a public goods game. *PLOS ONE*, 6(2), e17044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017044>
- Foley Nicpon, M., Allmon, A., Sieck, B., & Stinson, R. D. (2011). Empirical investigation of twice-exceptionality: Where have we been and where are we going? *Gifted Child Quarterly*, 55(1), 3–17. <https://doi.org/10.1177/0016986210382575>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Harnishfeger, K. K., & Bjorklund, D. F. (1990). Strategic and nonstrategic factors in gifted children's free recall. *Contemporary Educational Psychology*, 15(4), 346–363. [https://doi.org/10.1016/0361-476X\(90\)90030-5](https://doi.org/10.1016/0361-476X(90)90030-5)
- Katusic, M. Z., Voigt, R. G., Colligan, R. C., Weaver, A. L., Homan, K. J., & Barbaresi, W. J. (2011). Attention-deficit hyperactivity disorder in children with high intelligence quotient: Results from a population-based study. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 32(2), 103–109. <https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e318206d700>
- Kraft, R. H. (1993). Deficits in auditory sequential processing found for both gifted and average IQ reading-impaired boys. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682(1), 366–368. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1993.tb22996.x>

- Labouret, G., & Grégoire, J. (2018). La dispersion intra-individuelle et le profil des scores dans les QI élevés. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 154, 271–279.
- Leikin, M., Paz-Baruch, N., & Leikin, R. (2013). Memory abilities in generally gifted and excelling-in-mathematics adolescents. *Intelligence*, 41(5), 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.07.018>
- Lovett, B. J., & Sparks, R. L. (2013). The identification and performance of gifted students with learning disability diagnoses: A quantitative synthesis. *Journal of Learning Disabilities*, 46(4), 304–316. <https://doi.org/10.1177/0022219411421810>
- Lyman, R. D., Sanders, E., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2017). Translating interdisciplinary research on language learning into identifying specific learning disabilities in verbally gifted and average children and youth. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 07(06), 227–246. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2017.76017>
- Maddocks, D. L. S. (2020). Cognitive and achievement characteristics of students from a national sample identified as potentially twice exceptional (gifted with a learning disability). *Gifted Child Quarterly*, 64(1), 3–18. <https://doi.org/10.1177/0016986219886668>
- Mandelman, S. D., Tan, M., Aljughaiman, A. M., & Grigorenko, E. L. (2010). Intellectual giftedness: Economic, political, cultural, and psychological considerations. *Learning and Individual Differences*, 20(4), 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.04.014>
- McCoach, D. B., Kehle, T. J., Bray, M. A., & Siegle, D. (2001). Best practices in the identification of gifted students with learning disabilities. *Psychology in the Schools*, 38(5), 403–411. <https://doi.org/10.1002/pits.1029>
- Minahim, D., & Rohde, L. A. (2015). Attention deficit hyperactivity disorder and intellectual giftedness: A study of symptom frequency and minor physical anomalies. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 37(4), 289–295. <https://doi.org/10.1590/1516-4446-2014-1489>

- Montoya-Arenas, D. A., Aguirre-Acevedo, D. C., Díaz Soto, C. M., & Pineda Salazar, D. A. (2018). Executive functions and high intellectual capacity in school-age: Completely overlap? *International Journal of Psychological Research*, *11*(1), 19–32. <https://doi.org/10.21500/20112084.3239>
- O’Boyle, M. W., Cunnington, R., Silk, T. J., Vaughan, D., Jackson, G., Syngeniotes, A., & Egan, G. F. (2005). Mathematically gifted male adolescents activate a unique brain network during mental rotation. *Cognitive Brain Research*, *25*(2), 583–587. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.08.004>
- Reis, S. M., Baum, S. M., & Burke, E. (2014). An operational definition of twice-exceptional learners: Implications and applications. *Gifted Child Quarterly*, *58*(3), 217–230. <https://doi.org/10.1177/0016986214534976>
- Rommelse, N., Antshel, K., Smeets, S., Greven, C., Hoogeveen, L., Faraone, S. V., & Hartman, C. A. (2017). High intelligence and the risk of ADHD and other psychopathology. *The British Journal of Psychiatry*, *211*(6), 359–364. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.116.184382>
- Rommelse, N., van der Kruijs, M., Damhuis, J., Hoek, I., Smeets, S., Antshel, K. M., Hoogeveen, L., & Faraone, S. V. (2016). An evidenced-based perspective on the validity of attention-deficit/hyperactivity disorder in the context of high intelligence. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *71*, 21–47. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.08.032>
- Schofield, N. J., & Ashman, A. F. (1987). The cognitive processing of gifted, high average and low average ability students. *British Journal of Educational Psychology*, *57*(1), 9–20. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1987.tb03056.x>
- Segalowitz, S. J., Unsal, A., & Dywan, J. (1992). Cleverness and wisdom in 12-year-olds: Electrophysiological evidence for late maturation of the frontal lobe. *Developmental Neuropsychology*, *8*(2–3), 279–298. <https://doi.org/10.1080/87565649209540528>

- Shi, J., Tao, T., Chen, W., Cheng, L., Wang, L., & Zhang, X. (2013). Sustained attention in intellectually gifted children assessed using a continuous performance test. *PLOS ONE*, 8(2), e57417. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057417>
- Silverman, L. K. (1997). The construct of asynchronous development. *Peabody Journal of Education*, 72(3–4), 36–58.
- Solé-Casals, J., Serra-Grabulosa, J. M., Romero-Garcia, R., Vilaseca, G., Adan, A., Vilaró, N., Bargalló, N., & Bullmore, E. T. (2019). Structural brain network of gifted children has a more integrated and versatile topology. *Brain Structure and Function*, 224(7), 2373–2383. <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01914-9>
- Sternberg, R. J. (1981). A componential theory of intellectual giftedness. *Gifted Child Quarterly*, 25(2), 86–93. <https://doi.org/10.1177/001698628102500208>
- Terrassier, J.-C. (2009). Les enfants intellectuellement précoces. *Archives de Pédiatrie*, 16(12), 1603–1606. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2009.07.019>
- Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2013). Practitioner review: Do performance-based measures and ratings of executive function assess the same construct? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(2), 131–143. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12001>
- van Viersen, S., Kroesbergen, E. H., Slot, E. M., & de Bree, E. H. (2014). High reading skills mask dyslexia in gifted children. *Journal of Learning Disabilities*, 49(2), 189–199. <https://doi.org/10.1177/0022219414538517>
- Viana-Sáenz, L., Sastre-Riba, S., Urraca-Martínez, M. L., & Botella, J. (2020). Measurement of executive functioning and high intellectual ability in childhood: A comparative meta-analysis. *Sustainability*, 12(11), 1–12.
- Zhang, H., Zhang, X., He, Y., & Shi, J. (2016). Inattentive blindness in 9- to 10-year-old intellectually gifted children. *Gifted Child Quarterly*, 60(4), 287–295. <https://doi.org/10.1177/0016986216657158>

3. Partie clinique et expérimentale

Cette partie a fait l'objet de plusieurs travaux préliminaires, d'une communication affichée et d'une communication orale :

Allard, J. (2017). *Étude des liens entre les fonctions exécutives et les intelligences fluide et cristallisée chez les enfants d'âge scolaire*. Mémoire de Master 1 non publié. Université d'Angers, Angers, France.

Allard, J. (2018). *Étude des liens entre les fonctionnements exécutif et intellectuel chez l'enfant à haut potentiel intellectuel*. Mémoire de Master 2 non publié. Université d'Angers, Angers, France.

Brosseau-Beauvir, A., Bucaille, A., Brochard, S. et Peudenier, S. (2018). *Étude du geste et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel : Etude MOHPI*. Mémoire de Diplôme Inter Universitaire de Neurologie Pédiatrique.

Bucaille, A. (2016). *Les enfants à haut potentiel ont-ils un trouble du geste ?* Communication orale à la conférence « Troubles des apprentissages et Troubles du Spectre Autistique : une origine neurodéveloppementale commune ? », Réseau santé arc.en.ciel, Plérin.

Bucaille, A., Peudenier, S., Jarry, C., Brochard, S. & Roy, A. (2017). *Enfants à haut potentiel intellectuel : comment se développent leurs capacités gestuelles et de régulation du comportement ?* Communication affichée à La nuit des chercheurs, Angers.

3.1 Problématique, objectifs et hypothèses générales

Les études empiriques sur le fonctionnement cognitif des EHPI sont plutôt rares, comme en témoigne notre revue de la littérature, contrastant avec une littérature globalement foisonnante sur le sujet des EHPI (Lautrey, 2004). La littérature francophone (mais pas uniquement) est imprégnée d'idées paradoxales concernant l'EHPI, qui jettent le trouble sur la qualité et la confiance que l'on peut accorder aux connaissances a priori acquises au sujet de ces enfants (Grégoire, 2017b).

Un pan de la littérature se compose d'un nombre conséquent d'ouvrages rapportant un fonctionnement général chez l'EHPI qualitativement différent des autres enfants. Un certain nombre de caractéristiques (sur les plans relationnel, cognitif, affectif) leur sont attribuées, laissant à penser que ces traits leur seraient spécifiques (Kieboom, 2011 ; Terrassier, 2018 ; Wahl, 2019) ou, tout du moins, qu'ils seraient suffisamment marqués – et possiblement « pathologiques » - pour les différencier des autres. Une autre partie de la littérature dresse quant à elle une lecture critique de ces ouvrages et documents, affirmant que, si une rupture peut être opérée entre EHPI et enfants au développement typique avec une intelligence dans la moyenne (EDT), elle ne pourrait l'être que sur un plan quantitatif et non qualitatif (Gauvrit, 2015 ; Ramus, 2018).

Cette thèse propose d'examiner deux idées instillées de manière récurrente dans la littérature depuis plusieurs décennies concernant le fonctionnement des EHPI, mais souffrant d'un manque d'étayage scientifique ou d'imperfections méthodologiques nuisant à la compréhension du problème.

La première idée est celle d'une dissociation entre le niveau intellectuel de ces enfants (très supérieur) et leurs capacités motrices, qui ne seraient pas à la hauteur de leur fonctionnement cognitif général (Chae et al., 2003 ; Pereira-Fradin, 2006 ; Silverman, 1997 ; Terrassier, 2009, 2018 ; Wahl, 2019), voire insuffisantes par rapport à ce qui est attendu pour

l'âge. Notons que, dans ce domaine, la revue de la littérature a fourni peu d'éléments de réponses car sur l'ensemble des études analysées, seule l'une d'entre elles répondait aux critères sélectionnés (les autres étaient exclues en raison de leur type ou de leur format, ou bien encore, du seuil de QI utilisé pour l'identification du HPI).

En élargissant les critères, quelques éléments de réponses peuvent apparaître. Ainsi, les études rétrospectives se focalisant sur l'examen de la motricité chez le jeune EHPI donnent lieu à des conclusions contraires. L'une indique (Vaivre-Douret, 2004), sur la base d'un examen clinique, une avance dans l'acquisition des étapes développementales motrices (entre 1 et 30 mois), et une autre non, se basant sur des questionnaires parentaux (Peyre et al., 2017). Cette hétérogénéité ne serait en fait visible que vers l'âge de 5-6 ans (Vaivre-Douret, 2012) au niveau des capacités graphomotrices, désignées comme le point faible du profil de ces enfants (Vaivre-Douret, 2004), bien qu'aucune étude ne l'ait clairement démontrée. Cette affirmation est pourtant régulièrement reprise, certains le considérant même comme l'un des signes d'appel du HPI (Robert et al., 2010). Elle est également avancée pour expliquer l'hétérogénéité du profil de performance des EHPI aux échelles de Wechsler (Bessou et al., 2005 ; Liratni & Pry, 2007). Cette hypothèse pourrait cependant trouver appui sur certains travaux ayant fait le lien entre les faibles performances en écriture et la sous-réalisation scolaire chez l'EHPI (Stoeger et al., 2008 ; Stoeger & Ziegler, 2013).

Les difficultés rapportées dans le domaine du langage écrit chez les EHPI concerneraient plutôt les aspects gestuels que langagiers (Yates et al., 1995). En référence au modèle de l'apraxie, ces éléments pourraient évoquer une atteinte du système de production par rapport au système conceptuel qui pourrait être préservé (Roy & Square, 1985 ; Roy, 1996 ; Stamenova et al., 2012). Néanmoins, aucune étude systématique du geste n'a été conduite jusqu'à présent pour analyser précisément la dimension dans laquelle pourrait s'inscrire ce problème.

Une seconde idée, largement répandue dans la littérature, est que les EHPI manifesteraient à certains égards des comportements proches du TDA/H (Moon, 2002 ; Thongseiratch & Worachotekamjorn, 2016) et seraient particulièrement à risque d'être considérés comme présentant ce trouble (Katusic et al., 2011 ; Mullet & Rinn, 2015 ; Wahl, 2019). Les FE occupant un rôle central au sein de ce trouble (Pineda et al., 1998 ; Shimoni et al., 2012), la question d'un déficit des FE chez les EHPI peut être soulevée. De nombreuses descriptions comportementales alimentent en effet cette hypothèse (Kieboom, 2011 ; Louis, 2014 ; Robert et al., 2010 ; Siaud-Facchin, 2012), alors même que les données empiriques issues de notre revue de la littérature ne semblent pas valider cette idée (Arffa, 2007 ; Arffa et al., 1998 ; Leikin et al., 2013 ; Montoya-Arenas et al., 2018 ; Segalowitz et al., 2013). Ces discordances justifient la réalisation d'un examen systématique, théoriquement guidé (Diamond, 2013), approchant les FE dans leur pluralité (mémoire de travail, inhibition, flexibilité mentale, planification), sur les versants cognitif et comportemental.

Les fonctions attentionnelles et exécutives (FE), en tant que fonctions adaptatives, sont impliquées dans un grand nombre d'activités cognitives, notamment gestuelles (Osiurak, 2016). L'examen de ces fonctions est recommandé dès lors qu'il est nécessaire de documenter le fonctionnement cognitif des EHPI, notamment lorsque l'hypothèse d'un trouble des apprentissages est envisagée (Foley Nicpon et al., 2011 ; Hernández Finch et al., 2014). Pour traiter complètement la problématique du geste chez l'EHPI, une attention particulière doit donc être portée au fonctionnement exécutif de ces enfants. Notre revue de la littérature rapporte en effet des capacités de planification « seulement » comparables entre EHPI et EDT (Segalowitz, 1992 ; Montoya-Arenas, 2018), qui pourraient donc participer au manque d'efficacité des praxies rapporté chez les EHPI (a minima au regard de leur niveau intellectuel ou plus encore, par rapport aux enfants de même âge). Des travaux conduits dans

d'autres contextes cliniques confirment l'utilité de ce type d'examen lors de l'investigation d'un trouble du geste chez l'enfant (Leonard et al., 2015 ; Remigereau et al., 2018) pour statuer sur l'authenticité des difficultés gestuelles.

L'objectif général de cette thèse est d'apporter un éclairage scientifique sur le fonctionnement de l'EHPI par l'approche neuropsychologique, en étudiant deux grands secteurs pour lesquels les données actuelles s'avèrent limitées et/ou contradictoires au regard des données de la littérature : le domaine du geste et celui du fonctionnement exécutif.

Différents objectifs sont par ailleurs visés par ce travail, sur les versants clinique, méthodologique et théorique.

Le premier objectif, clinique, devrait permettre la mise à jour d'éventuelle(s) particularité(s) au sein du profil cognitif des EHPI. En effet, au-delà du niveau d'efficacité intellectuelle, les familles et les professionnels expriment avant tout le besoin de mieux comprendre les particularités du fonctionnement de ces enfants, afin de trouver des leviers d'ajustement. Identifier les difficultés exactes (nature, sévérité) présentées au sein de cette population devrait permettre de porter une vigilance sur certains points, de prévenir d'un éventuel retentissement scolaire et d'apporter le soutien nécessaire au développement de l'enfant en cas de besoin.

Sur le plan méthodologique, l'objectif est de pouvoir contribuer de manière rigoureuse à l'accroissement des connaissances au sujet des EHPI. Celui-ci passe par l'adoption d'une méthodologie plus stricte, visant à limiter les facteurs de confusion possibles, habituellement rencontrés dans l'étude du HPI. L'adoption d'un critère consensuel et strict pour l'identification du HPI en constitue la base ($QIT \geq 130$). L'échantillonnage devra permettre d'approcher au plus près la population d'EHPI « tout-venant », contrairement aux méthodes traditionnelles de recrutement incluant des populations spécifiques (issues des consultations

spécialisées ou de programmes éducatifs destinées aux EHPI) et limitant de fait, la généralisation des résultats. Les domaines cognitifs étudiés seront examinés de manière systématique à l'occasion de ce travail et ce, de manière théoriquement guidée, afin d'offrir une grille de lecture complète et scientifiquement validée.

Au niveau théorique, ce travail de thèse devrait nous permettre, grâce au recueil de données auprès d'une population d'EHPI, d'alimenter la discussion autour des concepts d'intelligence et de HPI à l'appui de l'approche neuropsychologique. La notion de trouble des apprentissages au sein de la population EHPI sera finalement abordée et discutée au regard des données empiriques recueillies à l'occasion de ce travail.

Plusieurs hypothèses de recherche sont testées à l'occasion de ce travail de thèse, réparties en deux axes principaux.

Le premier axe concerne le fonctionnement pratique des EHPI. A travers une première étude (article II), nous faisons les hypothèses que :

- Les EHPI présenteront des scores inférieurs à ceux d'EDT aux mesures basées sur la performance évaluant les praxies. Plus précisément, nous nous attendons à ce que les EHPI enregistrent des déficits gestuels relevant du système de production plutôt qu'au niveau du système conceptuel (Yates et al., 1995) en référence aux modèles du geste (Roy & Square, 1985 ; Roy, 1996 ; Stamenova et al., 2012).
- Du fait que les EHPI obtiendront des résultats aux tests « de laboratoire » inférieurs à ceux des EDT, il est attendu que leur entourage constate plus de difficultés dans les activités motrices de la vie quotidienne. Ainsi, nous supposons que les scores obtenus aux questionnaires complétés par les parents

seront supérieurs chez les EHPI en comparaison aux EDT, en raison de plaintes plus importantes les concernant.

Le second axe de recherche traite du fonctionnement exécutif de l'EHPI. Son étude est déclinée en deux parties, tout d'abord via l'article III, puis via la partie « Explorations complémentaires des FE ». Conformément aux conclusions de notre revue de la littérature, nous nous attendons à :

- Des résultats aux tests basés sur la performance comparables et/ou supérieurs aux EDT (Arffa, 2007 ; Leikin et al., 2013 ; Montoya-Arenas et al., 2018 ; Segalowitz et al., 1992) pour l'ensemble des FE (mémoire de travail, inhibition, flexibilité mentale, planification), en adoptant le modèle proposé par Diamond (2013). Nous faisons l'hypothèse que les EHPI ne présenteraient pas plus de scores d'alerte, de déficit ou de déficit sévère aux mesures évaluant les FE, par rapport à une population théorique de référence.
- Des scores comparables entre EHPI et EDT aux questionnaires d'évaluation des FE et de l'attention en situation de vie quotidienne (BRIEF et échelle de Conners) complétés par les parents et les enseignants (Hernández Finch et al., 2014 ; Minahim et al., 2015). Ainsi, nous soutenons l'hypothèse que les EHPI ne devraient pas être plus nombreux que les EDT à présenter des scores de déficit clinique à ces échelles. L'ensemble de ces éléments devraient aller à l'encontre du postulat selon lequel le fonctionnement des EHPI serait assimilable à celui des enfants présentant un TDA/H (Katusic et al., 2011 ; Mullet & Rinn, 2015 ; Moon, 2002 ; Thongseiratch & Worachotekamjorn, 2016 ; Wahl, 2019) et des descriptions comportementales qui en sont faites, pouvant alimenter l'idée d'un fonctionnement exécutif atypique (Kieboom, 2011 ; Louis, 2014 ; Robert et al., 2010 ; Siaud-Facchin, 2012).

3.2 Méthodologie générale

La méthode générale de notre recherche est introduite dans cette section. Les méthodes employées pour les articles II, III et la partie « Eplorations complémentaires des FE » relèvent globalement de ce procédé mais peuvent présenter quelques spécificités, détaillées dans chacune de ces parties, afin de répondre précisément aux questions soulevées.

3.2.1 Participants

Les participants de l'étude étaient âgés de 6 à 16 ans. Trente enfants ont été inclus dans le groupe d'EHPI et 35 dans le groupe contrôle. Les critères d'inclusion et d'exclusion sont exposés dans le tableau 1.

Tableau 1. Critères d'inclusion et de non inclusion des participants à l'étude

	Enfants à Haut Potentiel Intellectuel	Enfants au Développement Typique
Critères d'inclusion	QIT \geq 130	Remplir l'un des deux critères suivants aux subtests Vocabulaire et Matrices (WISC-V): 1) Les 2 notes standard sont comprises entre 7 et 13. 2) L'une des deux notes standard est comprise entre 7 et 13 et l'autre entre 5 et 15
	6 – 16 ans	
	Consentement obtenu	
Critères de non inclusion	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Antécédent neurologique ➤ Pathologie psychiatrique ➤ Maladie génétique connue ➤ Trouble langagier ou maîtrise insuffisante de la langue française ou trouble sensoriel élémentaire limitant la compréhension et à la participation à l'étude ➤ Prise de psychotrope au moment de la participation à l'étude 	
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Haut potentiel intellectuel connu ou envisagé ➤ Trouble des apprentissages connu ou suspecté

Conformément aux préconisations émises par le Comité de Protection des Personnes (avis initial), pour être inclus dans le groupe d'EHPI, les enfants devaient avoir été préalablement évalués par un(e) psychologue, attestant d'un QIT supérieur ou égal à 130 à une échelle d'efficience intellectuelle. Le niveau d'efficience intellectuelle des enfants du

groupe contrôle était appréhendé le jour de leur inclusion dans l'étude, sur la base des performances obtenues aux subtests Vocabulaire et Matrices de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, 5ème édition (WISC-V ; Wechsler, 2016a). Les caractéristiques socio-démographiques des participants sont présentées dans le tableau 2. A noter que seul un enfant, volontaire pour être participer en tant qu'EDT, n'a pas été inclus dans l'étude en raison de l'invalidation du critère d'efficience intellectuelle.

Tableau 2. Caractéristiques descriptives des groupes d'enfants à haut potentiel intellectuel (EHPI) et d'enfants au développement typique (EDT)

	EHPI (n = 30)	EDT (n = 35)	Valeur	p
Age (mois)	<i>M</i> = 126.3 (<i>DS</i> = 29.2)	<i>M</i> = 124.2 (<i>DS</i> = 28)	<i>t</i> = 0.30	0.763
NSE	<i>M</i> = 15.85 (<i>DS</i> = 2.26)	<i>M</i> = 14.99 (<i>DS</i> = 2.3)	<i>t</i> = 1.52	0.133
Sexe				
Filles	12	16	$\chi^2 = 0.22$	0.643
Garçons	18	19		
Inventaire de Latéralité	<i>M</i> = 69.7 (<i>DS</i> = 36.9)	<i>M</i> = 76.5 (<i>DS</i> = 44.0)	<i>t</i> = -0.68	0.648

M = Moyenne ; *NSE* : Niveau Socio-Educatif (Nombre moyen d'années d'éducation des deux parents à compter de la classe de CP) ; *DS* = Deviation Standard.

3.2.2 Matériel

Les participants étaient soumis à une large batterie de tests, visant à évaluer les praxies et les FE.

Les tests neuropsychologiques administrés comprenaient en partie des épreuves expérimentales en raison du manque d'outils disponibles normés et validés pour l'évaluation des praxies chez l'enfant. Ces épreuves, adaptées à partir de celles employées auprès de la population adulte (Jarry et al., 2016) ont déjà fait l'objet d'expérimentations et de publications auprès d'une population d'enfants « tout-venant » et de populations cliniques (TDC, Neurofibromatose de type 1) (Remigereau, 2016). S'agissant de l'évaluation des FE, plusieurs tâches de la batterie Fonctions Exécutives de l'Enfant (FÉE) (Roy et al., 2020) ont été administrées. D'autres tests couramment utilisés dans la pratique clinique pour l'évaluation

des praxies et des fonctions exécutives ont été également proposés, tels que certains subtests du WISC-V (Wechsler, 2016a) : Cubes, Mémoire des chiffres, Mémoire des images ; de la NEPSY-II (Korkman et al., 2012) : Séquences motrices manuelles, Production de mots ; la figure complexe de Rey (Osterrieth, 1944), l'Echelle d'évaluation rapide de l'écriture, BHK pour l'enfant (Charles et al., 2004) et l'adolescent (Soppelsa & Albaret, 2013), le Purdue Pegboard (Tiffin & Asher, 1948). Enfin, plusieurs questionnaires ont été proposés à la fois pour l'évaluation des praxies (questionnaire de la batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant, M-ABC-II, Marquet-Doléac et al., 2016), complétés par les parents, et l'évaluation des FE/attentionnelles en situation de vie quotidienne avec l'Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire (BRIEF) (Gioia et al., 2000 ; Roy et al., 2013) et les échelles de Conners Révisées (Conners, 1997), complétés par les parents et les professeurs. L'ensemble du protocole est exposé dans le tableau 3.

Les outils et mesures employés à l'occasion des différentes recherches (articles II et III) sont précisés à chaque fois dans une partie méthodologique. Une description des outils d'évaluation des FE/attentionnelles en situation de vie quotidienne est présentée ici concernant la partie « Explorations complémentaires des FE ».

Inventaire d'Evaluation Comportementale des Fonctions Exécutives - BRIEF (Gioia et al., 2000 ; Roy et al., 2013)

La BRIEF est un questionnaire concernant les enfants et adolescents (âgés de 5 à 18 ans) portant sur le fonctionnement exécutif en situation de vie quotidienne, en milieu scolaire et familial. Il comprend deux formes, l'une destinée aux parents et l'autre, aux enseignants. Cet inventaire comporte 86 items, regroupés en huit échelles : Inhibition, Flexibilité mentale, Contrôle émotionnel, Initiation, Mémoire de travail, Planification/Organisation, Organisation du matériel et Contrôle. Deux indices synthétisent les résultats obtenus aux échelles. L'Indice

de Régulation Comportementale (IRC) regroupe les échelles d’Inhibition, de Flexibilité et de Contrôle émotionnel. L’Indice de Métacognition (IM) réunit quant à lui les échelles d’Initiation, de Mémoire de travail, Planification/Organisation, Organisation matérielle et de Contrôle. Un résumé des 8 échelles cliniques est obtenu avec le Score Exécutif Global (CEG). Enfin, deux échelles rendent compte de la validité des réponses recueillies : l’échelle d’Incohérence et l’échelle de Négativité. La première permet de comparer les divergences de réponses données par un même cotateur à des questions appréhendant exactement le même aspect, en comparaison à un échantillon normatif. La deuxième évalue la mesure dans laquelle les réponses aux items apparaissent excessivement négatives par rapport à ce qui est habituellement observé dans la population générale.

Échelle de Conners pour les parents – révisée : version brève (CPRS-R:S) et pour enseignant(e)s (CTRS-R : S)

Les échelles de Conners sont conçues pour recueillir la perception des parents et des enseignants quant à une variété de comportements d’enfants et adolescents âgés de 3 à 17 ans. Les items (27 pour la version parents, 28 pour la version enseignant) sont regroupés en 3 échelles (Oppositionnel, Problèmes cognitifs/d’inattention, Hyperactivité) et un Index de Conners Déficit d’Attention/Hyperactivité (DA-H) dont les items se rapprochent très sensiblement des critères du TDA/H (Kumar & Steer, 2010).

Tableau 2. Récapitulatif du protocole d'évaluation

ÉVALUATION DES PRAXIES		
Epreuves	Mesures	Étendue de mesure
Cubes (WISC-V)	Note standard	1 : 19
Inventaire de latéralité d'Edinburgh (Oldfield, 1971)	Coefficient de latéralité	-100 : 100
Purdue Pegboard (Tiffin & Asher, 1948)	Nombre de tiges placées : avec la main dominante, non-dominante, Paires de tiges placées avec les deux mains Nombre d'éléments assemblés	Max : 25 Max : 25 Max : 25 Max : 100
Echelle d'évaluation rapide de l'écriture l'écriture, BHK (Charles et al., 2004 ; Soppelsa & Albaret, 2013)	Score de dégradation Nombre de lettres copiées	Max : 65 (45 version adolescent) Max : 1315
Figure Complexe de Rey (Osterrieth, 1944)	Score de copie Temps (secondes)	Max : 36
Utilisation d'objets en dispositif (LPPL, 2013)	Score d'efficacité Temps	Max : 10 Max : 1min /objet
Activités de vie quotidienne (LPPL, 2013)	Nombre d'actions attendues Temps (limite : 4 min 30)	Max : 12
Résolution de problèmes mécaniques (LPPL, 2013)	Score d'efficacité Temps	Max : 9 Max : 3 min / dispositif
Imitation de postures digitales et manuelles (LPPL, 2013)	Nombre de postures digitales, Nombre de postures manuelles et bimanuelles réussies	Max : 60 Max : 40 Max : 40
Séquence motrices manuelles, NEPSY-II (Korkman et al., 2012)	Nombre de séquences réussies Temps (sec)	Max : 60 0 : ∞
Questionnaire de la Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant, M-ABC-II (Marquet- Doléac et al., 2016)	Partie A (A1, A2, A3), Partie B (B1, B2, B3), Partie C Total	Max : 45 Max : 45 Max : 13 Max : 103
ÉVALUATION DES FONCTIONS EXECUTIVES		
Production de mots (NEPSY-II)	Nombre de mots, condition sémantique : Animaux, Aliments/boissons ; condition Lettre initiale : « S », « F »	0 : ∞ 0 : ∞ 0 : ∞, 0 : ∞
Mémoire des chiffres (WISC-V)	Note standard Empan ordre direct Empan ordre inverse Empan ordre croissant	1 : 19 Max : 10 Max : 8 Max : 9
Mémoire des images (WISC-V)	Note standard Empan	1 : 19 Max : 8
Kids Card Sorting Test (FÉE)	Nombre de catégories réussies Temps (sec) Nombre d'erreurs persévératives Nombre d'abandons prématurés de règle.	Max : 7 Max : 47 Max : 16
Test des 8 Labyrinthes (FÉE)	Nombre d'entrées dans les impasses Nombre de labyrinthes terminés Temps de réalisation	0 - indéfini Max : 8 4 min / labyrinthes
Figure de Rey : programme (FÉE)	Indice de planification	- 36 : 36
Stroop (FÉE)	Interférence : erreurs non corrigées Interférence : temps (sec)	- 100 : 100
Barre-Joe (FÉE)	Score d'imprécision Temps (partie A, partie B) Score d'évolution de la vitesse Score d'évolution de l'imprécision	0 : 480 0 : ∞ - ∞ : + ∞ - 480 : 480

Tableau 2. Récapitulatif du protocole d'évaluation (suite)

ÉVALUATION DES FONCTIONS EXECUTIVES (SUITE)		
Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire (BRIEF) (Gioia et al., 2000 ; Roy et al., 2013) pour les parents et les enseignants	Score Composite Global (CEG), Indice de Régulation Comportementale (IRC), échelles Inhibition, Flexibilité, Contrôle émotionnel, Indice de Métacognition (IM), échelles Initiation, Mémoire de Travail, Planification/Organisation, Organisation Matériel, Contrôle	Note T
Echelles de Conners Révisées (Conners, 1997) versions brèves pour les parents (CPRS-R :S) et les enseignant(e)s (CTRS-R :S)	Echelles Oppositionnel, Problèmes cognitifs/inattention, Hyperactivité, Index de Conners d'hyperactivité	Note T

Note. NEPSY-II : Bilan neuropsychologique de l'enfant, 2^{nde} édition ; WISC-V : échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, 5^{ème} édition ; FÉE : Batterie Fonctions exécutives de l'enfant

3.2.3 Procédure

La thèse a été réalisée dans le cadre d'un programme de recherche hospitalier intitulé « MO-HPI » (Motricité – enfant à Haut Potentiel Intellectuel), dont le CHRU de Brest était le promoteur. Le projet de recherche a obtenu un avis favorable de l'Agence Nationale et de Sécurité du Médicament le 20/12/2016 (Annexe 1) et un avis favorable définitif (n°16/082) du Comité de Protection des Personnes SUD EST IV, le 16 Mars 2017 (Annexe 2). La recherche a été enregistrée sur Clinicaltrials.gov sous l'identifiant NCT03128125. L'inclusion des participants s'est déroulée entre Avril 2017 et Août 2018.

Les participants ont été recrutés grâce un large appel à participation, via des courriers (annexe 3) distribués dans les écoles primaires et collèges de la ville de Brest, avec l'accord des directeurs d'établissement. Des posters de l'étude étaient également affichés dans les lieux publics (annexe 4) fréquentés par les familles (médiathèque, piscine, centre de loisirs, etc.). Un article a été publié dans un journal local (Annexe 5) et une bande annonce radio a également été diffusée. Les professionnels du secteur (orthoptiste, psychologues scolaires, etc.) étaient informés de l'étude et libres de transmettre l'information. Les deux associations

pour EHPI du département du Finistère étaient également informées de la mise en place de l'étude et étaient libres de relayer l'information à leurs adhérents.

Les familles intéressées par une participation à l'étude étaient invitées à se manifester auprès du médecin investigateur ou de la neuropsychologue en charge de l'étude. Les objectifs et conditions de participation étaient discutés à l'occasion de ce premier échange. Pour les familles manifestant un accord de principe, une première vérification des critères d'inclusion étaient proposée. Si l'enfant remplissait les critères d'inclusion et ne remplissait pas les critères d'exclusion, alors les notices d'informations (Annexe 6, Annexe 7, Annexe 8) et les formulaires de consentement autocopiants (3 exemplaires) (Annexe 9) étaient adressés à la famille. Chaque famille disposait du temps nécessaire pour réfléchir à sa participation et était libre de recontacter les investigateurs pour obtenir toute information complémentaire. Puis, les formulaires de consentement devaient être lus et signés par l'enfant et ses deux parents, préalablement à la visite d'inclusion.

La visite d'inclusion et le recueil des données avaient lieu le même jour, pour éviter de multiplier les venues des participants à l'hôpital. Les participations avaient lieu à l'hôpital pour tous les enfants (EHPI et EDT), sur une journée, comprenant à nouveau la vérification des critères d'inclusion et d'exclusion par le médecin, la réalisation d'une anamnèse (annexe 10), d'un examen neurologique et de l'examen neuropsychologique. L'ordre de passation des épreuves neuropsychologiques était prédéterminé de manière aléatoire et le même systématiquement pour tous les participants. Trois pauses étaient prévues au cours de la journée, dont une pause déjeuner comprenant un repas offert sur place à l'enfant et à son accompagnant.

Les questionnaires étaient envoyés aux parents avant la visite d'inclusion afin de permettre aux deux parents de les compléter ensemble et de faciliter leur retour par une remise

en main propre le jour de leur venue à l'hôpital. Les parents et l'enfant étaient libres de remettre les questionnaires au professeur. Une enveloppe préaffranchie était délivrée avec, afin de ne pas alourdir les contraintes de participation et optimiser les retours. Au final, 26 BRIEF et échelles de Conners ont été retournés complétés par les professeurs des EHPI et 29 pour les EDT. Tous les parents (des groupes EHPI et EDT) ont complété les 3 questionnaires (M-ABC-II, BRIEF et Conners).

Les trois parties suivantes de la thèse vont maintenant traiter de la question des praxies (Article II) et du fonctionnement exécutif des EHPI (Article III et Analyses complémentaires).

3.3 Article II.

Motor skills in intellectually gifted children

Ce texte est la reproduction d'un article soumis à une revue internationale à comité de lecture

MOTOR SKILLS IN INTELLECTUALLY GIFTED CHILDREN

Aurélie Bucaille^{1,2}, Christophe Jarry², Justine Allard³, Adélaïde Brosseau-Beauvir^{1,4}, Sylvain Brochard^{4,5,6}, Sylviane Peudénier¹, Arnaud Roy^{2,7}

¹ Learning Disabilities Reference Center, Brest University Hospital, Brest, France.

² Psychology Laboratory of the Pays de la Loire (EA 4638), University of Angers, Angers, France.

³ Medical and educational institute “L’estuaire”, Saint-Brévin-les-Pins, France.

⁴ Pediatric rehabilitation department, ILDYS Foundation, Brest, France.

⁵ Pediatric rehabilitation service, Brest University Hospital, Brest, France.

⁶ Laboratory of medical information processing (LaTIM), INSERM UMR 1101, Brest, France.

⁷ Learning Disabilities Reference Center, Nantes University Hospital, Nantes, France.

Corresponding author: aurelie.bucaille@chu-brest.fr

ORCID: 0000-0001-5464-5005

3.3.1 Abstract

Background: Contrary to what one might think, high intelligence level does not guarantee an overall high level of functioning. Handwriting skills have been cited as a factor responsible for underachievement in children with high intelligence. However, little is known about their motor functioning. **Objective:** This study aimed at characterized motor skills in 30 Intellectually Gifted (IG) children (Intelligence Quotient ≥ 130) compared to 35 Typical Developing children (TD) with intelligence level in the average range. **Methods:** A thorough theory-driven examination of motor skills has been carried out, to explore distinct components described in the cognitive models of apraxia. Results of IG children were compared to TD on neuropsychological performance-based and rating measures, and on the presence of Neurological Softs Signs (NSS). **Results:** IG children presented increasingly motor complaints in everyday life and more NSS. They showed similar results on most of neuropsychological measures but a few of them were concerned by graphomotor difficulties. **Conclusion:** IG children are less comfortable in daily motor activities than expected. A part of them are prone to develop handwriting problem. These features deserve to be early identified and taken into consideration to avoid difficulties in everyday functioning.

Keywords: gifted children, high intelligence, neuropsychology, motor functions, neurological softs signs

3.3.2 Introduction

Intellectually Gifted (IG) children are those with a superior intelligence, generally measured by the intelligence quotient (IQ), reaching or exceeding a threshold of 130 on an intelligence scale (Calero et al., 2007; Carman, 2013). Physical abilities in IG children are a matter of interest over the last century. Terman (1926) was the first to study their features through a broad data collection and to notice the superiority of these children. However, decades later, some authors assumed that this superiority did not translate into their overall functioning. An increasing number of authors considered their motor functioning not so higher than their intellectual level (Silverman, 1997; Terrassier, 2009). More recently, graphomotor abilities in children with high intelligence have been identified as potentially responsible for underachievement (Stoeger et al., 2013). Despite growing interest, the question of their motor abilities remains unclear. It is difficult to know if their motor abilities were just less developed than expected (relative to their intellectual level), or if these children are being prone to develop motor disabilities (relative to children with intelligence in average).

Motor skills could be divided into two main components: motor coordination and praxis (Costini et al., 2013). Motor coordination is the process of linking the contractions of many independent muscles so that they can act synergistically and be controlled as a single unit (Cramer & Darby, 2014). Its acquisition is considered as natural, allowing walking, running, jumping and realizing motor sequences. Praxis are complex gestures, culturally transmitted and learned (symbolic gestures, tool use, dressing, drawing, writing...) (Gil, 2018). They refer to a finalized intentional goal-directed motor behavior (Le Gall et al., 2012). Among them, writing is considered as one of graphomotor abilities, along with drawing. Writing encompasses two components: “higher-level processes” (language generation, planning, content) and “lower-level processes” (motor planning and transcription: spelling and handwriting) (Overvelde & Hulstijn, 2011; Olive & Kellogg, 2002; Yates, Berninger, &

Abbott, 1995). More specifically, handwriting refers to the capacity to efficiently write letters (Fancher et al., 2018).

Assessment of motor abilities in children is conventionally based on model of apraxia (Roy & Square, 1985 ; Roy, 1996; Stamenova et al., 2012) and the records of observable symptoms. Many authors suggest conducting an assessment of the conceptual and the production systems of praxis. This including motor coordinations, graphomotor skills, visuo-constructive skills, ideomotor praxis, dynamic hand gesture and tool use (Lussier, Chevrier, & Gascon, 2018; Remigereau & Costini, 2018). So far few investigated, the technical reasoning (TR) is of importance in the development of tool use (Remigereau et al., 2016). This ability is based on reasoning about the physical properties of tools and objects (Osiurak et al., 2013) and allow tool making with planning, flexibility and imagination input (Beck et al., 2011). Apart from performance-based measure, activities of daily living (ADL) must be assessed, as motor disorder leads to functional impairment (Blank et al., 2019). This information is generally gathered from different sources, such as reports of parents or educational/health care professionals. Lastly, the assessment of neurological status is recommended to address the issue of etiology in the context of motor disabilities (e.g. cerebral palsy, muscular dystrophy, etc.), but also, to identify presence of Neurological Soft Signs (NSS) which could testify impairment of the motor pathways (Vaivre-Douret et al., 2016).

While many studies focused on motor abilities in IG children, inclusion criteria based on IQ varied considerably across them (use of different IQ threshold or IQ type). Based on this broad literature, it seems that IG children could demonstrate an advance in some motor milestones very young, such as age of walking (Shapiro et al., 1989; Vaivre-Douret, 2004). However, this advance in young child is not confirmed in overall motor abilities (Douthitt, 1992; Peyre, Charkaluk, Forhan, Heude, & Ramus, 2017; Shapiro et al., 1989). Contrary to the widespread believe that IG children should excel in all academic domain (Yates et al.,

1995), some researchers assumed that they did not outperform TD children in many cognitive domains (Schofield & Ashman, 1987). It is said that low motor performance can even occurred in high IQ (Smits-Engelsman and Hill, 2012). Some argued for a developmental advance over the neonatal period which disappeared as they grow up, with the emergence of graphomotor difficulties at school age (Vaivre-Douret, 2004, 2011).

The idea of a gap between a higher general ability and other specific cognitive/motor functions in IG (also called asynchronous development”, Silverman (1997) and “dys-synchronia”, Terrassier (2009)) had widespread support. Part of literature showed that IG children did not perform on motor coordinations as their expected level (their general high ability). Indeed, IG children had comparable performance to TD children in general static coordination, dynamic coordination of the hands, and motor speed (Berk, 1957). It was concluded that these children were no clumsier than other (Burger, 1985), but the discrepancy with their expected level was not questioned. According to studies, their visuo-constructional performances were distributed between average and superior range (Knoff and Sperling, 1986; Santamaria & Albaret, 1996). Although they exhibited more advance skills in higher level cognitive writing processes (i.e., quality of text generation), they did not outperformed TD children in lower level of writing processes (i.e., transcription) suggesting difficulties relative to what one expect from their high general ability.

Few studies focused on the prevalence of motor disabilities in IG children. These studies only covered handwriting skills. According to them, from 16% to 50% of these children would be affected by this kind of disability (Santamaria & Albaret, 1996 ; Liratni, Wagner & Pry, 2012). However, these studies did not specify their recruitment method, raising doubts about representativity of the samples. It has been assumed that these difficulties could be part of a developmental dyspraxia (Santamaria & Albaret, 1996). The lack of comprehensive and

theory-driven assessment of motor functioning does not currently allow determining this question.

It is now recognized that IG children may demonstrate lower motor skills than might be expected given their IQ level (Shapiro et al., 1989; Yates et al., 1995). These can impact their success in school, as poorer fine motor skills are known to be especially predictive of underachievement in these population (Stoeger, Suggate, & Ziegler, 2013; Stoeger, Ziegler & Martzog, 2008). Moreover, depressed graphomotor skills can impact IQ-score, and should be conducted to misidentification, as some pupils would not attain the IQ threshold defining intellectual giftedness (Ziegler & Stoeger, 2010).

Several indicators suggest that IG may present motor difficulties or at least, have lower performance relative to their IQ level. However, studies conducted until now had never been conducted in accordance with theoretical models of apraxia. As gesture disorder may result from different mechanisms, these deserve to be examined in a systematic manner (Dewey, 1995). In this context, the aims of our study were (1) to explore the motor functioning of IG children based on a theory-driven assessment (2) to evaluate simultaneously the many components of cognitive models of apraxia (3) by the use of motor and cognitive performance-based measures and parental reports of the child's difficulties in daily motor activities, and (4) to determine children's neurological status within an integrative approach.

We assume that A) IG children would present inferior motor skills compared to TD children in performance-based measures. B) Proxy-reported complaints about daily motor activities would be more important in IG children's parents than in TD children's parents. C) Associations between performance-based measures of motor skills and parents rating would be negatively correlated, regardless of the sample, since the more the children succeed on performance-based measures of motor abilities, the more the children do not encounter difficulties in daily activities.

3.3.3 Methods

Participants

Children's age ranged from 6 to 16 years old. To be eligible for the IG sample, children must have been identified as having an IQ > 130 at an intelligence scale. They were all evaluated by a Wechsler Intelligence Scale, according to their age at the time of their identification (WPPSI-III or WPPSI-IV for the younger children, and WISC-IV or WISC-V for the older). Most of them were identified by a private psychologist (66.7%), but also, by a school psychologist (30%) or by a psychologist from a medico-psychological center for one of them (3.3%).

For the TD sample, they must not have been identified or suspected to be gifted. Children were included on the basis of an estimated-IQ in average (Matrix reasoning and Vocabulary, WISC-V). To be included, TD children must have performed these subtests in the average, meeting the following criteria: (i) their two scaled scores were between 7 and 13, or (ii) one of the two was between 7 and 13, and the other, between 5 and 15. Children with learning disabilities (for example, dyslexia or Attention Deficit Hyperactivity Disorder –ADHD) were not including in the TD sample.

Other exclusion criteria were applied to all participants: neurological or psychiatric history (epilepsy, traumatic brain injury, prematurity, Autism Spectrum Disorder...), genetic disease, visuospatial disabilities, linguistic, motor or elementary sensory deficiency (e.g. hemiplegia, auditory or visual deficit), insufficient command of French (limiting the understanding and participation in the study and likely to impact the results to the protocol) and users of psychotropic drug.

Twenty IG children and 36 TD children were volunteers. One volunteer for the TD sample was not included due to a high score on the Matrix Reasoning subtest.

The two groups were matched on chronological age and gender. Parental Education Level (PEL) and manual laterality (using the Edinburgh handedness inventory; Oldfield, 1971) were also taken into consideration to ensure the comparability of the two samples (samples characteristics are provided in table 1).

Table 1. Samples characteristics

	Intellectually gifted (n = 30)	Typically developing (n = 35)	Value	p
Age (months)	M = 126.3 (SD = 29.2)	M = 124.2 (SD = 28)	t = 0.30	0.763
PEL	M = 15.85 (SD = 2.26)	M = 14.99 (SD = 2.3)	t = 1.52	0.133
Gender			$\chi^2 = 0.22$	
Girls	12	16		0.643
Boys	18	19		
Edinburgh quotient	M = 69.7 (SD = 36.9)	M = 76.5 (SD = 44.0)	t = -0.68	0.648

M = mean; NS: Not Significant; PEL: Parental Education Level (mean education in years from grade 1, for both parents); SD = Standard deviation.

Materials/ Instruments

Praxis skills were evaluated with the BHK for handwriting, the Rey Osterrieth Complex Figure (ROCF) for visuo-constructional skills, and two experimental tasks to assess tool-use: a real tool-use task and a mechanical problem solving (MPS) task in order to evaluate the ability to use tools of daily life or to make novel tools in order to solve problems. Ideomotor praxis were assessed through a task of imitation of meaningless gestures. Motor coordinations were investigated with a dexterity task (Purdue Pegboard), a task of motor sequences and a parental checklist relative to global coordinations. NSS were recorded during a neurological examination.

Concise Evaluation Scale for Children Handwriting (BHK; Charles, Soppelsa and Albaret, 2004)

The BHK-C (Children) and BHK-A (Adolescent) were used to assess quality and speed of handwriting. This tool is commonly used for the detection of poor handwriting and

dysgraphia. Two versions of the test were administered according to the grade of the participant. One of them concerns primary school children (grade 1 to 5: BHK-C; Charles, Soppelsa, & Albaret, 2004) and the other, junior high school students (grade 6 to 9: BHK-A, (Soppelsa & Albaret, 2013). The test consists of copying a standardized text for 5 minutes, or at least five lines (if the child writes too slowly). Handwriting quality was evaluated on 13 items for school children and 9 items for high school students. A breakdown ranking is provided by summing these scores. The higher is the score, the lower is the quality of writing. Velocity is measured by a raw score, the number of characters [0-1315] written in five minutes.

Rey Osterrieth Complex Figure (ROCF)

The copy of the ROCF (Osterrieth, 1944) is a neuropsychological test commonly used for the assessment of visuoconstructional ability, but also executive functions. Participants were asked to copy a complex geometrical figure as accurately as possible (“formulation condition”). The ROCF was drawn with five colors felt pens which are changed in a fixed order to enable the examiner to track the drawing sequence. Indeed, the figure was analyzed based on reproduction type (seven types), according to the traditional guidelines developed by Rey (1959). Some types of reproduction are more frequent at certain ages, with the predominance of the type V at 4 y/o, the type IV from 5 to 11/12 y/o, and the type I from 11/12 y/o to adulthood. The type of drawing is considered as a meaningful indicator of organizational strategy, with a good developmental sensitivity (Frisk et al., 2005). Applied to IG children, this measure will allow seeing if their organizational strategy is the same as TD children of the same chronological age, or if they show a different, more advanced type. A 36-point scoring system (raw score) was used to quantify the accuracy of the drawing. Time of completion was also recorded. Furthermore, an “execution condition” was administered to

children in order to study planning abilities involvement during the task. In this condition, children have to progressively reproduce the figure on the basis of 5 successive cues, in accordance with the procedure of Roy et al. (2010). A raw score for accuracy was obtained according to the same procedure of the “formulation condition”. Then, a Planning Index (PI) was calculated by subtracting score of the execution condition to the formulation condition raw scores (ROCF-PI). This procedure is used to separate children’s spontaneous planning ability (when structure is minimal, such as in the formulation condition) from their ability to execute an externally directed and highly structured strategy (execution condition).

Real tool use task (RTU)

RTU is an experimental task adapted by Remigereau et al. (2016) from these used with adults (Jarry et al., 2013). Eleven familiar tools (comprising a tool for the example) were presented simultaneously on a vertical board to the child. The corresponding objects with which the tools could be used were arranged one by one on the table, in front of the child and the board. The participant was asked to choose the tool (i.e, a glass) corresponding with the object presented (i.e a jug) and to use it. One point was obtained if the child correctly used the object (according to efficiency criteria defined beforehand) with the appropriate tool within a time-limit (1 min for each item). A total raw score comprised between 0 and 10 was obtained.

Mechanical Problem Solving

This task (adapted by Remigereau et al., 2016 from Jarry et al., 2013 and Osiurak et al., 2013) examines the use of non-familiar tools and knowledge on mechanical actions. Three different transparent plastic apparatus were successively presented to the participant. The child was asking to extract a little red wooden cube or bead (i.e., the targets), lodged inside each box, within a time-limit of 3 minutes. Tools were available to get out the target (the problem could not be solved by directly use hands) with different proprieties (long or short rods, in wood,

aluminum, copper or tin). This task required many actions in order to solve the problem. A quantitatively accurate score based on a 4-point scale (0-1-2-3) was provided based on predetermined criteria (see Remigereau et al., 2016). The raw score was maximum 9 (3 for each apparatus).

Manual motor sequences

The Manual Motor Sequences (MMS) is a subtest of the developmental NEUROPSYCHOLOGICAL assessment (NEPSY-II; Korkman, Kirk, & Kemp, 2007) used to assess manual motor learning of a movement sequence. The child had to reproduce a set of movements five times by using one (dominant or non-dominant hand) or both hands (alternatively or simultaneously). A raw score was determined by the number of sequences correctly carried out (number of total sequences: 60).

Imitation of Meaningless Postures

The Imitation of meaningless postures (IMP) task (adapted by Remigereau et al., 2018) comprises two parts. The examiner sat opposite to the patient and demonstrated the gesture 'like a mirror'. After the demonstration, the child had to start imitation immediately. Firstly, the participant was asked to replicate different fingers configuration (IMP-F): Ten configurations were produced with the right hand, ten with the left hand (mixed presentation) and ten others using both hands. A total raw score was provided, depending on the achievement of the configuration and the time recording (up to 10 seconds: 2 points, up to 20 seconds: 1 point. Maximum score: 60). Then, the participant had to copy positions of the hand relative to the head (IMP-H). Ten hand positions with the right hand, ten positions with the left hand and fifteen using both hands (5 non-crossed and 10 crossed hands positions) were tested. A total raw score was provided, depending on the achievement of the configuration

and the time recording (up to 10 seconds: 2 points, up to 20 seconds: 1 point. Maximum score: 70).

Purdue Pegboard

The Purdue Pegboard (PP) (Fleishman & Ellison, 1962; Tiffin & Asher, 1948) is a test of digital dexterity and bimanual coordination. Measures obtained including 4 conditions. The material consists of a board with two parallel rows with 25 holes into which cylindrical metal pegs are placed by the child. In the first and second condition children were asked to place as quickly as possible tiny pegs with their dominant hand and their non-dominant hand in the column corresponding to the hand (right or left). The raw score was used, determined by the number of pegs placed into the board after 30 seconds (maximum possible score: 25). In a third condition (bimanual), they were asked to use their two hands simultaneously to place pegs in both columns. The number of pair-pegs placed into the board after 30 seconds determined the raw score (maximum: 25). Last, the assembly condition involves picking up and placing pegs, washers, and collars using alternating hands. The raw score was recording, equivalent to the number of pieces assembled (maximum: 100) after 60 seconds.

Checklist of the Movement Assessment Battery for Children (MABC-II)

The checklist of the M-ABC-II (Henderson, Sugden, & Barnett, 2007; French adaptation: Marquet-Doléac, Soppelsa, & Albaret, 2016) was given to the parents of each participant in order to provide their views on their child's movement in everyday settings. Items are divided into 3 sections: part A (Movement in a static environment) and part B (Movement in a dynamic environment), dealing with motor performance. Part C (Non motor factors) is a behaviour section that considers the extent to which a child's attitudes and feelings (for example: organization during dressing, distractibility, passive attitude, anxiety, impulsiveness, lack of perseverance, affected by the failure...) can affect motor activities in daily life. Part A

comprised 3 sub-sections: A1. Abilities in personal care, A2. Abilities in classroom, A3. Abilities in physical education or recreation. Part B comprised 3 sub-sections: B1. Abilities in personal care, B2. Control the ball, B3. Abilities in physical education or recreation. More the scores were higher, more the difficulties experienced were numerous or important (Part A, maximum raw score: 45; Part B, maximum raw score: 45; Part C, maximum raw score: 13).

Neurological status

A neurological examination was conducted to rule out any medical condition which may explain motor dysfunction. The presence of Neurological Soft Signs (NSS) was also recorded. NSS are considered as minor neurological difference which reflected a non-optimal form of brain development, in the absence of evident neurological pathology. They have been found in various clinical settings, frequently in association with cognitive difficulties (Arnaud et al., 2007, Gong et al., 2015; Hertzog, 1981; Jong, Punt, Groot, Minderaa, & Hadders-Algra, 2011). NSS was assessed with a structured neurological examination based on the “Touwen’s examination of the child with minor neurological dysfunction” (Touwen, 1979). This includes 41 items, grouped in 8 domains: strength, sensitivity, balance, muscle tone, cranial nerve, praxis, ataxia, and excessive associated movements. Presence of multiple softs signs among these 8 domains have been grouped in a syndromic classification, comprising: cerebellar dysfunction, proprioceptive dysfunction, and pyramidal dysfunction.

Procedure

This research was approved by the Ethical Research Committee of XXX in March 16th, 2017 and the National Agency for Medicine and Health Products Safety (ANSM). This study has been registered in Clinicaltrials.gov (identifier: NCT03128125) prior to patient enrolment. Inclusion of participants started in April 2017 and finished in August 2018.

Participants were recruited using posters, flyers, local newspapers and radio advertisements. An interview was arranged by the researchers to provide more details and answer to the questions about the study and verify participant eligibility (inclusion and exclusion criteria). Moreover, information notes were delivered to parents and to children (age appropriate: writing note or comic to read with an adult). All participants (children and their parents) have given a written consent. All data providing from participants were fully anonymized. Children and parents were guarantees that they cannot be identified via any communication about the study.

The inclusion and exclusion criteria were checked by one of the researchers during an interview prior to the inclusion, to verify participant eligibility. Participants were invited to take part in the study at hospital. Inclusion and exclusion criteria were double-checked by the child neurologist the day of inclusion. The M-ABC-II rating scale was supplemented by parents the day of inclusion in the study. The anamnesis and the neurological examination were carried out by a pediatric neurologist or a final year pediatric neurologist student. Then, the neuropsychological assessment was conducted in the same hospital by a trained neuropsychologist and a student in her final years. The two students were specially trained in the standardized execution and evaluation of these research investigations.

3.3.4 Statistical analysis

Statistical analyses were performed using IBM SPSS® Statistics. Descriptive statistics were first calculated. The analysis of all over scores revealed that homogeneity of variances assumption could not be met (Levene's test) for: ROCF Time, MPS, BHK-C score, M-ABC-II checklist (Part C) and NSS. As a consequence, a Welch's correction was applied to all Students' t-test group comparisons. Cohen's d was systematically calculated for each group

comparisons. For ROCF categorical variable, Chi-square was used to test the frequencies difference of type I & II and type III & IV between our two groups.

Finally, partial correlations, controlling the variable age, were done to examine the relationship between performances-based and rating measures about motor skills for each group (IG children and TD children). In a review of raw data, there were not enough scores and sufficient variances in the BHK-A number of letters and score to calculate the correlation coefficients. This is stipulated as “Not Applicable” (NA) in the correlation matrixes (table 4 and table 5).

3.3.5 Results

Groups comparisons

Table 2. Praxis scores in Intellectually gifted children and Typically developing children

Measures	IG (n=30)	TD(n=35)	Value	p	Cohen's d
ROCF Score	28.6 (2.95)	28.3 (4.0)	t = 0.3	0.77	0.07
ROCF Time (sec)	203.7 (74.7)	243.9 (75.5)	t = -2.14	0.04*	-0.54
ROCF-PI	1.8 (3.0)	2.5 (3.3)	t = -0.86	0.4	-0.21
BHK-C score	15.9 (6.8)	12.2 (4.0)	t = 2.01	0.06	0.67
BHK-C number of letters	175.1 (85.2)	186.4 (72.3)	t = -0.45	0.66	-0.14
BHK-A score	11.2 (5.0)	8.4 (2.7)	t = 1.66	0.11	0.67
BHK-A number of letters	358.8 (63.3)	339.4 (80)	t = 0.65	0.52	0.27
RTU Score	9.3 (1.1)	8.97 (1.1)	t = 1.2	0.23	0.3
RTU Time	122.6 (45.9)	121.0 (42.3)	t = 0.15	0.88	0.04
MPS	8.2 (1.4)	7.0 (2.0)	t = 2.63	0.01*	0.65
MMS	52.17	53.51	t = -0.99	0.33	-0.25
IMP-F	50.33 (7.59)	48.36 (11.8)	t = 0.82	0.42	0.2
IMP-H	62.33 (10.14)	61.5 (13.9)	t = 0.28	0.78	0.07
PP Dominant hand	12.53	12.26	t = 0.53	0.6	0.13
PP Non dominant hand	11.37	11.11	t = 0.5	0.62	0.13
PP Both hands	12.17	11.94	t = 0.18	0.86	0.05
PP Assembly	30.33	31	t = -0.32	0.75	-0.08
M-ABC-II part A	1.87	0.74	t = 1.51	0.14	0.39
M-ABC-II part B	2.23	1.66	t = 0.65	0.52	0.16
M-ABC-II part C	4.83	1.46	t = 4.32	< .001**	1.1
Number of NSS	3.4 (2.9)	1.8 (2.2)	t = 2.45	0.02*	0.6

*: Significant difference at p < .05; ** Significant difference at p < .01;

(...): Standard deviation

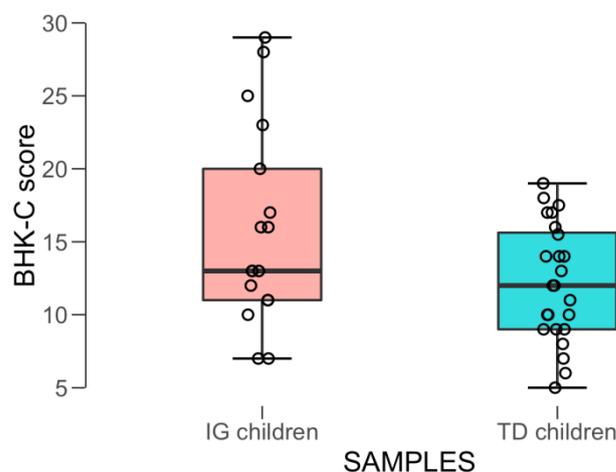
Measures: ROCF (-PI): Rey Osterrieth Complex Figure (Planification Index); BHK(-C, -A): Concise Evaluation Scale for Children Handwriting (-Children, -Adolescent); RTU : Real Tool Use; MPS: Mechanical Problem Solving; MMS: Manual Motor Sequences; IMP(-F, -H): Imitation of Meaningless Postures (-Fingers, -Hands); PP: Purdue Pegboard; M-ABC-II: Movement Assessment Battery for Children; NSS: Neurological Soft Signs.

Analyses of ROCF performances revealed 2 significant differences between the two samples. IG children copied faster the figure and used more often a “type 1 or 2” strategy than TD children who used preferentially a “type 3 or 4” strategy ($X^2(1) = 6.28, p = .01$). The two groups did not differ on the quality score of the copy. Neither group take advantage on the “execution condition” compared to the “formulation condition” in ROCF, with a Planification index comparable between IG and TD children. Only one statistical tendency was highlighted for BHK scores. This indicated that IG children whose have carried out the BHK-C (primary school children) tended to have a higher breakdown ranking than TD children, so their quality of writing tended to be lower than TD children. They had comparable results on the number of copied letters. Junior high school students (BHK-Ado) did not differ on quality of writing nor on number of letters copied.

Concerning real tool use, IG and TD children did not differ on the way to use effectively tools and time of manipulation. On MPS, IG children demonstrated higher scores, indicating that they executed more actions expected with the tools in order to solve mechanical problems than TD children did. IG children produced many sequences as TD children in MMS. They do equally well as TD in IMP. They had comparable performances on the PP, with their dominant hand, non-dominant hand, in bimanual and in assembly conditions. Analysis of the M-ABC-II parental checklist did not showed difference between the two groups in total score part A and Part B. Only a trend ($t(45.602) = 2, p = 0.051$) was evidenced for a subsection of part A “A1. Movement in a static environment: abilities in personal care”. However, IG children had superior score on part C “Non-motor factors”. Concerning neurological examination, IG children demonstrated more NSS than TD children. These concerned more items from proprioceptive ($t(39.24) = 2.55, p < .001$) and cerebellar ($t(39.24) = 2.55, p < .001$) syndromes.

As none of the neuropsychological performance-based measures achieved significance, and only the BHK-C score showed a trend ($p = .05$), it could be assumed that a few IG children demonstrated handwriting difficulties. Visual examination of BHK-C breakdown score could support this assumption (see figure 1), with widely dispersed scores in IG children than in TD children.

Figure 1. BHK-C score in IG and TD children



The boxplots display the interquartile range (minimum, first quartile, median, third quartile, and maximum). Each point represents a data.

Given the wide variation of the results on the BHK-C, special emphasis was given to IG children with the lowest score. Of the 17 IG children who had underwent the BHK-C, 4 had a breaking score falling superior to the 90 percent of TD children with the weakest scores, so they can be considered at risk of handwriting difficulties. Their results on all measures (neuropsychological and NSS) were compared to 24 TD children from the control group (excluding children who have done the BHK-Ado). So only the results of children aged from 80 to 134 months old were included in the analysis. Comparisons of each patient's scores with TD children were made using the procedure of Crawford and Garthwaite (2002) for comparing a single case with a control population.

Cases studies

The 4 children at risk for handwriting problem had systematically one (1 child), two (2 children) or three (1 child) impaired scores in M-ABC-II. Half of them had a Part B impaired score (“Movement in a dynamic environment”) and 3 out of 4 a Part A (“Movement in a static environment”) and Part C impaired scores (“Non motor factors”). In addition, 3 out of 4 IG children had significantly more NSS than the TD group. Case 4 had two impaired score in M-ABC-II and demonstrated lower performances in MMS, RTU time (slower) and with his non dominant hand in the PP test. Their results are presented in table 3.

Table 3. Praxis performances and NSS of 4 Intellectually Gifted children at high-risk of handwriting difficulties

Test	Measure	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
ROCF	Score	78.29	20.13	35.31	20.13
	Time	34.54	7.62	12.83	49.10
	PI	8.49	89.37	47.34	13.16
BHK-C	Score	99.98	99.96	99.96	99.25
	Number of letters	27.22	70.61	46.57	7.59
RTU	Score	57.61	86.25	57.61	57.61
	Time	71.02	34.20	41.66	96.43
MPS	Score	72.68	85.52 ^a	85.52 ^a	85.52 ^a
MMS	Total sequences	32.69	87.53	26.55	4.88
IMP-F	Score	13.93	13.93	34.11	13.93
IMP-H	Score	0.72	1.09	20.6	15.76
PP	Dominant hand	8.9	24.7	8.9	8.9
	Non dominant hand	36.67	57.94	57.94	2.95
	Both hands	21.62	40.42	27.25	47.6
	Assembly	17.88	89.9	26.69	13.23
M-ABC-II	Part A	99.98	100	66.78	99.98
	Part B	73.21	97.47	46.52	99.68
	Part C	97.92	99.81	99.56	76.87
NSS	Number	95.84	99.41	31.12	99.8

Measures: ROCF (-PI): Rey Osterrieth Complex Figure (Planification Index); BHK (-C, -A): Concise Evaluation Scale for Children Handwriting (-Children, -Adolescent); RTU : Real Tool Use; MPS: Mechanical Problem Solving; MMS: Manual Motor Sequences; IMP(-F, -H): Imitation of Meaningless Postures (-Fingers, -Hands); PP: Purdue Pegboard; M-ABC-II: Movement Assessment Battery for Children; NSS: Neurological Soft Signs.

Scores: percent of typical developing population falling below individual score

Scores in bold

^a maximum raw score was reached

Correlations analyses

Correlations analyses revealed different links between performance-based measures and parents' ratings of motor ADL, according to the population (TD children, IG children). In the TD sample (table 4), some performance-based measures are correlated to parents rating scale, including ROCF (score) with Total Part A (and especially A1, A3) of the M-ABC-II, and MPS with Total Part B (but also B1, B2 and B3). Measures of Real tool use (time and score) correlated with Total part B, including B1 and B3 for time, but also B2 for score. Correlations were found between IMP-F and total B, B1, B3 but also between IMP-H and B1. All these correlations were negative, except between IMP-H and B1. As with TD sample, IG children demonstrate negative correlation between ROCF score and A3, B3, but also between ROCF Time and B1 (table 5). Negative correlations were found between ROCF planning index and B3, between IMP-F and Total A (comprising A1, A2, A3) and Total B (B1, B2) and between IMP-H and Total A, A1, A2, A3, B1. Contrary to TD sample, numerous positive correlations were found between BHK-C score and M-ABC-II (Total A, A1, A2, Total B, B1), NSS and M-ABC-II (Total A, A1, A2, A3, Total B, B2), MPS with A1, PP Assembly condition with B3.

Table 4. Partial correlation matrix of performance-based measures, NSS and M-ABC-II parents rating scores in the Typically Developing sample

	Total A	A1	A2	A3	Total B	B1	B2	B3	Total C
ROCF Score	-.542*	-.553*	-.406	-.579**	-.258	-.232	-.282	-.116	-0.44
ROCF Time	-.218	-.258	-.087	-.292	-.167	-.347	-.064	-.155	-.114
ROCF-PI	-.011	-.034	-.098	.198	.002	-.067	.020	.042	.143
BHK-C score	.167	.199	-.015	.366	.004	.001	-.014	.057	.366
BHK-C letters	-.158	.208	-.080	-.136	-.174	-.214	-.139	-.147	-.188
BHK-A score	.096	NA	.096	NA	.096	NA	.096	NA	.414
BHK-A letters	-.355	NA	-.355	NA	-.355	NA	.355	NA	.019
Real tool use Score	.121	.213	.049	.008	-.570*	-.466*	-.520*	-.616**	-.380
Real tool use Time	-.186	-.236	-.184	-.017	-.492*	-.570**	-.361	-.561*	-.208
Mechanical Problem Solving	-.097	-.014	-.144	-.159	-.631**	-.602**	-.569**	-.583**	-.279
Manual Motor Sequences	-.288	-.275	-.245	-.298	-.317	-.202	-.405	-.087	.001
IMP Fingers	-.067	-.101	-.169	.215	-.449*	-.464*	-.359	-.499*	-.198
IMP Hands	.11	.1	.03	.239	.32	.481*	.159	.434	.318
PP Dominant hand	-.209	-.259	-.194	-.057	-.276	-.280	-.239	-.262	-.207
PP Non dominant hand	-.023	.001	-.042	-.033	-.326	-.255	-.332	-.264	-.054
PP Both hands	-.020	.006	-.072	.024	-.076	.111	-.156	-.060	.092
PP Assembly	-.334	-.335	-.341	-.208	-.424	-.294	-.421	-.429	-.388
NSS	-.416	-.115	-.134	-.186	-.277	-.176	-.315	-.188	.227

Measures (columns) of the Movement Assessment Battery for Children (M-ABC-II): Total A) Movement in a static environment; A1) Abilities in personal care, A2) Abilities in classroom, A3) Abilities in physical education or recreation; Total B) Movement in a dynamic environment; B1) Abilities in personal care, B2) Control the ball, B3) Abilities in physical education or recreation; C) Non-motor factor.

Measures (rows): ROCF (-PI): Rey Osterrieth Complex Figure (Planification Index); BHK (-C, -A): Concise Evaluation Scale for Children Handwriting (-Children, -Adolescent); IMP: Imitation of Meaningless Postures; PP: Purdue Pegboard; NSS: Neurological Soft Signs.

Note: NA: Not Applicable; *: $p < .05$; **: $p < .01$

Table 5. Partial correlation matrix of performance-based measures, NSS and M-ABC-II parents rating scores in the Intellectually Gifted sample

	Total A	A1	A2	A3	Total B	B1	B2	B3	Total C
ROCF Score	-.426	-.303	-.320	-.536*	-.346	-.233	-.280	-.551*	-.491
ROCF Time	-.411	-.254	-.411	-.439	-.497	-.619*	-.343	-.333	-.399
ROCF-PI	.016	-.167	.226	-.044	-.017	-.135	-.063	.559*	.334
BHK-C score	.617*	.574*	.611*	.480	.589*	.585*	.501	.302	.499
BHK-C letters	-.186	-.280	-.121	-.110	-.118	-.005	-.235	.335	.125
BHK-A score	.107	.137	NA	-.053	.447	.327	.338	.242	.395
BHK-A letters	-.470	-.513	NA	.029	-.087	-.490	.355	-.064	-.152
Real tool use Score	.252	.275	.251	.155	.390	.394	.297	.366	-.077
Real tool use Time	-.043	-.011	-.061	-.042	.223	.183	.220	.055	-.055
Mechanical Problem Solving	.410	.556*	.138	.448	.357	.093	.482	.886	.785
Manual Motor Sequences	.119	.027	.242	.036	-.059	.100	-.157	.102	-.056
IMP Fingers	-.763**	-.754**	-.654**	-.664**	-.606*	-.592*	-.558*	-.118	-.362
IMP Hands	-.791***	-.696**	-.746***	-.697**	-.495	-.531*	-.396	-.276	-.362
PP Dominant hand	-.151	-.026	-.200	-.173	.238	.102	.326	-.161	-.442
PP Non dominant hand	-.173	-.184	-.121	-.167	-.059	-.123	.022	-.235	.199
PP Both hands	-.096	-.109	-.151	.006	-.031	-.170	.052	-.056	-.321
PP Assembly	.447	.266	.503	.425	.279	.179	.192	.637*	.102
NSS	.657**	.654**	.552*	.578*	.600*	.409	.585*	.425	-.054

Measures (columns) of the Movement Assessment Battery for Children (M-ABC-II): Total A) Movement in a static environment: A1) Abilities in personal care, A2) Abilities in classroom, A3) Abilities in physical education or recreation; Total B) Movement in a dynamic environment: B1) Abilities in personal care, B2) Control the ball, B3) Abilities in physical education or recreation; C) Non-motor factor.

Measures (rows): ROCF (-PI): Rey Osterrieth Complex Figure (Planification Index); BHK (-C, -A): Concise Evaluation Scale for Children Handwriting (-Children, -Adolescent); IMP: Imitation of Meaningless Postures; PP: Purdue Pegboard; NSS: Neurological Soft Signs.

Note: NA: Not Applicable; *: p<.05; **: p<.01; ***: p<.001

3.3.6 Discussion

This study tested the assumption of motor difficulty in IG children compared to a TD sample. We assumed that this would be evidenced by a comprehensive performance-based assessment theoretically driven and by ecological measures through a parent's rating of motor abilities in ADL.

Our first assumption is not confirmed, as IG children showed many comparable results to TD children in motor abilities such as visuo-constructional skills (accuracy), dexterity, ideomotor praxis, motor sequencing and tool use. Only a trend was found for the quality of writing in school-aged children. IG children would appear as a heterogeneous population, with widely distributed scores. Four of the IG children (about 23.5% of the school-age sample) present significant lower handwriting score. They pool nearly alone the most parental complaints over the whole IG sample, in various domains of motor ADL. Especially, they are not only concerned by the impact of “other factors” in motor activities, as suggested by the group comparisons, but also by authentic movements difficulties in a static (for 3 of them) or a dynamic (for two of them) environment. Moreover, most of them showed a significant number of NSS (3/4) compared to other IG (2/13) and TD (2/24) school-age children. Moreover, cases studies revealed common associations between poor handwriting performance, parental complaints and presence of NSS. This can argue for a specific profile of motor functioning in a few IG children. Handwriting problem is a common complaint in clinical practice with IG children referred for learning disabilities or underachievement that deserves attention.

Although IG did not differ on neuropsychological performance-based measures compared to TD children, our results confirm the presence of problems in motor ADL, as reported by parents. According to them, these are attributable to non-motor factors, such as anxiety, impulsiveness, etc. These results are quite surprising, as the literature indicate no more anxiety (Guénolet et al., 2013) and depression (Francis et al., 2016) or attentional symptoms (Rommelse et al., 2016) in IG than in TD children. Our results could rather indicate that parents feel that their child's attitudes in motor tasks are not so comfortable as expected, or are not as well as their higher general ability may suggested. This assumption can be supported by the performance-based measures, since IG perform as well as their TD peers with intelligence in average and did not outperform them in the motor domain. Moreover, about half of the IG sample bypassing a class to a higher level which may lead to compared them to older children and increased adult's expectation. However, motor maturation in IG seems to be in accordance with their chronological age.

Correlations between performance-based measures and parental reporting about motor functioning in ADL were expected to be negative. Indeed, the more children success on direct measures of motor abilities, the more children do not encounter difficulties in daily life. This assumption is confirmed in the TD sample. However, many positive correlations are finding in the IG sample. In fact, the more IG children had poorer handwriting skills and lower ideomotor praxis scores, the more motor difficulties are reported in daily life. This is also true for complaints in daily motor functioning and the number of NSS in IG children.

Beyond the assumptions tested in this study, some unexpected results require attention. Group comparisons revealed higher performances of IG children in some motor domains, such as a faster copy of the ROCF and the frequent use of a more mature strategy. IG children

have also better performance on MPS, as they solved more problems than TD children. These two tasks share the common characteristic to put the emphasis on planning skills. In both tests, the ultimate goal for the child is to shape a plan and breaking the problem down into steps, in order to achieve it. It is likely that these good performances are more due to a higher executive functioning than to more efficient motor abilities. It is accepted that non-motor functions, such as executive functions (EFs) (planning), play a part in motor skills and must be taken into consideration (Osiurak, 2016). This is especially important in the context of IG children, as EFs are considered as be superior in people with high intelligence (Ardila, Pineda, & Rosselli, 2000; Arffa, 2007).

Taken together, results of this study provide an empirical support to the assumption of developmental discrepancies between intellectual and motor levels in IG children. Their motor development is comparable to those of TD children in many performance-based measures (contrary to their intelligence level), and superior for motor tasks involving superior cognitive functions such as planning. Moreover, difficulties are reported by parents in motor ADL and some of the gifted school-age children are prone to develop handwriting difficulties. In view of the theoretical framework adopted (Roy & Square, 1985), IG present are more likely to be concerned by a production system deficit rather than a conceptual system deficit.

The identification of an association between NSS and other cognitive or motor impairments is generally considered as of clinical significance (van Hoorn et al., 2010) and useful for identifying children at risk for long-term neurodevelopmental problems (Broström et al., 2018). The co-occurrence of such signs in some of IG children suggests that a few of them may be concerned by a singular neurodevelopmental trajectory which may foster motor difficulties, such as poor handwriting abilities. An examination by a multi-professional team should be done in the case of learning or developmental difficulties in this population. As

poor handwriting abilities has been identified as a factor of underachievement in high-IQ children, it deserves to be thoroughly assessed (with performance-based measures, parental report and neurological examination) and considered.

The main limitations of the study arise from the fact that sample sizes were small and from a potential recruitment bias. As previously noticed in other studies, parents who were more motivated were more likely to participate, contrary to children in high-risk families, less likely to be identified and assessed as IG children, and hence less likely to participate to this study (Morawska & Sanders, 2008). Moreover, children with special features (from learning and conduct problems to academic success) are more likely to be referred to psychologist and therefore identified as having a high-IQ, than children featureless (Gauvrit, 2015). For these reasons, the IG sample may not be completely representative of the IG children overall population, but rather only a part. Another limitation concerns the intellectual assessment. Ethical committee did not approve the IQ assessment of voluntaries, so researchers could not directly assess the participants. Only IG children already assessed by a psychologist external to the study who could attest to an $IQ \geq 130$ could be included in the IG sample. A few subtests of the WISC-V were administered to TD children, to ensure that they globally not deviated from the average range.

New analyses would be necessary to further explore the exact reasons why parents feel children uncomfortable with motor ADL. As the “non-motor factors” of the rating scale used is a hodgepodge of anxiety, attention and conduct problems items, these different aspects must be clarified. Addition of a teacher rating scale can be useful to provide another point of view of children motor abilities, as they can directly observe children in a variety of physical activities. Lastly, it might be interesting to conduct a longitudinal study in order to evaluate

handwriting ability of school-age IG at a later stage, since older IG children of our sample did not differ from the TD sample. A reassessment of NSS would be useful, as some researchers considered their persistence during development as of higher clinical significance than the number of NSS (van Hoorn et al., 2013).

To conclude, our study goes against the widespread view that children with high-IQ outperformed TD children in all developmental domains. IG children were more concerned by motor problem in motor ADL than TD children, according to parents' report. Despite a high-level of intelligence, their results in motor performance-based measures are mostly comparable to TD children. Some of them even present impairment, affecting mostly handwriting skills. Development of this ability should receive particular attention, since students spent amount of time to write at school, and because it is a well-established risk factor for underachievement in high-IQ children (Stoeger et al., 2008; Stoeger et al., 2013; Stoeger & Ziegler, 2013). IG children at risk for handwriting problem also showed more NSS at the neurological examination, and more parental complaints about their motor daily activities than TD children.

Early identification of such difficulties allows for earlier intervention and limit underachievement risk. Multidisciplinary consultation is relevant for IG children, including a neuropsychological and a neurological examination, as it may guide the choice of intervention. In some case, writing skills may be improved by practice and simplification of the writing task. In other cases, when handwriting difficulties are associated with many NSS, or when the intervention did not improve handwriting skills, the use of a computer at school could be helpful.

Acknowledgments

Authors would like to thank parents and children who participated to this study. We also want to thank the Principal of Primary school, the psychologists from the Ministry of Education and from the catholic education for their involvement in recruitment of study participants.

Funding

This work was supported by the Fondation DANA “Fondation Bretonne pour l’enfance” (Brest, France) under the aegis of the Fondation de France.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

3.3.7 References

- Ardila, A., Pineda, D., & Rosselli, M. (2000). Correlation between intelligence test scores and executive function measures. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *15*(1), 31-36.
<https://doi.org/10.1093/arclin/15.1.31>
- Arffa, S. (2007). The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *22*(8), 969-978.
<https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.001>
- Arnaud, C., Daubisse-Marliac, L., White-Koning, M., Pierrat, V., Larroque, B., Grandjean, H., Alberge, C., Marret, S., Burguet, A., Ancel, P.-Y., Supernant, K., & Kaminski, M. (2007). Prevalence and associated factors of minor neuromotor dysfunctions at age 5 years in prematurely born children: The EPIPAGE study. *Archives of Pediatrics &*

- Adolescent Medicine*, 161(11), 1053-1061.
<https://doi.org/10.1001/archpedi.161.11.1053>
- Beck, S. R., Apperly, I. A., Chappell, J., Guthrie, C., & Cutting, N. (2011). Making tools isn't child's play. *Cognition*, 119(2), 301-306.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.01.003>
- Berk, R. L. (1957). *A comparison of performance of subnormal, normal, and gifted children on the Oseretsky Tests of Motor Proficiency* (Doctoral dissertation). Boston University. Retrieved from <https://open.bu.edu/handle/2144/13327>
- Blank, R., Barnett, A. L., Cairney, J., Green, D., Kirby, A., Polatajko, H., Rosenblum, S., Smits-Engelsman, B., Sugden, D., Wilson, P., & Vinçon, S. (2019). International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 61(3), 242-285.
<https://doi.org/10.1111/dmcn.14132>
- Broström, L., Vollmer, B., Bolk, J., Eklöf, E., & Ådén, U. (2018). Minor neurological dysfunction and associations with motor function, general cognitive abilities, and behaviour in children born extremely preterm. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 60(8), 826-832. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13738>
- Burger, C. M. (1985). *Comparison of motor skills between gifted and normal children*. Retrieved from ProQuest Information & Learning. (1985-53484-001).
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=1985-53484-001&lang=fr&site=ehost-live>
- Calero, M. D., García-Martín, M. B., Jiménez, M. I., Kazén, M., & Araque, A. (2007). Self-regulation advantage for high-IQ children : Findings from a research study. *Learning*

- and *Individual Differences*, 17(4), 328-343.
<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.03.012>
- Carman, C. A. (2013). Comparing apples and oranges : Fifteen years of definitions of giftedness in research. *Journal of Advanced Academics*, 24(1), 52-70.
<https://doi.org/10.1177/1932202X12472602>
- Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J. M. (2004). *BHK - Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant*. Edition du Centre de Psychologie Appliquée.
- Costini, O., Roy, A., Faure, S., & Le Gall, D. (2013). La dyspraxie développementale : Actualités et enjeux. *Revue de neuropsychologie*, 5(3), 200-212.
<https://doi.org/10.3917/rne.053.0200>
- Cramer, G., & Darby, S. (2014). *Clinical Anatomy of the Spine, Spinal Cord, and Ans*. Saint Louis, MO: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-42801-0>
- Crawford, J. R., & Garthwaite, P. H. (2002). Investigation of the single case in neuropsychology : Confidence limits on the abnormality of test scores and test score differences. *Neuropsychologia*, 40(8), 1196-1208. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00224-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00224-X)
- Dewey, D. (1995). What is developmental dyspraxia. *Brain and Cognition*, 29(3), 254-274.
<https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1281>
- Douthitt, V. L. (1992). A comparison of adaptive behavior in gifted and nongifted children. *Roeper Review*, 14(3), 149-151. <https://doi.org/10.1080/02783199209553410>
- Fancher, L. A., Priestley-Hopkins, D. A., & Jeffries, L. M. (2018). Handwriting acquisition and intervention: A systematic review. *Journal of Occupational Therapy, Schools, & Early Intervention*, 11(4), 454-473. <https://doi.org/10.1080/19411243.2018.1534634>
- Fleishman, E. A., & Ellison, G. D. (1962). A factor analysis of fine manipulative tests. *Journal of Applied Psychology*, 46(2), 96-105. <https://doi.org/10.1037/h0038499>

- Francis, R., Hawes, D. J., & Abbott, M. (2016). Intellectual giftedness and psychopathology in children and adolescents : A systematic literature review. *Exceptional Children*, 82(3), 279-302. <https://doi.org/10.1177/0014402915598779>
- Frisk, V., Jakobson, L. S., Knight, R. M., & Robertson, B. (2005). Copy and recall performance of 6–8-year-old children after standard vs. Step-by-step administration of the Rey-Osterrieth Complex Figure. *Child Neuropsychology*, 11(2), 135-152. <https://doi.org/10.1080/092970490911289>
- Gall, D. L., Etcharry-Bouyx, F., & Osiurak, F. (2012). Les apraxies : Synthèse et nouvelles perspectives. *Revue de neuropsychologie*, 4(3), 174-185. <https://doi.org/10.1684/nrp.2012.0229>
- Gauvrit, N. (2015). Précocité intellectuelle : Un champ de recherches miné. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 132/133, 1-6.
- Gil, R. (2018). *Neuropsychologie* (7th edition). Elsevier Masson.
- Gong, J., Xie, J., Chen, G., Zhang, Y., & Wang, S. (2015). Neurological soft signs in children with attention deficit hyperactivity disorder: Their relationship to executive function and parental neurological soft signs. *Psychiatry Research*, 228(1), 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.04.017>
- Guénolé, F., Louis, J., Creveuil, C., Montlahuc, C., Baleyte, J.-M., Fournieret, P., & Revol, O. (2013). Étude transversale de l'anxiété trait dans un groupe de 111 enfants intellectuellement surdoués. *L'Encéphale*, 39(4), 278-283. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2013.02.001>
- Henderson, S. E., Sugden, D. A., & Barnett, A. (2007). *Movement Assessment Battery for Children—Second Edition (M-ABC-2)*. London, UK: The Psychological Corporation.

- Jarry, C., Osiurak, F., Delafuys, D., Chauviré, V., Etcharry-Bouyx, F., & Le Gall, D. (2013). Apraxia of tool use: More evidence for the technical reasoning hypothesis. *Cortex*, 49(9), 2322-2333. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.02.011>
- Jong, M. D., Punt, M., Groot, E. D., Minderaa, R. B., & Hadders- Algra, M. (2011). Minor neurological dysfunction in children with autism spectrum disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53(7), 641-646. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.03971.x>
- Knepper, W., Obrzut, J. E., & Copeland, E. P. (1983). Emotional and social problem-solving thinking in gifted and average elementary school children. *The Journal of Genetic Psychology*, 142(1), 25-30. <https://doi.org/10.1080/00221325.1983.10533492>
- Knoff, H. M., & Sperling, B. L. (1986). Gifted children and visual-motor development : A comparison of Bender-Gestalt and VMI test performance. *Psychology in the Schools*, 23(3), 247-251. psych. [https://doi.org/10.1002/1520-6807\(198607\)23:3<247::AID-PITS2310230303>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1520-6807(198607)23:3<247::AID-PITS2310230303>3.0.CO;2-Y)
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2012). *NEPSY-II: a developmental neuropsychological assessment* (2nd edition). Harcourt Assessment.
- Liratni, M., Wagner, A., & Pry, R. (2012). Performances d'écriture de 12 enfants à haut potentiel intellectuel. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 116, 86-94.
- Lussier, F., Chevrier, E., & Gascon, L. (2018). *Neuropsychologie de l'enfant - 3e éd. : Troubles développementaux et de l'apprentissage*. Paris : Dunod.
- Marquet-Doléac, J., Soppelsa, R., & Albaret, J. M. (2016). *MABC-2: Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant* (2nd edition). Paris, France: Edition du Centre de Psychologie Appliquée.

- Morawska, A., & Sanders, M. R. (2008). Parenting gifted and talented children : What are the key child behaviour and parenting issues ? *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 42(9), 819-827. <https://doi.org/10.1080/00048670802277271>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Olive, T., & Kellogg, R. T. (2002). Concurrent activation of high- and low-level production processes in written composition. *Memory & Cognition*, 30(4), 594-600. <https://doi.org/10.3758/BF03194960>
- Osiurak, F. (2016). *Apraxie et troubles d'utilisation d'outils : « Que sais-je ? » n° 4063*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Osiurak, F., Jarry, C., Lesourd, M., Baumard, J., & Le Gall, D. (2013). Mechanical problem-solving strategies in left-brain damaged patients and apraxia of tool use. *Neuropsychologia*, 51(10), 1964-1972. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.017>
- Osterrieth, P. A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution à l'étude de la perception et de la mémoire. *Archives de Psychologie*, 30, 206-356.
- Overvelde, A., & Hulstijn, W. (2011). Handwriting development in grade 2 and grade 3 primary school children with normal, at risk, or dysgraphic characteristics. *Research in Developmental Disabilities*, 32(2), 540-548. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.12.027>
- Peyre, H., Charkaluk, M.-L., Forhan, A., Heude, B., & Ramus, F. (2017). Do developmental milestones at 4, 8, 12 and 24 months predict IQ at 5–6 years old? Results of the EDEN mother–child cohort. *European Journal of Paediatric Neurology*, 21(2), 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.11.001>

- Remigereau, C., & Costini, O. (2018). Approche neuropsychologique du trouble développemental de la coordination. In G. Aubin, A. Roy, B. Guillery-Girard & C. Mayor-Dubois (Eds.), *Neuropsychologie de l'enfant: Approches cliniques, modélisations théoriques et méthodes*. De Boeck Supérieur.
- Remigereau, C., Roy, A., Costini, O., Barbarot, S., Bru, M., & Le Gall, D. (2018). Praxis skills and executive function in children with neurofibromatosis type 1. *Applied Neuropsychology: Child*, 7(3), 224-234.
<https://doi.org/10.1080/21622965.2017.1295856>
- Remigereau, C., Roy, A., Costini, O., Osiurak, F., Jarry, C., & Le Gall, D. (2016). Involvement of technical reasoning more than functional knowledge in development of tool use in childhood. *Frontiers in Psychology*, 7.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01625>
- Rey, A. (1959). *Test de copie et de reproduction de mémoire de figures géométriques complexes*. Paris, France: Centre de psychologie appliquée.
- Rommelse, N., van der Kruis, M., Damhuis, J., Hoek, I., Smeets, S., Antshel, K. M., Hoogeveen, L., & Faraone, S. V. (2016). An evidenced-based perspective on the validity of attention-deficit/hyperactivity disorder in the context of high intelligence. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 71, 21-47.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.08.032>
- Roy, A., Roulin, J.-L., Charbonnier, V., Allain, P., Fasotti, L., Barbarot, S., Stalder, J.-F., Terrien, A., & Le Gall, D. (2010). Executive dysfunction in children with neurofibromatosis type 1: A study of action planning. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(6), 1056-1063.
<https://doi.org/10.1017/S135561771000086X>

- Roy, E. A. (1996). Hand preference, manual asymmetries, and limb apraxia. In D. Elliott & E.A. Roy (Eds.), *Manual asymmetries in motor performance* (pp. 215-236). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Roy, E. A., & Square, P. A. (1985). Common considerations in the study of limb, verbal and oral apraxia. *Advances in Psychology*, *23*, 111-161. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61139-5](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61139-5)
- Santamaria, M., & Albaret, J.-M. (1996). Troubles graphomoteurs chez les enfants d'intelligence supérieure. *Evolutions Psychomotrices*, *8*(33), 125-132.
- Schofield, N. J., & Ashman, A. F. (1987). The cognitive processing of gifted, high average and low average ability students. *British Journal of Educational Psychology*, *57*(1), 9-20. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1987.tb03056.x>
- Shapiro, B. K., Palmer, F. B., Antell, S. E., Bilker, S., Ross, A., & Capute, A. J. (1989). Giftedness: Can it be predicted in infancy? *Clinical Pediatrics*, *28*(5), 205-209. <https://doi.org/10.1177/000992288902800501>
- Silverman, L. K. (1997). The construct of asynchronous development. *Peabody Journal of Education*, *72*(3-4), 36-58.
- Smits-Engelsman, B., & Hill, E. L. (2012). The relationship between motor coordination and intelligence across the IQ range. *Pediatrics*, *130*, e950. <https://doi.org/10.1542/peds.2011-3712>
- Soppelsa, R., & Albaret, J. M. (2013). *BHK ADO - Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'adolescent*. Paris, France: Pearson - Edition du Centre de Psychologie Appliquée.
- Stamenova, V., Black, S. E., & Roy, E. A. (2012). An update on the conceptual-production systems model of apraxia: evidence from stroke. *Brain and cognition*, *80*(1), 53-63.

- Stoeger, H., Suggate, S., & Ziegler, A. (2013). Identifying the causes of underachievement: A plea for the inclusion of fine motor skills. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 55(3), 274-288.
- Stoeger, H., & Ziegler, A. (2013). Deficits in fine motor skills and their influence on persistence among gifted elementary school pupils. *Gifted Education International*, 29(1), 28-42. <https://doi.org/10.1177/0261429412440649>
- Stoeger, H., Ziegler, A., & Martzog, P. (2008). Deficits in fine motor skill as an important factor in the identification of gifted underachievers in primary school. *Psychology Science Quarterly*, 50(2), 134-146.
- Terman, L. M. (1926). *Genetic studies of genius : Mental and physical traits of a thousand gifted children (2nd edition)*. Volume 1. Stanford, CA: Stanford University Press. <http://archive.org/details/geneticstudiesof009044mbp>
- Terrassier, J.-C. (2009). Les enfants intellectuellement précoces. *Archives de Pédiatrie*, 16(12), 1603-1606. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2009.07.019>
- Tiffin, J., & Asher, E. J. (1948). The Purdue Pegboard: Norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology*, 32(3), 234-247. <https://doi.org/10.1037/h0061266>
- Touwen, B. C. L. (1979). *Examination of the child with Minor Neurological Dysfunction*. Volume 71. London: Heinemann Medical Books.
- Vaivre-Douret, L. (2004). Les caractéristiques développementales d'un échantillon d'enfants tout venant à hautes potentialités (surdoués): Suivi prophylactique. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 52(3), 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2004.01.006>

- Vaivre-Douret, L. (2011). Developmental and cognitive characteristics of “high-level potentialities” (highly gifted) children. *International Journal of Pediatrics*.
<https://doi.org/10.1155/2011/420297>
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., & Golse, B. (2016). Developmental coordination disorder, an umbrella term for motor impairments in children: Nature and co-morbid disorders. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00502>
- van Hoorn, J. F., Maathuis, C. G. & Hadders-Algra, M. (2013). Neural correlates of paediatric dysgraphia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(s4), 65-68.
<https://doi.org/10.1111/dmcn.12310>
- van Hoorn, J. F., Maathuis, C. G., Peters, L. H., & Hadders-Algra, M. (2010). Handwriting, visuomotor integration, and neurological condition at school age. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 52(10), 941-947. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03715.x>
- Yates, C. M., Berninger, V. W., & Abbott, R. D. (1995). Specific writing disabilities in intellectually gifted children. *Talents and Gifts*, 18(2), 131-155.
<https://doi.org/10.1177/016235329501800203>
- Ziegler, A., & Stoeger, H. (2010). How fine motor skills influence the assessment of high abilities and underachievement in math. *Journal for the Education of the Gifted*, 34(2), 195-219.

3.4 Article III

Étude du fonctionnement exécutif des enfants à haut potentiel intellectuel

Ce texte est la reproduction d'un article publié :

Bucaille, A., Kergroach, C., Allard, J., Jarry, C., Brochard, S., Brosseau-Beauvir, A. Peudenier, S. & Roy, A. (2020). Étude du fonctionnement exécutif des enfants à haut potentiel intellectuel. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 167, 471-478.

ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT EXECUTIF DES ENFANTS A HAUT POTENTIEL INTELLECTUEL

Aurélie Bucaille^{1,2}, Céline Kergroach¹, Justine Allard³, Christophe Jarry², Sylvain
Brochard^{4,5,6}, Adélaïde Brosseau-Beauvir^{1,4}, Sylviane Peudenier¹, Arnaud Roy^{2,7}

¹ Centre de référence des troubles des apprentissages, Centre Hospitalier Régional
Universitaire, Brest, France.

² Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (EA 4638), Université d'Angers, France.

³ Institut Médico-Educatif « l'Estuaire », Saint-Brévin-les-Pins, France.

⁴ Service de Soins de Suite et Réadaptation Pédiatrique, Fondation ILDYS, Brest, France.

⁵ Service de médecine physique et de réadaptation, Centre Hospitalier Régional Universitaire,
Brest, France.

⁶ Laboratoire de traitement de l'information médicale (LaTIM), INSERM UMR 1101, Brest,
France.

⁷ Centre de référence des troubles des apprentissages, Centre Hospitalier Universitaire,
Nantes, France.

Correspondance : Aurélie Bucaille, Centre de référence des troubles des apprentissages, 2
avenue Foch, 29609 Brest Cedex (aurelie.bucaille@chu-brest.fr).

ORCID : 0000-0001-5464-5005.

3.4.1 Résumé

L'hypothèse d'un dysfonctionnement exécutif chez les enfants à haut potentiel a été suggérée par certains auteurs mais reste contre-intuitive en regard des données internationales. Cette étude visait à examiner plus précisément cette question. Sur les 28 participants ($QIT \geq 130$), seul l'un d'entre eux présente des scores déficitaires touchant l'ensemble des fonctions exécutives (FE). Cette population n'apparaît donc pas particulièrement à risque de développer un trouble des FE.

Mots clés : Haut potentiel intellectuel - Haut QI - Fonctions exécutives - Neuropsychologie.

Summary

The assumption of an executive dysfunction in gifted children has been suggested by some authors but it remains counterintuitive regarding international data. This study aimed at assessing this question more exactly. Out of 28 participants ($FSIQ \geq 130$), only one of them had impaired scores in all executive functions (EF). Thus this population does not appear as being prone to develop an executive dysfunction.

Key words: Gifted - High IQ – Executive functions - Neuropsychology

3.4.2 Introduction

Enfant « surdoué », « précoce » ou à « Haut Potentiel Intellectuel » (EHPI), différentes appellations se sont succédé au cours de ces dernières décennies pour désigner des enfants ayant des capacités intellectuelles supérieures. Il n'existe cependant pas toujours de consensus quant à la définition du haut potentiel intellectuel, si ce n'est que ces personnes présenteraient une (ou des) performance(s) très supérieure(s) dans un ou plusieurs domaines plus ou moins définis (Delaubier, 2002). En fonction des critères retenus, 10 à 15% de la population pourrait être identifiée comme à HPI, voire bien plus, selon le cut-off (seuil utilisé) et le nombre d'aptitudes ou de domaines pris en compte (McBee & Makel, 2019). La mesure de l'intelligence, et plus particulièrement le QI (Quotient Intellectuel), reste cependant le critère le plus souvent adopté pour déterminer un haut potentiel, avec un seuil fixé à 130 dans la plupart des recherches internationales (Caroff, 2004 ; Grégoire, 2012). Se basant sur ce seuil, 2,3% des enfants d'un âge donné seraient donc (par définition) statistiquement considérés comme à haut potentiel intellectuel.

Cette définition variable du haut potentiel intellectuel impacte nécessairement la pratique des cliniciens, mais aussi l'avancée de la recherche. La diversité des méthodologies employées pour l'étude des EHPI (critères, mesures et seuil pour l'identification) est telle qu'il reste difficile de généraliser les résultats des études à l'ensemble de la population d'EHPI (Gauvrit, 2015 ; Terriot, 2018). Pour autant, les publications sur les EHPI sont de plus en plus nombreuses et le sujet, de plus en plus médiatisé, comme en témoigne le numéro spécial ANAE « Haut potentiel : mise au point » paru en 2018. Les études empiriques visant à décrire le fonctionnement cognitif de ces enfants restent néanmoins relativement rares.

On note cependant que dès les années 1970, la notion de « dyssynchronie » (Terrassier, 2018) est introduite pour évoquer l'hétérogénéité du développement de ces enfants, notamment entre le domaine de l'intelligence (supérieure) et les secteurs psychomoteur ou social dans lesquels ils seraient moins « avancés ». Plus récemment, ce concept a été transposé à leur profil intellectuel, en raison de l'hétérogénéité de leurs résultats aux échelles d'intelligence de Wechsler. Plusieurs études ont ainsi rapporté un potentiel verbal supérieur au potentiel non verbal, lui-même supérieur à l'échelle de mémoire de travail et de vitesse de traitement (Bessou et al., 2005 ; Wechsler et al., 2016 ; Wilkinson, 1993). Ces dispersions sont explicables par un phénomène statistique de régression vers la moyenne et ne signent pas un fonctionnement cognitif qualitativement différent (Labouret & Grégoire, 2018).

Certains auteurs interprètent cependant ce phénomène comme une particularité du profil des EHPI, qui pourrait avoir une signification clinique. Ainsi, les différences de performances sur le plan inter-scalaire, ou encore les moindres performances à certains des subtests des échelles d'intelligence chez les EHPI, sont parfois expliquées par la présence de difficultés attentionnelles ou évocatrices d'un trouble du contrôle exécutif (Loureiro et al., 2009 ; Vaivre-Douret, 2004). Parallèlement à ces études, toute une terminologie singulière s'est développée pour décrire le fonctionnement supposé des EHPI : par exemple, « pensée en arborescence », « diffluence », « fulgurance » (Louis, 2014 ; Robert et al., 2010 ; Siaud-Facchin, 2012). Cette littérature, majoritairement française, offre une description des EHPI telle qu'elle est souvent rencontrée dans le syndrome dysexécutif ou le Trouble Déficitaire de l'Attention (TDA/H), comme le défaut d'inhibition (« s'empêcher de » répondre trop vite, de laisser ses pensées jaillir), de planification (comment procéder ? comment organiser les étapes pour parvenir au but ?) et de contrôle (l'objectif fixé a-t-il été atteint ?) (Roy et al., 2012).

Les fonctions exécutives (FE) correspondent à différents processus de contrôle de haut-niveau, qui permettent au sujet de s'adapter à son environnement (Van der Linden et al., 2000). Elles interviennent lorsque les routines d'actions ne permettent pas d'apporter une réponse appropriée à la situation. Elles sont impliquées dans l'adaptation de nos réponses aux stimuli environnementaux, l'anticipation des objectifs de l'action et son contrôle, ou encore le changement flexible des comportements lorsque ceux-ci ne sont plus pertinents. Leur fonctionnement est principalement sous-tendu par le cortex préfrontal (Mace et al., 2019). Ces fonctions vont progressivement se différencier les unes des autres au cours du développement (Karr et al., 2018). Le modèle de Diamond (2013), prévoit une autonomisation progressive de la mémoire de travail et de l'inhibition, puis de la flexibilité mentale, avant que les composantes de plus haut-niveau comme la planification, le raisonnement, et la résolution de problèmes ne se différencient à leur tour.

Les perturbations des FE sont présentes dans de nombreuses pathologies chez l'enfant (Roy et al., 2012), comme les lésions acquises et les troubles du neurodéveloppement. Le fait que les FE sont sous-tendues par un large réseau cérébral et que leur développement soit précoce explique leur grande vulnérabilité. Une certaine malléabilité de ces fonctions (Blair, 2016) conduit à penser qu'elles peuvent être entraînées à tout âge, laissant entrevoir des perspectives pour leur prise en charge. Vu l'importance des FE pour la réussite académique, personnelle et professionnelle (Diamond, 2013 ; Gerst et al., 2017), le repérage de leur dysfonctionnement et leur prise en charge sont essentiels.

A notre connaissance, deux études internationales se sont intéressées au fonctionnement exécutif des EHPI ($QI \geq 130$). La première (Arffa, 2007) s'est attachée à étudier le rôle du niveau intellectuel sur les performances à des tâches exécutives versus non exécutives chez

des enfants âgés de 6 à 15 ans, de différents niveaux intellectuels (QIT : 90 à >130). Les EHPI avaient des scores supérieurs pour une majeure partie des mesures exécutives (Wisconsin, Stroop, Fluence, mais pas au TMT B) par rapport aux groupes d'enfants présentant un QI moyen. Aucune différence n'était retrouvée aux mesures non exécutives entre les différents groupes. La seconde étude (Montoya-Arenas et al., 2018) avait pour objectif de déterminer si les hautes performances académiques d'enfants âgés de 7 à 11 ans étaient plutôt dépendantes de leur niveau intellectuel ou de leur fonctionnement exécutif. Les 3 groupes d'enfants de l'étude (QIT compris entre 85-115, entre 116 et 129 ; ou ≥ 130) ont obtenu des résultats comparables à l'ensemble des tâches exécutives (Wisconsin, Stroop, Tour de Hanoï, fluence figurale) excepté pour les tâches de fluence verbale (performances des EHPI supérieures aux enfants ayant un QIT entre 85 et 115).

Au final, les quelques résultats des études internationales montrent pour l'une, des résultats supérieurs et pour l'autre, des résultats comparables entre EHPI et enfants contrôles aux tâches évaluant les FE. Ces résultats apparaissent contradictoires avec les quelques travaux précédemment cités qui évoquent des difficultés attentionnelles/exécutives. L'objectif de cette étude était donc d'examiner plus spécifiquement la question d'un éventuel dysfonctionnement exécutif chez les EHPI. Afin de répondre à cette question, nous avons cherché à évaluer plusieurs des principales FE telles qu'elles sont distinguées dans le modèle de Diamond (2013), à savoir, l'inhibition, la flexibilité mentale et la planification, sur la base d'un ensemble de tests basés sur la performance. Conformément aux études internationales (Arffa, 2007 ; Montoya-Arenas, 2018), nous faisons l'hypothèse que les EHPI ne présenteraient pas de déficit exécutif.

3.4.3 Méthode

Participants

Un groupe d'EHPI composé de 30 enfants âgés de 6 à 16 ans a été sélectionné dans le cadre de cette étude. Nous avons ici exploité les résultats de 28 de ces enfants, excluant les données de deux participants âgés de moins de 6 ans et 6 mois, pour lesquels nous ne disposons pas de normes pour cette tranche d'âge dans la batterie FÉE (Batterie d'évaluation des fonctions exécutives chez l'enfant, Roy et al., à paraître). L'absence de normes ne permet pas de connaître la fréquence des scores obtenus par ces participants en comparaison à un échantillon normatif et ne permet donc pas d'interprétation.

Un appel à participation grand public a été réalisé pour le recrutement des participants, via un journal local, une radio locale, l'affichage public (centre de loisirs, médiathèque...), les écoles, les réseaux de psychologues scolaires du département et les associations pour EHPI. Pour être inclus, les enfants devaient déjà avoir une évaluation de leur efficacité intellectuelle (réalisée par un psychologue libéral, scolaire ou autre) attestant d'un QIT ≥ 130 , conformément aux pratiques les plus consensuelles sur le plan international (Caroff, 2004 ; Grégoire, 2012). Les participants étaient âgés en moyenne de 8 ans et 3 mois (4 ans 4 mois – 13 ans 6 mois) au moment de l'évaluation de leur efficacité intellectuelle. Les critères d'exclusion étaient les suivants : antécédent neurologique, prématurité, trouble du spectre autistique, prise de psychotropes au moment de l'évaluation, troubles sensoriels élémentaires pouvant limiter la participation aux tests, maîtrise non suffisante de la langue française. Les caractéristiques descriptives des participants sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Données descriptives de l'échantillon d'EHPI

Variables	Données descriptives
Age	10 ans 6 mois [6 ans 9 mois – 15 ans 1 mois]
Répartition filles / garçons	11 / 17
QIT moyen	140,3 (ET = 7,1) [130-154]
Échelle utilisée pour l'identification du haut potentiel	
WPPSI-III	4 participants (14,3%)
WPPSI-IV	1 participant (3,6%)
WISC-IV	21 participants (75%)
WISC-V	2 participants (7,1%)
Professionnel ayant réalisé l'évaluation du QIT	
Psychologue libéral	19 participants (68%)
Psychologue de l'éducation	9 participants (32%)

Notes. ET : Écart-type ; QIT : Quotient Intellectuel Total ; WISC (-IV, -V) : Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents (4^{ème}, 5^{ème} édition) ; WPPSI (-III ; -IV) : Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants (-3^{ème}, -4^{ème} édition).

Matériel

Plusieurs subtests de la batterie FÉE (Roy et al., à paraître) ont été administrés aux participants, afin d'évaluer plus spécifiquement l'inhibition (Barre-Joe, Stroop), la planification (Figure de Rey avec programme, Test des 8 Labyrinthes) et la flexibilité mentale (Kids Card Sorting Test, KCST). Le lecteur pourra se référer au descriptif de la batterie dans l'article correspondant de ce numéro spécial. Les mesures retenues pour l'épreuve du Barre-Joe concernaient la précision (score d'imprécision tenant compte des fausses alarmes et des omissions), la vitesse de réalisation ainsi que l'évolution de la vitesse et de la précision au cours de l'épreuve (parties A et B). Pour le Stroop, les scores d'interférence (nombre d'erreurs non corrigées et temps) ont été retenus. A la figure de Rey, les scores de copie spontanée versus avec une aide à la copie par étapes (programme) ont été pris en compte. Trois mesures ont été recueillies via le Test des 8 labyrinthes : le nombre d'entrées dans les impasses, le nombre de labyrinthes terminés, et le temps de réalisation. Enfin, s'agissant du KCST, le temps, le nombre d'erreurs persévératives, le nombre d'abandons prématurés de

règle et le nombre de catégories réussies ont été recensés. Les scores bruts des participants étaient transformés en percentiles sur la base des normes françaises établies pour la batterie.

Procédure

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un large programme de recherche hospitalier entre 2016 et 2019. Celle-ci avait pour objectif d'explorer les fonctions motrices et exécutives des EHPI par une approche pluridisciplinaire, combinant des explorations sur le plan neuropsychologique et neurologique. Elle a fait l'objet d'un avis favorable (n° 16/082) du Comité de Protection des Personnes SUD EST IV.

Suite à l'appel à participation, les familles intéressées étaient invitées à prendre contact avec la neuropsychologue pour obtenir toutes les informations utiles et vérifier que l'enfant était éligible à une participation. Un formulaire de consentement était complété par l'enfant et ses deux parents. La participation au protocole durait en moyenne 4 heures et avait lieu dans le CHU promoteur de l'étude. Une pause déjeuner était systématiquement proposée avec un repas offert à l'enfant et à son accompagnant. Le jour de la participation, le médecin investigateur vérifiait à nouveau les critères d'inclusion et d'exclusion puis procédait à une anamnèse et un examen neurologique (durée totale de la rencontre avec le médecin : 1 heure à 1 heure 30). Celui-ci visait : 1) à s'assurer de l'absence de trouble moteur d'origine cérébrale, qui aurait conduit à une exclusion de l'étude, 2) à recueillir la présence ou non de signes neurologiques mineurs (adiadococinésies, réflexes ostéotendineux anormaux...), dont les données ne seront pas traitées dans le cadre de cet article.

L'enfant était ensuite invité à réaliser le protocole neuropsychologique avec la psychologue (ou une étudiante de Master 2 de psychologie formée au protocole). Celui-ci se composait d'épreuves évaluant les FE ainsi que les praxies. L'ordre de passation était prédéterminé de manière aléatoire et systématiquement le même pour tous les participants. Seuls les résultats à

la batterie FÉE ont été exploités dans le cadre de cet article. Les tests duraient au total et en moyenne pour l'ensemble du protocole neuropsychologique entre 2 heures 30 et 3 heures. Trois pauses (dont celle du déjeuner) étaient prévues au cours de cette journée de participation.

3.4.4 Analyses statistiques

Les statistiques ont été réalisées avec le logiciel RStudio version 1.2.5042. Les résultats présentés dans le tableau 2 comprennent des statistiques descriptives concernant le nombre et le pourcentage de participants présentant, pour chacune des mesures de la batterie FÉE, un score d'alerte (performance \geq percentile 90 par rapport aux normes de la batterie), un score déficitaire (percentile \geq 95) ou un score correspondant à un déficit sévère (percentile \geq 99). Pour chaque score, un test exact (loi binomiale) a été réalisé afin de comparer sa fréquence par rapport à celle normalement attendue dans la population générale. Nous avons appliqué une correction de Bonferroni compte tenu des multiples tests appliqués (14 mesures, 3 types de score). Le seuil de significativité a donc été abaissé à $p < 0,0012$. Dans un second temps, nous avons extrait les résultats de 4 participants, pour qui le profil de performances différait de celui du reste des participants, avec au moins deux scores exécutifs déficitaires à deux tâches exécutives différentes.

3.4.5 Résultats

Selon les mesures, entre 0 et 25% des EHPI sont concernés par un score d'alerte, entre 0 et 10,7% par un score déficitaire (au seuil du percentile 95) et entre 0 et 7,1% par un score de déficit sévère (au seuil du percentile 99). Aucune différence significative dans la fréquence de ces scores n'est observée entre les EHPI et la population de référence théorique.

Tableau 2. Nombre de participants (%) concernés par un score d'alerte, de déficit et de déficit sévère pour chacune des mesures exécutives et comparaison à la fréquence normalement attendue

Mesures	Alerte (≥ percentile 90)	Valeur de p	Déficit (≥ percentile 95)	Valeur de p	Déficit sévère (percentile ≥ 99)	Valeur de p
Stroop E	4/28 (14,3%)	0,305	2/28 (7,1%)	0,412	1/28 (3,6%)	0.245
Stroop T	7/28 (25%)	0,0179	1/28 (3,6%)	0,762	1/28 (3,6%)	0.245
BJ Tps	4/28 (14,3%)	0,305	2/28 (7,1%)	0,412	2/28 (7,1%)	0.0318
BJ Imp	1/28 (3,6%)	0,947	0/28 (0%)	1	0/28 (0%)	1
BJ évo Tps	4/28 (14,3%)	0,305	3/28 (10,7%)	0.162	2/28 (7,1%)	0.0318
BJ évo Imp	4/28 (14,3%)	0,305	1/28 (3,6%)	0,762	0/28 (0%)	1
KCST Tps	0/27 (0%)	1	0/27 (0%)	1	0/27 (0%)	1
KCST Catég	0/28 (0%)	1	0/28 (0%)	1	0/28 (0%)	1
KCST Per	4/28 (14,3%)	0,305	2/28 (7,1%)	0,412	1/28 (3,6%)	0.245
KCST Abd	4/28 (14,3%)	0,305	3/28 (10,7%)	0.162	1/28 (3,6%)	0.245
Laby Tps	1/28 (3,6%)	0,947	0/28 (0%)	1	0/28 (0%)	1
Laby Erreurs	6/28 (21,4%)	0,055	2/28 (7,1%)	0,412	2/28 (7,1%)	0.0318
Laby Term	1/28 (3,6%)	0,947	0/28 (0%)	1	0/28 (0%)	1
FR copie	0/28 (0%)	1	0/28 (0%)	1	0/28 (0%)	1

Note. Aucune valeur de p significative après correction ($p = 0,0012$).

Mesures : Stroop Interférence (E : Erreurs non corrigées, T : Temps) ; BJ (Tps, Imp, évo Tps, évo Imp) : Barre-Joe (Temps, Imprécision, évolution dans le temps, évolution de l'imprécision) ; KCST (Tps, Catég, Per, Abd) : Kids Card Sorting Test (Temps, Catégories, Persévérations, Abandons prématurés) ; Laby (Tps, Term) : Test des 8 Labyrinthes (Temps, Terminés) ; FR : Figure de Rey.

Sur les 28 participants, 19 n'affichent aucun score déficitaire (68% de l'échantillon). Cinq participants ne présentent qu'une mesure traduisant des difficultés exécutives (percentile ≥ 95), deux en présentent 2, un en présente 3 et un autre participant, 4. Nous avons isolé les performances des 4 enfants ayant au moins deux scores exécutifs déficitaires afin d'analyser leur profil (voir tableau 3).

Tableau 3. Résultats en percentiles des 4 participants présentant au moins 2 scores exécutifs déficitaires.

Test batterie FÉE	Mesure	P1	P2	P3	P4
Stroop	Temps	0,69	0,86	0,93 †	0,99 **
	Erreurs non corrigées	0,54	0,99 **	0,85	0,44
Barre-Joe	Temps	0,84	0,99 **	0,99 **	0,68
	Imprécision	0,55	0,84	0,94 †	0,42
	Evolution temps	0,72	0,20	0,95 *	0,20
	Evolution imprécision	0,20	0,35	0,20	0,20
KCST	Temps	0,50	0,73	0,44	0,51
	Catégorie ^a	NS	NS	NS	NS
	Persévérations ^a	> 0,95 *	> 0,90 †	NS	> 0,99 **
	Abandons prématurés ^a	NS	> 0,99 **	> 0,95 *	NS
Figure de Rey avec programme	Copie	0,78	0,89	0,76	0,33
	Programme	-	-	-	-
	Indice de planification	-	-	-	-
Labyrinthes	Temps	0,27	0,32	0,20	0,20
	Labyrinthes terminés ^a	NS	NS	NS	NS
	Impasses	0,99 **	0,99 **	0,92 †	0,65

Notes. Percentiles calculés à partir d'une technique d'étalonnage de normalisation continue non paramétrique. Plus le percentile est élevé, plus les difficultés sont importantes. ^a Variable ne donnant pas lieu à un étalonnage mais à un score seuil compte tenu d'une distribution asymétrique dans l'échantillon normatif. † percentile $\geq 0,90$; * percentile $\geq 0,95$; ** percentile $\geq 0,99$; NS = non significatif.

Ces 4 participants regroupent à eux seuls presque l'ensemble des scores de l'échantillon relevant d'une difficulté sévère (8/10). Ils présentent tous un déficit au KCST, concernant soit le nombre d'erreurs persévératives (2/4), soit le nombre d'abandons prématurés de règle (2/4). Le participant n°4 présente par ailleurs un score déficitaire au Stroop (temps d'interférence), tout comme le participant n°2 (erreurs non corrigées en situation d'interférence). Ce dernier présente également 2 autres scores déficitaires : l'un au niveau du temps au Barre-Joe (comme le participant 3, pour qui l'évolution du temps est également déficitaire) et l'autre au niveau du nombre d'impasses aux Labyrinthes (comme le participant 1).

3.4.6 Discussion

Notre étude avait pour objectif de tester l'hypothèse d'une préservation des principales composantes des FE habituellement distinguées dans la littérature (inhibition, flexibilité

mentale et planification ; Diamond, 2013) au sein de la population d'EHPI à l'appui d'une série de tests basés sur la performance validés en français (FÉE).

Les résultats confirment globalement l'hypothèse d'un fonctionnement exécutif adéquat chez les EHPI. A l'échelle du groupe, la fréquence des scores d'alerte (\geq percentile 90), de déficit (\geq percentile 95) et de déficit sévère (\geq percentile 99) aux tâches évaluant les FE ne diffère pas de celle de la population « tout-venant », pour aucun des 14 scores exécutifs. Sur le plan descriptif, la majorité des enfants (19/28) ne présente aucun score d'alerte ou de score déficitaire pour l'ensemble des tests exécutifs administrés.

Bien que les résultats à l'échelle du groupe soient non significatifs et que la majorité de ces enfants ne présentent donc aucun trouble, quelques EHPI sont concernés par un ou des scores de déficits exécutifs (au seuil du percentile 95 et au-delà). Pour la plupart de ces enfants, la difficulté potentielle repérée est isolée (5/28 participants, soit 18% de l'échantillon) puisqu'elle ne concerne qu'une seule des 14 mesures recueillies.

Quatre participants (14%) se détachent finalement des autres, associant des scores déficitaires pour 2 à 4 mesures exécutives. Ils regroupent d'ailleurs à eux seuls presque l'ensemble des difficultés enregistrées à l'échelle du groupe (8/10). Celles-ci restent cependant très partielles (2 à 3 mesures déficitaires) puisque, si l'analyse porte sur le nombre de tâches échouées/réussies, la majeure partie d'entre elles ne pose aucune difficulté significative.

En fin de compte, seul le profil du sujet n°2 interpelle réellement, car les déficits concernent 4 des 5 tâches proposées et touchent l'ensemble des FE (inhibition, flexibilité mentale, planification). Les données de l'anamnèse nous indiquent que ce participant, malgré un excellent potentiel intellectuel (QIT = 139), présente des difficultés d'apprentissage pour lesquelles un diagnostic de trouble spécifique du langage écrit a été posé. Ce trouble est connu pour associer, potentiellement, des difficultés exécutives (Varvara et al., 2014). Le dysfonctionnement exécutif de cet enfant pourrait donc être en lien avec ce trouble des

apprentissages. A noter qu'un autre de ces 4 enfants a fait l'objet d'une consultation spécialisée en Centre de Référence des Troubles des Apprentissages, sans diagnostic confirmé.

Nos résultats vont donc dans le sens des études internationales qui ne montrent pas de performances inférieures chez les EHPI dans les tâches exécutives, en comparaison aux enfants d'intelligence moyenne. Au contraire, dans ces travaux, les résultats des EHPI sont au moins équivalents voire supérieurs, ce qui coïncide avec la réussite scolaire de ces enfants (Gauvrit & Guez, 2018), favorisée par le haut niveau intellectuel et le fonctionnement exécutif (Best et al., 2011 ; Montoya-Arenas et al., 2018).

Nos résultats vont en revanche à l'encontre de certaines descriptions des EHPI, parfois considérés comme impulsifs, désorganisés et/ou manquant de planification (Louis, 2014 ; Moon, 2002 ; Mullet & Rinn, 2015). Lorsqu'elles ne sont pas issues de travaux narratifs, ces études présentent des insuffisances méthodologiques et/ou des interprétations discutables. L'une d'elles (Bessou et al., 2005) alimente l'idée d'une trajectoire développementale spécifique chez les EHPI, sur la base de résultats hétérogènes au WISC-III. Les résultats au subtest Labyrinthes sont certes proportionnellement plus faibles, mais le fait de les considérer comme « chutés » et de les interpréter comme résultant d'un manque de planification ou d'impulsivité est discutable. En effet, la note moyenne des participants se situe dans la moyenne haute de la distribution (12,51), ce qui est peu compatible avec l'idée d'une perturbation. Dans d'autres travaux, la constitution de différents groupes d'EHPI en fonction du caractère plus ou moins hétérogène du score de QI est discutable (Loureiro et al., 2009). En effet, le fait d'observer des scores attentionnels/exécutifs plus faibles chez les enfants présentant une hétérogénéité du profil intellectuel peut être lié à la constitution même de ces groupes qui conduit nécessairement à de moins bonnes performances chez ces enfants (et qui interroge d'ailleurs l'abaissement du critère d'inclusion à 125 dans cette étude).

Au final, notre étude montre que globalement, à l'échelle du groupe, les EHPI ne présentent pas de dysfonctionnement exécutif manifeste, contrairement aux descriptions qui en sont parfois faites. Toutefois, nos études de profils ont permis d'identifier 4 enfants concernés par plusieurs scores de déficit, dont l'un présente une atteinte globale des FE. Il est difficile de savoir si les difficultés de cet enfant en particulier sont en rapport avec le HPI ou avec le fait qu'il présente un trouble du neurodéveloppement (dyslexie-dysorthographe). Quoiqu'il en soit, malgré un haut niveau intellectuel, ces enfants ne sont donc pas à l'abri de présenter un trouble neurodéveloppemental auquel peut s'associer un trouble des FE. Le trouble des FE seul, quant à lui, n'apparaît en aucun cas comme une caractéristique du HPI.

Plusieurs limites doivent être pointées dans le cadre de notre étude. Tout d'abord, la taille de notre échantillon, composé d'un petit effectif ($n = 28$), qui limite la généralisation des résultats à l'ensemble de la population EHPI. De plus, la question de la représentativité de l'échantillon, comme certaines études précédemment citées, doit aussi être soulignée. Malgré toutes les précautions prises afin d'éviter un biais de recrutement d'enfants issus de consultations spécialisées, il faut noter que la population EHPI est, par définition, biaisée, dans la mesure où les enfants ont consulté un psychologue pour quel que motif que ce soit (présence de difficultés ou sentiment de différence). Pour l'heure, plusieurs freins (notamment éthiques) limitent l'évaluation de l'intelligence à grande échelle sur des volontaires, dans un but de recherche. C'est la raison pour laquelle nos participants devaient nécessairement avoir été identifiés comme à haut potentiel intellectuel avant leur inclusion. Les conditions dans lesquelles les participants ont été évalués n'ont de fait, pu être contrôlées (lieu, professionnel, modalités de passation...), ce qui constitue également une limite à ce travail. Notre échantillon est donc constitué d'enfants qui sont probablement plus représentatifs de la

population d'EHPI avec « spécificités », compte tenu du fait qu'ils aient consulté spontanément un psychologue à un moment donné. En outre, nous pouvons déplorer l'absence d'investigation de la mémoire de travail, considérée comme l'une des composantes centrales du modèle des FE de Diamond (2013). Nous avons cependant veillé à ne pas proposer un protocole d'évaluation qui soit trop long pour les enfants. De plus, les subtests d'évaluation de la mémoire de travail que nous avons administrés sont issus des échelles de Wechsler, lesquelles ont servi de critère pour l'inclusion des participants et dont l'étalonnage diffère de celui de la FÉE. Les résultats obtenus à ces deux échelles auraient difficilement été comparables. D'autre part, la mémoire de travail est considérée comme la fonction exécutive la plus liée au niveau d'intelligence (Brydges et al., 2012).

Il aurait été probablement souhaitable, pour l'enfant présentant des scores exécutifs déficitaires dans les tests basés sur la performance, d'évaluer plus précisément le retentissement en situation de vie quotidienne. Ceci, par exemple, à l'appui de questionnaires d'hétéro-évaluation du comportement, complétés par les parents et les enseignants. Enfin, notre étude ne présage en rien des liens entre FE et intelligence. La réponse à cette question nécessiterait une méthodologie différente de celle adoptée ici. Dans cette perspective, il faudrait intégrer dans notre analyse l'ensemble des scores, quels qu'ils soient (déficitaires à supérieurs) et étudier les variations qui seraient imputables au niveau d'intelligence. Au vu de nos résultats, nous pouvons en effet nous interroger quant à une éventuelle supériorité du fonctionnement exécutif chez les EHPI comme cela a par ailleurs été décrit (Arffa, 2007).

3.4.7 Conclusion

Nos résultats infirment l'hypothèse selon laquelle un dysfonctionnement exécutif pourrait être une caractéristique du phénotype cognitif des EHPI. En effet, à l'échelle du groupe, les EHPI ne se différencient pas de la population « tout-venant », sur l'ensemble des mesures étudiées.

Toutefois, 4 participants présentent l'association d'au moins deux scores déficitaires. L'un d'eux présente même des scores déficitaires pour l'ensemble des FE (inhibition, flexibilité et planification). Ainsi, bien que les EHPI ne semblent pas particulièrement à risque de développer un trouble des FE, cette possibilité ne doit pas être exclue. Dans ce cas de figure, son impact en situation de vie quotidienne mériterait d'être exploré, afin de savoir si une gêne peut être identifiée (via par exemple des hétéro-questionnaires). A cette occasion, la concordance entre les plaintes éventuelles et les résultats aux tests basés sur la performance pourrait être analysée, interrogeant par-là les représentations que l'on peut avoir du fonctionnement de ces enfants. Enfin, il pourrait être intéressant d'étudier dans quelle mesure les FE participent à la réussite scolaire de ces enfants, les facteurs d'échec et/ou de réussite étant peu documentés à ce niveau.

Remerciements

Les auteurs remercient les familles et les enfants ayant consacré leur temps et leur énergie à cette recherche. Merci à tous ceux qui ont fait connaître l'étude (médias, écoles, associations, psychologues de l'éducation nationale et de l'enseignement catholique du Finistère) contribuant au recrutement des participants. Merci à Alexandra Bucaille pour la correction du résumé en Anglais. Enfin, cette étude n'aurait été possible sans le soutien de la fondation DANA (fondation Bretonne au service de l'enfant), à qui nous adressons également nos sincères remerciements.

3.4.8 Références

Arffa, S. (2007). The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Archives*

- of *Clinical Neuropsychology*, 22(8), 969-978.
<https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.001>
- Bessou, A., Montlahuc, C., Louis, J., Fourneret, P., & Revol, O. (2005). Profil psychométrique de 245 enfants intellectuellement précoces au WISC-III. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 17(81), 23-28.
- Best, J. R., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and Individual Differences*, 21(4), 327-336.
<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.01.007>
- Blair, C. (2016). Developmental science and executive function. *Current Directions in Psychological Science*, 25(1), 3-7. <https://doi.org/10.1177/0963721415622634>
- Brydges, C. R., Reid, C. L., Fox, A. M., & Anderson, M. (2012). A unitary executive function predicts intelligence in children. *Intelligence*, 40(5), 458-469.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.05.006>
- Caroff, X. (2004). L'identification des enfants à haut potentiel : Quelles perspectives pour l'approche psychométrique ? *Psychologie Française*, 49(3), 233-251.
<https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.06.001>
- Delaubier, J. P. (2002). *La scolarisation des élèves intellectuellement précoces* [Rapport au ministre de l'éducation nationale]. Consulté à <http://www.education.gouv.fr/cid2022/la-scolarisation-des-eleves-intellectuellement-precoces.html>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Gauvrit, N. (2015). Précocité intellectuelle : Un champ de recherches miné. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 132/133, 1-6.

- Gauvrit, N. & Guez, A. (2018). Réussite scolaire et professionnelle des personnes à haut potentiel intellectuel. *Approche Neuropsychologique Des Apprentissages Chez l'Enfant*, 30(154), 313-318.
- Gerst, E. H., Cirino, P. T., Fletcher, J. M., & Yoshida, H. (2017). Cognitive and behavioral rating measures of executive function as predictors of academic outcomes in children. *Child Neuropsychology*, 23(4), 381-407.
<https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1120860>
- Grégoire, J. (2012). Les défis de l'identification des enfants à haut potentiel. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 119, 419-424.
- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia-Barrera, M. A. (2018). The unity and diversity of executive functions : A systematic review and re-analysis of latent variable studies. *Psychological Bulletin*, 144(11), 1147-1185.
<https://doi.org/10.1037/bul0000160>
- Labouret, G., & Grégoire, J. (2018). La dispersion intra-individuelle et le profil des scores dans les QI élevés. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 154, 271-279.
- Louis, J.-M. (2014). *Mon enfant est-il précoce ? Comment l'aider et l'intégrer en famille et à l'école*, 4ème édition. Paris : InterEditions.
- Loureiro, I. S., Lowenthal, F., Lefebvre, L., & Vaivre-Douret, L. (2009). Le trouble déficitaire de l'attention chez l'enfant à haut potentiel : Étude exploratoire. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 21(2), 188-194.
- Mace, R. A., Waters, A. B., Sawyer, K. S., Turrisi, T., & Gansler, D. A. (2019). Components of executive function model regional prefrontal volumes. *Neuropsychology*, 33(7), 1007-1019. <https://doi.org/10.1037/neu0000563>

- McBee, M. T., & Makel, M. C. (2019). The quantitative implications of definitions of giftedness. *AERA Open*, 5(1), 2332858419831007. <https://doi.org/10.1177/2332858419831007>
- Montoya-Arenas, D. A., Aguirre-Acevedo, D. C., Díaz Soto, C. M., & Pineda Salazar, D. A. (2018). Executive functions and high intellectual capacity in school-age : Completely overlap? *International Journal of Psychological Research*, 11(1), 19-32. <https://doi.org/10.21500/20112084.3239>
- Moon, S. (2002). Gifted children with attention-deficit/hyperactivity disorder. In M. Neihart, S. Reis, N. Robinson & S. Moon (Eds), *The social and emotional development of gifted children : What do we know ?* (pp. 193-201). Waco, TX : Prufrock Press.
- Mullet, D. R., & Rinn, A. N. (2015). Giftedness and ADHD : Identification, misdiagnosis, and dual diagnosis. *Roeper Review*, 37(4), 195-207. <https://doi.org/10.1080/02783193.2015.1077910>
- Robert, G., Kermarrec, S., Guignard, J.-H., & Tordjman, S. (2010). Signes d'appel et troubles associés chez les enfants à haut potentiel. *Archives de Pédiatrie*, 17(9), 1363-1367. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2010.05.019>
- Roy, A., Le Gall, D., Roulin, J.-L., & Fournet, N. (2012). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de Neuropsychologie*, 4(4), 287-297.
- Roy, A., Fournet, N., Le Gall, D. & Roulin, J.-L., à paraître. *La batterie FÉE : Fonctions exécutives de l'enfant*. Paris : Hogrefe France.
- Siaud-Facchin, J. (2012). *L'enfant surdoué*. Odile Jacob.
- Terrassier, J.-C. (2018). *Les enfants surdoués : Ou la précocité embarrassante*. ESF Sciences Humaines.

- Terriot, K. (2018). De la définition théorique du haut potentiel intellectuel (HPI) aux conséquences pratiques. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 30(154), 265-270.
- Vaivre-Douret, L. (2004). Les caractéristiques développementales d'un échantillon d'enfants tout venant à hautes potentialités (surdoués) : Suivi prophylactique. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 52(3), 129-141.
<https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2004.01.006>
- Van der Linden, M., Meulemans, T., Seron, X., Coyette, F., Andrès Bénito, P., & Prairial, C. (2000). L'évaluation des fonctions exécutives. In X. Seron et M. Van Der Linden (Eds), *Traité de neuropsychologie clinique Tome 1* (pp. 275-300). Marseille : Solal.
- Varvara, P., Varuzza, C., Padovano Sorrentino, A. C., Vicari, S., & Menghini, D. (2014). Executive functions in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00120>
- Wechsler, D. (2016). *WISC-V : manuel d'interprétation*. Pearson - Edition du Centre de Psychologie Appliquée.
- Wilkinson, S. C. (1993). WISC-R profiles of children with superior intellectual ability. *Gifted Child Quarterly*, 37(2), 84-91.

3.5 Explorations complémentaires des FE

3.5.1 Comparaisons des groupes aux échelles basées sur la performance

Après avoir analysé la fréquence des scores de déficits à la batterie FÉE en comparaison à une population théorique (Article III), les scores bruts moyens (ou notes standard) des deux groupes (EDT = 35, EHPI = 30) ont été comparés pour l'ensemble des variables exécutives du protocole. Les statistiques suivantes ont été réalisées avec le logiciel JASP 0.11.1. Toutes les comparaisons ont été conduites à l'appui de tests de t Student, auxquels une correction de Welch a été systématiquement appliquée en raison du rejet de l'hypothèse d'homogénéité des variances. L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau 4.

Aux épreuves de la batterie FÉE, les EHPI ont des résultats globalement comparables aux EDT, à l'exception de l'évolution du temps de réalisation à l'épreuve du Barre-Joe. Alors que les EDT ont été en moyenne plus rapides à la partie B qu'à la partie A (- 32 secondes), les EHPI ont mis un peu plus de temps (+ 12 secondes). Qualitativement, il faut noter qu'il s'agit principalement de quelques participants du groupe EHPI qui mettent beaucoup plus de temps à réaliser la seconde partie (3 participants ont des scores de déficits à l'analyse des profils, Article III), notamment un participant (+ 289 secondes), alors qu'à l'inverse, un enfant contrôle est beaucoup plus rapide (-247 secondes).

L'analyse des subtests Mémoire des chiffres et Mémoire des images (WISC-V) révèle une supériorité des performances des EHPI au niveau de l'empan endroit (Mémoire des chiffres, Mémoire des images) par rapport à celles des EDT, mais pas au niveau de l'empan envers ni croissant (Mémoire des chiffres). Leurs performances au subtest Production de mots (NEPSY-II) sont comparables quelle que soit la condition (sémantique ou lettre initiale).

Tableau 4. Comparaisons des scores bruts (ou notes standard) obtenus aux subtests évaluant les fonctions exécutives entre EHPI et EDT

Test	Mesure	EHPI M (DS)	EDT M (DS)	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Stroop (FÉE)	Temps	88,67 (40,3)	83,3 (51,2)	0,48	0,64	0,12
	Erreurs non corrigées	4 (12,9)	0,78 (1,6)	1,35	0,19	0,35
Barre-Joe (FÉE)	Temps	724,4 (265,4)	701,4 (196,8)	0,39	0,7	0,1
	Imprécision	8,67 (5,9)	8,09 (5,1)	0,42	0,68	0,1
	Evolution temps	12,23 (71,3)	-32,11 (58)	2,72	0,009**	0,68
	Evolution imprécision	-0,53 (5,5)	-0,6 (4)	0,05	0,96	0,01
Kids Card Sorting Test (FÉE)	Temps	181,5 (39,9)	199,5 (59,5)	-1,44	0,16	-0,36
	Catégorie	4,8 (0,9)	4,31 (1,3)	1,75	0,09	0,43
	Persévérations	3,33 (2,7)	3,97 (4)	-0,75	0,457	-0,18
	Abandons prématurés	1,57 (1,5)	1,63 (1,5)	-0,17	0,87	-0,04
Figure de Rey avec programme (FÉE)	Copie	28,6 (2,9)	28,35 (4)	0,3	0,77	0,07
	Programme	30,43 (3,1)	30,86 (3,3)	-0,53	0,6	-0,13
	Indice de planification	1,9 (3,1)	2,52 (3,4)	-0,77	0,45	-0,19
Labyrinthes (FÉE)	Temps	487,9 (201,9)	518,8 (219,3)	-0,59	0,56	-0,15
	Labyrinthes terminés	7,93 (0,37)	7,71 (0,13)	1,47	0,15	0,36
	Impasses	10,9 (10,5)	10,1 (8,1)	0,35	0,73	0,09
Mémoire des chiffres (WISC-V)	Note standard	12,2 (2,9)	11 (1,7)	2	0,05	0,51
	Empan endroit	5,8 (1,3)	5,1 (0,7)	2,56	0,01*	0,65
	Empan envers	4,3 (1,2)	3,9 (1)	1,38	0,17	0,35
	Empan croissant	5,5 (1,1)	5,1 (1)	1,52	0,13	0,38
Mémoire des images (WISC-V)	Note standard	13,3 (2,4)	11,5 (2,2)	3,26	0,002**	0,81
	Empan endroit	4,9 (0,8)	4,4 (0,7)	2,73	0,008**	0,68
Production de mots (NEPSY-II)	Sémantique	35 (10,2)	31,2 (9,2)	1,58	0,12	0,4
	Lettre initiale	16 (7,1)	14,2 (6)	1,06	0,29	0,28

Note. FÉE : Batterie Fonctions exécutives de l'enfant ; EHPI : Enfants à Haut Potentiel Intellectuel ; EDT : Enfants au Développement Typique ; M : Moyenne ; DS : Déviation Standard ; d : d de Cohen ; WISC-V : échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, 5^{ème} édition ; NEPSY-II : Bilan neuropsychologique de l'enfant, 2^{nde} édition.

* : $p < .05$; ** : $p < .01$

3.5.2 Comparaisons des groupes aux mesures obtenues en situation de vie quotidienne

La validité des questionnaires de la BRIEF a été préalablement vérifiée sur la base des échelles d'incohérence et de négativité proposées dans le manuel. Sur l'ensemble des questionnaires, un inventaire parental (EHPI) s'est avéré incohérent, ainsi qu'un inventaire enseignant (EHPI). Ces deux questionnaires n'ont pas été intégrés dans les analyses qui suivent. Les questionnaires présentant un indice de négativité élevé ont quant à eux été pris en compte, étant susceptibles de refléter des difficultés importantes chez un enfant.

L'analyse des questionnaires parentaux (tableau 5) révèle des scores significativement plus élevés pour les EHPI à l'ensemble des échelles (*Inhibition, Flexibilité, Contrôle émotionnel, Initiation, Mémoire de Travail, Planification, Organisation du matériel, Contrôle*), des indices (*Indice de Métacognition, Indice de Régulation Comportementale*) et au score composite global (CEG) de la BRIEF. Lorsqu'ils sont évalués par leur enseignant, les EHPI ont également des scores plus élevés que les EDT, à l'exception de l'échelle de Flexibilité et de Planification.

Tableau 5. Comparaisons des scores T obtenus aux échelles de la BRIEF entre EHPI et EDT

	EHPI M (DS)	EDT M (DS)	U	p	r _B
BRIEF Parents					
IRC	65.8 (15.8)	46.2 (8.4)	862.5	< .001***	0.7
Inhibition	61.7 (16.3)	45.5 (8.6)	810.5	< .001***	0.597
Flexibilité	58.9 (15)	47.7 (9.5)	734	.002**	0.446
Contrôle émotionnel	66.6 (13.3)	47.1 (8.2)	890	< .001***	0.755
IM	59.3 (15.5)	48.8 (9.3)	686	0.007**	0.400
Initiation	55.9 (13)	47 (9.6)	715	0.005**	0.409
Mémoire de travail	57.3 (16.2)	46.9 (7.8)	682	0.019*	0.344
Planification	57.4 (14.3)	46.9 (10.6)	701	0.004**	0.431
Organisation du matériel	59.7 (10.7)	50 (9.9)	764	< .001***	0.505
Contrôle	57.4 (12.2)	45.5 (8.1)	783	< .001***	0.543
CEG	62.9 (16.3)	45.9 (8.4)	794.5	< .001***	0.621
BRIEF Enseignant					
IRC	57.1 (13.8)	49.7 (11.7)	388.5	0.017*	0.408
Inhibition	56.8 (12.7)	51.1 (17.7)	459	0.024*	0.366
Flexibilité	52.9 (11.2)	47.1 (5.5)	362.5	0.066	0.313
Contrôle émotionnel	60 (17.6)	51.5 (10.4)	445.5	0.022*	0.375
IM	53.7 (12.9)	47 (10.4)	398	0.021*	0.392
Initiation	51.7 (12)	45.4 (7.8)	443.5	0.047*	0.320
Mémoire de travail	53.4 (11.2)	47.1 (9.7)	479	0.003**	0.488
Planification	52.5 (13.6)	47.3 (10.9)	370	0.082	0.294
Organisation du matériel	56 (14.3)	47.1 (9.2)	482	0.007**	0.435
Contrôle	55.1 (13.8)	47.7 (11)	445	0.046*	0.324
CEG	54.9 (12.9)	47.5 (11)	373	0.017*	0.413

Note. M : les scores moyens sont des scores T (M = 50, DS : 10 dans les données normatives) ; DS : Déviation standard, r_B : taille d'effet ; BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; EHPI : Enfants à Haut Potentiel Intellectuel ; EDT : Enfants au Développement Typique (intelligence dans la moyenne) ; IRC : Indice de régulation comportementale ; IM : Indice de métacognition ; CEG : Score Composite Exécutif Global

* : p < .05 ; ** : p < .01 ; ***p < .001

A l'échelle de Conners, les EHPI ont globalement des scores plus élevés que les EDT concernant les 3 facteurs appréhendés (Oppositionnel, Problèmes cognitifs/d'inattention, Hyperactivité) et à l'Index de Conners pour le Déficit d'Attention/Hyperactivité, qu'ils soient évalués par leurs parents ou leur enseignant, à l'exception de l'échelle Hyperactivité pour les enseignants (tableau 6).

Tableau 6. Comparaisons des scores bruts obtenus à l'échelle de Conners entre EHPI et EDT

	EHPI M (DS)	EDT M (DS)	<i>U</i>	<i>p</i>	<i>r_B</i>
Echelle de Conners Parents					
Oppositionnel	67.6 (13.9)	49.6 (7.1)	923	< .001***	0.758
Problèmes cognitifs / d'inattention	55.2 (10.6)	47.2 (8.4)	766	< .001***	0.502
Hyperactivité	64.8 (16.4)	52.3 (11.6)	677.5	0.005**	0.416
Index de Conners pour le DA-H	58.6 (10.8)	49.1 (8.2)	781	< .001***	0.488
Echelle de Conners Enseignant					
Oppositionnel	55.9 (14.4)	47.3 (4.2)	564	0.001**	0.496
Problèmes cognitifs / d'inattention	59 (12.8)	45.1 (4)	641.5	< .001***	0.702
Hyperactivité	51.3 (9.3)	49.5 (11.1)	462.5	0.141	0.229
Index de Conners pour le DA-H	54.7 (10.3)	46.1 (6.2)	602.5	< .001***	0.598

Note. M : les scores moyens sont des scores T (M = 50, DS : 10 dans les données normatives) ; DS : Déviation standard, *r_B* : taille d'effet ; BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; EHPI : Enfants à Haut Potentiel Intellectuel ; EDT : Enfants au Développement Typique (intelligence dans la moyenne) ; DA-H : Déficit d'attention avec hyperactivité

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

3.5.3 Fréquence des déficits exécutifs et attentionnels

Afin d'obtenir une représentation du nombre d'individus concernés par des scores cliniquement significatifs, une analyse complémentaire est proposée, permettant d'observer la fréquence d'EHPI concernés par des scores de déficits à la BRIEF (tableau 7) et au Questionnaire de Conners (tableau 8).

Tableau 7. Fréquences des scores significatifs (T ≥ 65) attribués par les parents et les professeurs à la BRIEF pour les EHPI et les EDT en comparaison aux normes

BRIEF	EHPI		EDT	
	Parents	Enseignant	Parents	Enseignant
Inhibition	41,4%	29,2%	2,9%	10,7%
Flexibilité	41,4%	13%	5,7%	0%
Contrôle émotionnel	62,1%	29,2%	0%	14,8%
IRC	55,2%	26,1%	0%	8,3%
Initiation	24,1%	16,7%	5,7%	3,6%
Mémoire de travail	37,9%	26,1%	5,7%	7,1%
Planification / organisation	35,7%	13,6%	8,6%	11,5%
Organisation matérielle	44,8%	25%	11,4%	3,6%
Contrôle	31%	25%	0%	14,3%
IM	35,7%	18,2%	8,6%	7,7%
CEG	46,4%	27,3%	0%	12,5%

Note. EHPI : Enfants à Haut Potentiel Intellectuel, EDT : Enfants au Développement Typique ; % : proportion de participants dont le score atteint le seuil de significativité (T ≥ 65) ; BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; IRC : Indice de régulation comportementale ; IM : Indice de métacognition ; CEG : Score Composite Exécutif Global

Les analyses nous indiquent que près de la moitié des EHPI (46,4%) présente un CEG atteignant le seuil de significativité (note $T \geq 65$) lorsqu'ils sont évalués dans le milieu familial et plus d'un quart obtient un score significatif dans le milieu scolaire (27,3%). Cette fréquence apparaît importante dans le milieu familial en comparaison aux EDT (0%) et plus modérée dans le milieu scolaire (12,5%). Le déficit de régulation comportementale est celui le plus rapporté par les parents (55,2%) et les enseignants des EHPI (26,1%), en comparaison au déficit de métacognition (35,7% pour les parents, 18,2% pour les enseignants). Sur l'ensemble des échelles, le *contrôle émotionnel* s'avère le plus problématique d'après les parents (62,1%) et figure parmi les difficultés les plus fréquemment rencontrées d'après les professeurs (29,2%).

S'agissant des questionnaires de Conners (tableau 8), les parents rapportent plutôt des difficultés comportementales de type « Oppositionnel » (46,6%) et d'Hyperactivité (51,7%), par rapport aux Problèmes cognitifs / d'inattention (20%). Les questionnaires enseignants corroborent globalement les observations faites par les parents (plaintes accrues), mais le schéma inverse est observé au niveau des échelles, avec moins d'enfants présentant des signes d'Hyperactivité (11,5%) - seul score non significatif en comparaison aux EDT - ou oppositionnels (19,2%) en comparaison aux Problèmes cognitifs / d'inattention (30,8%).

Tableau 8. Fréquences des scores significatifs ($T \geq 65$) attribués par les parents et les professeurs au questionnaire de Conners pour les EHPI et les EDT en comparaison aux normes

	EHPI		EDT	
	Parents	Enseignant	Parents	Enseignant
Oppositionnel	46,6%	19,2%	0%	0%
Problèmes cognitifs / d'inattention	20%	30,8%	5,7%	0%
Hyperactivité	56,7%	11,5%	11,4%	10,3%
Index de Conners pour le DA-H	23,3%	19,2%	8,6%	3,4%

Note. EHPI : Enfants à Haut Potentiel Intellectuel, EDT : Enfants au Développement Typique ; % : proportion de participants dont le score atteint le seuil de significativité ($T \geq 65$) ; DA-H : Déficit d'attention avec hyperactivité

Une analyse qualitative est proposée ici afin d'évaluer dans quelle mesure les résultats de l'échantillon d'EHPI peuvent se rapprocher de ceux recueillis auprès de certaines populations cliniques. Pour ce faire, les moyennes des scores bruts par item à la BRIEF ont été calculées pour être comparées à celles des populations cliniques du manuel de l'outil (tableau 9).

Tableau 9. Scores bruts moyens par items obtenus à la forme Parents et Enseignant de la BRIEF pour les EHPI, les EDT et comparaisons avec les populations cliniques du manuel (DL-DO, prématurité, NF1)

	Parents				Enseignant				
	EHPI	DL-DO*	préma*	NF1*	EDT	EHPI	DL-DO*	préma*	EDT
BRIEF									
IRC	1,94	1,8	1,78	1,73	1,36	1,4	1,33	1,63	1,17
<i>Inhibition</i>	1,84	1,79	1,8	1,82	1,33	1,56	1,39	1,71	1,22
<i>Flexibilité</i>	1,75	1,6	1,64	1,7	1,38	1,28	1,28	1,68	1,1
<i>Contrôle émotionnel</i>	2,1	1,98	1,88	1,68	1,37	1,41	1,32	1,44	1,12
IM	1,9	1,96	1,91	1,96	1,2	1,47	1,55	1,96	1,22
<i>Initiation</i>	1,76	1,64	1,76	1,83	1,45	1,43	1,57	2	1,14
<i>Mémoire de travail</i>	1,72	1,99	1,89	1,93	1,35	1,43	1,74	1,99	1,18
<i>Planification</i>	1,8	1,98	1,89	1,89	1,38	1,4	1,6	2,16	1,2
<i>Organisation du matériel</i>	2,33	2,13	1,93	2,16	1,8	1,51	1,25	1,59	1,13
<i>Contrôle</i>	2,04	2,15	2,13	2,1	1,58	1,66	1,54	1,93	1,32
CEG	1,9	1,91	1,86	1,87	1,43	1,43	1,47	1,82	1,19

Note. BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; EHPI : Enfants à Haut Potentiel Intellectuel ; * : population clinique issue du manuel de la BRIEF ; DL-DO : dyslexie-dysorthographe ; préma : prématurité ; NF1 : Neurofibromatose de type 1 ; EDT : Enfants au Développement Typique issus de notre étude ; DS : Déviation standard ; IRC : Indice de Régulation Comportementale ; IM : Indice de métacognition ; CEG : Score Composite Exécutif Global

L'analyse qualitative des scores des EHPI à la BRIEF (Parents, Enseignants) montre qu'ils avoisinent effectivement ceux des données françaises portant sur des populations cliniques, telles que les enfants présentant une DL-DO (âge moyen : 12 ans 3 mois [10 ans 11 mois – 14 ans 7 mois]), une prématurité (âge moyen : 9 ans 6 mois [6 ans 8 mois – 14 ans 9 mois]) ou encore une neurofibromatose de type 1 (âge moyen : 9 ans 6 mois [7 ans - 12 ans 11 mois]).

3.5.4 Convergence des BRIEF et échelles de Conners Parents et Enseignant

Le taux d'accord entre cotateurs (parents, enseignants) a été calculé (tableau 10), à la fois pour les scores cliniques significatifs ($T \geq 65$) et non significatifs ($T < 65$).

Tableau 10. Taux de congruence entre les scores obtenus à la BRIEF et à l'échelle de Conners (parents et enseignant) pour les enfants dont les deux scores étaient disponibles

	Congruent		Incongruent $T \geq 65$ pour :		Taux de congruence
	$T \geq 65$	$T < 65$	Parent	Enseignant	
BRIEF					
Inhibition	5	11	6	2	67% (16/24)
Flexibilité	2	11	9	1	57% (13/23)
Contrôle émotionnel	6	8	10	1	56% (14/25)
IRC	5	9	8	1	61% (14/23)
Initiation	2	15	5	2	71% (17/24)
MDT	4	12	5	2	70% (16/23)
Planification / organisation	3	13	6	0	73% (16/22)
Organisation du matériel	5	11	7	1	67% (16/24)
Contrôle	5	15	3	1	83% (20/24)
IM	4	12	6	0	73% (16/22)
CEG	2	15	5	2	71% (17/24)
Échelle de Conners					
Oppositionnel	4	14	7	1	69% (18/26)
Problèmes cognitifs / d'inattention	2	14	4	6	62% (16/26)
Hyperactivité	2	9	14	1	42% (11/26)
Index de Conners pour le DA-H	3	15	5	2	72% (18/25)

Note. BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; IRC : Indice de régulation comportementale ; IM : Indice de métacognition ; CEG : Score Composite Exécutif Global ; DA-H : Déficit d'attention avec hyperactivité

Les taux de convergence sont globalement bons, à l'exception de ceux concernant la flexibilité (57%) et le contrôle émotionnel (56%) pour la BRIEF et de l'échelle Oppositionnel pour le questionnaire de Conners (42%). Les discordances observées s'expliquent principalement par un nombre de scores significatifs plus important du côté des parents par rapport aux enseignants, à l'exception de l'échelle Problèmes cognitifs / d'inattention du questionnaire de Conners.

3.5.5 Étude de corrélation entre BRIEF Parents et Enseignant

Afin d'identifier plus précisément d'éventuelles relations entre les cotations réalisées par les parents et les enseignants, des études de corrélation (Spearman) entre les scores à la

BRIEF et à l'échelle de Conners en fonction du cotateur (parents, enseignant) ont été réalisées. Celles-ci ont porté tout d'abord sur les EDT à la BRIEF (tableau 11) puis à l'échelle de Conners (tableau 12). Les mêmes analyses ont été conduites au niveau du groupe d'EHPI (tableaux 13 et 14). Compte tenu des multiples comparaisons réalisées simultanément, seules les corrélations (rho de Spearman) dont la valeur de p était inférieure à .01 ont été considérées comme significatives.

Les corrélations significatives entre les scores provenant des deux cotateurs sont globalement modérées, quel que soit l'échantillon considéré (rho de Spearman compris entre 0.50 et 0.62).

Au sein du groupe d'EDT, deux sous-échelles enregistrent l'ensemble des corrélations significatives : l'*Inhibition* (parents) avec *Planification*, *Contrôle* et *IM* (enseignant) ; l'*Initiation* (enseignant) avec *Contrôle émotionnel*, *Mémoire de travail*, l'*IRC* et le *CEG* (parents). Les corrélations ne sont pas significatives pour l'échelle de Conners.

Concernant les EHPI, les corrélations significatives sont plus nombreuses. Le *CEG* et l'échelle *Contrôle* des deux cotateurs corréleront positivement, ainsi qu'entre elles. D'autres sous-échelles corréleront par ailleurs, comme *Inhibition* (enseignant) avec *IRC*, *Flexibilité*, *Contrôle émotionnel* et *CEG* (parents) ; l'échelle *Contrôle* (enseignant) avec *IRC*, *Flexibilité*, *IM* et *CEG* (parents). L'*IM* (parents) corréleront significativement avec *Organisation du matériel* et le *CEG* (enseignant). A l'échelle de Conners, les cotations des enseignants et des parents corréleront significativement en ce qui concerne la sous-échelle *Oppositionnel* et l'échelle *Oppositionnel* des enseignants corréleront avec l'*index de Conners pour le DA-H* (parents).

Tableau 11. Matrice de corrélation (rho de Spearman) des résultats obtenus par les enfants au développement typique à la BRIEF versions parents et enseignant

Parents Enseignant	Parents										
	IRC	Inhibition	Flexibilité	Contrôle émotionnel	IM	Initiation	MDT	Planification	Organisation du matériel	Contrôle	CEG
IRC	0.061	0.187	-0.011	-0.070	-0.018	-0.051	-0.073	0.240	0.056	0.082	0.124
Inhibition	0.146	0.441	-0.059	0.007	-0.042	0.074	0.118	0.204	0.008	0.348	0.205
Flexibilité	0.285	0.085	0.366	0.219	0.049	0.066	-0.199	0.319	-0.032	-0.041	0.224
Contrôle émotionnel	0.014	-0.096	-0.032	0.011	-0.203	-0.141	-0.305	-0.030	-0.172	-0.226	-0.092
IM	0.347	0.549**	-0.082	0.280	0.204	0.338	0.362	0.293	0.188	0.294	0.467
Initiation	0.507**	0.433*	0.141	0.532**	0.277	0.422*	0.531**	0.170	0.284	0.415*	0.528**
MDT	0.129	0.275	-0.244	0.132	0.177	0.077	0.352	0.143	0.021	0.200	0.233
Planification	0.329	0.539**	-0.066	0.249	0.110	0.262	0.370	0.194	0.042	0.280	0.377
Organisation du matériel	-0.077	-0.144	-0.269	-0.020	-0.004	-0.119	-0.074	0.045	0.015	-0.093	-0.037
Contrôle	0.340	0.508**	0.105	0.177	0.040	0.175	0.105	0.188	-0.055	0.266	0.294
CEG	0.279	0.455*	-0.075	0.172	0.108	0.175	0.185	0.267	0.209	0.243	0.377

Note. BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; IRC : Indice de régulation comportementale ; IM : Indice de métacognition ; MDT : Mémoire de travail ; CEG : Score Composite Exécutif Global, * : p <.05 ; ** : p <.01

Tableau 12. Matrice de corrélation (rho de Spearman) des résultats obtenus par les enfants au développement typique à l'échelle de Conners versions parents et enseignant

Parents Enseignant	Parents			
	Oppositionnel	Problèmes cognitifs / d'inattention	Hyperactivité	Index de Conners pour le DA-H
Oppositionnel	0.017	0.377*	0.028	0.089
Problèmes cognitifs / d'inattention	0.045	-0.033	-0.016	-0.254
Hyperactivité	0.289	0.348	0.186	0.166
Index de Conners pour le DA-H	0.239	0.245	0.412*	0.302

Note. DA-H : Déficit d'attention avec hyperactivité. * : p <.05 ; Pas de score significatif à p <.01

Tableau 13. Matrice de corrélation (rho de Spearman) des résultats obtenus par les enfants à haut potentiel intellectuel à la BRIEF versions parents et enseignant

Enseignant \ Parents	Parents										
	IRC	Inhibition	Flexibilité	Contrôle émotionnel	IM	Initiation	MDT	Planification	Organisation du matériel	Contrôle	CEG
IRC	0.480*	0.464*	0.451*	0.373	0.417*	0.300	0.344	0.236	0.298	0.444*	0.456*
Inhibition	0.588**	0.497*	0.542**	0.541**	0.503*	0.313	0.375	0.287	0.458*	0.440*	0.546**
Flexibilité	0.297	0.272	0.257	0.235	0.177	0.125	0.132	0.084	0.030	0.260	0.227
Contrôle émotionnel	0.468*	0.506*	0.287	0.338	0.317	0.253	0.269	0.214	0.233	0.372	0.385
IM	0.366	0.393	0.394	0.264	0.499*	0.461*	0.336	0.455*	0.209	0.490*	0.481*
Initiation	0.208	0.149	0.291	0.124	0.280	0.302	0.095	0.208	-0.010	0.375	0.275
MDT	0.156	0.248	0.139	0.017	0.499*	0.405	0.410	0.511*	0.250	0.413	0.398
Planification	0.301	0.240	0.404	0.257	0.307	0.233	0.106	0.234	0.180	0.286	0.314
Organisation du matériel	0.462*	0.405*	0.424*	0.378	0.556**	0.358	0.456*	0.492*	0.456*	0.471*	0.538**
Contrôle	0.618**	0.619**	0.582**	0.456*	0.611**	0.498*	0.421*	0.454*	0.475*	0.602**	0.650***
CEG	0.465*	0.486*	0.475*	0.352	0.562**	0.474*	0.406	0.496*	0.291	0.544**	0.556**

Note. BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; IRC : Indice de régulation comportementale ; IM : Indice de métacognition ; MDT : Mémoire de travail ; CEG : Score Composite Exécutif Global. *p < .05 ; ** : p < .01 ; ***p < .001

Tableau 14. Matrice de corrélation (rho de Spearman) des résultats obtenus par les enfants à haut potentiel intellectuel à l'échelle de Conners versions parents et enseignant

Enseignant \ Parents	Parents			
	Oppositionnel	Problèmes cognitifs / d'inattention	Hyperactivité	Index de Conners pour le DA-H
Oppositionnel	0.617 ***	0.485*	0.281	0.529**
Problèmes cognitifs / d'inattention	0.344	0.378	0.394	0.296
Hyperactivité	0.303	0.222	0.106	0.244
Index de Conners pour le DA-H	0.449*	0.445*	0.272	0.426*

Note. DA-H : Déficit d'attention avec hyperactivité ; *p < .05 ; ** : p < .01 ; ***p < .001

3.5.6 Corrélations entre mesures basées sur la performance et questionnaires de la BRIEF version Parents et Enseignant

Des analyses complémentaires sont ici proposées afin d'étudier les relations éventuelles entre les mesures basées sur la performance et les mesures de situations de vie quotidienne.

Les corrélations sont dans leur ensemble très faibles et rares sont celles qui s'avèrent significatives, quel que soit le groupe (tableaux 15 et 16). Ainsi, seuls les scores d'imprécision et d'erreurs au Test des 8 labyrinthes corrélaient significativement avec l'*IM* et le *CEG* (version parents) au sein du groupe d'EHPI. Concernant les EDT, l'empan de Mémoire des chiffres en ordre inverse corrélaient significativement avec l'*IRC* (parents), et l'empan de Mémoire des images avec le *CEG* renseigné par les enseignants.

Tableau 15. Corrélations (rho de Spearman) entre les scores obtenus par les EHPI aux mesures basées sur la performance et aux questionnaires de la BRIEF, selon le cotateur (Parents, Enseignant)

Test	Cotateur Mesure	IRC		IM		CEG		Échelles significatives
		P	E	P	E	P	E	
Stroop	Erreurs	0.14	0.28	0.28	0.42	0.13	0.26	
(FÉE)	Temps	0.21	0.36	0.13	0.26	0.14	0.30	
Barre-Joe	Temps	0.37*	0.33	0.28	0.25	0.31	0.26	
(FÉE)	Imp	0.36	0.18	0.54**	0.37	0.51**	0.29	Ctrl***, Mdt (P)** ; Ini (E)**
	Evo Tps	-0.01	-0.00	0.20	-0.17	0.17	-0.12	
	Evo Imp	0.23	-0.15	0.18	-0.07	0.20	-0.10	
KCST	Temps	0.19	0.17	0.03	0.12	0.10	0.12	
(FÉE)	Catég	0.10	-0.06	-0.03	0.04	0.26	0.04	
	Per	0.17	0.23	0.01	0.12	0.07	0.17	
	Abd	0.14	0.03	0.04	0.03	0.08	0.00	
Laby	Tps	0.12	-0.12	0.00	-0.11	0.06	-0.16	
(FÉE)	Erreurs	0.42*	0.34	0.54**	0.32	0.54**	0.35	Mdt**, Ctrl (P)***
	Term	-0.09	0.29	0.02	0.14	0.04	0.19	
FR	Copie	-0.09	0.18	-0.15	0.25	-0.11	0.25	
MDC	NS	-0.18	-0.18	-0.14	-0.11	-0.15	-0.15	
(WISC-V)	EMCD	-0.30	-0.31	0.00	-0.10	-0.10	-0.14	
	EMCI	-0.12	-0.14	-0.02	-0.07	-0.04	-0.02	
	EMCC	-0.12	-0.42*	-0.07	-0.32	-0.06	-0.4	
MIM	NS	0.09	0.17	0.12	0.13	0.16	0.13	
(WISC-V)	EMIM	-0.05	0.02	0.07	0.21	0.08	0.16	
Production de mots (NEPSY-II)	Sémantique	-0.21	-0.07	-0.10	0.22	-0.12	0.15	
	Lettre initiale	-0.14	-0.23	-0.07	-0.03	-0.10	-0.08	

Note. BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; IRC : Indice de régulation comportementale ; IM : Indice de métacognition ; CEG : Score composite exécutif global ; P : Parents ; E : Enseignant ; Stroop : Condition d'interférence ; FÉE : Batterie Fonctions exécutives de l'enfant ; Barre-Joe, Imp, : Imprécision, Evo Tps : évolution dans le temps, Evo Imp : évolution de l'imprécision ; KCST (Catég, Per, Abd) : Kids Card Sorting Test (Catégories, Persévérations, Abandons prématurés) ; Laby (Term) : Test des 8 Labyrinthes (Terminés) ; FR : Figure de Rey ; MDC : Mémoire des chiffres, NS : note standard, EMCD : Empan mémoire des chiffres en ordre direct ; EMCI : Empan mémoire des chiffres en ordre inverse ; EMCC : Empan mémoire des chiffres en ordre croissant ; (E)MIM : (Empan) Mémoire des images ; WISC-V : échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, 5^{ème} édition ; NEPSY-II : Bilan neuropsychologique de l'enfant, 2^{nde} édition.

Ctrl : Contrôle ; Mdt : Mémoire de travail ; Ini : Initiation.

* : $p < .05$; ** : $p < .01$

Tableau 16. Corrélations entre les scores obtenus par les EDT aux mesures basées sur la performance et aux questionnaires de la BRIEF, selon le cotateur (Parents, Enseignant)

Test	Cotateur Mesure	IRC		IM		CEG		Echelles significatives
		P	E	P	E	P	E	
Stroop	Erreurs	0.16	-0.05	-0.05	0.02	0.07	-0.05	
	Temps	0.28	-0.05	0.03	-0.06	0.33	-0.08	
Barre-Joe	Temps	0.25	-0.10	-0.06	0.01	0.20	-0.06	
	Imp	-0.14	0.08	-0.06	-0.06	-0.04	-0.01	
	Evo Tps	-0.15	0.02	-0.20	-0.22	-0.18	-0.16	
	Evo Imp	0.08	0.14	0.25	0.23	-0.01	0.16	
KCST	Temps	0.13	-0.12	0.24	0.00	0.17	-0.05	
	Catég	-0.32	0.11	-0.16	-0.04	-0.40*	-0.04	
	Per	0.12	-0.05	0.23	0.33	0.23	0.26	
	Abd	0.20	-0.22	0.12	-0.11	0.32	-0.10	
Laby	Tps	-0.04	-0.11	0.27	-0.19	0.06	-0.12	
	Erreurs	0.25	-0.23	0.23	-0.20	0.32	-0.19	Org mat (E)**
	Term	-0.20	0.13	-0.10	-0.11	-0.31	-0.15	
FR	Copie	-0.20	0.10	-0.26	-0.31	-0.30	-0.14	
MDC (WISC-V)	NS	-0.11	-0.32	-0.05	-0.02	-0.23	-0.18	
	EMCD	-0.30	0.01	-0.13	0.14	-0.22	0.06	
	EMCI	-0.44**	-0.03	0.13	0.01	-0.30	0.02	Flex (P)**
	EMCC	-0.25	0.06	-0.01	0.11	-0.13	0.13	
MIM (WISC-V)	NS	-0.12	0.02	-0.40*	-0.04	-0.10	0.06	
	EMIM	-0.01	0.50*	-0.03	0.40*	0.16	0.52**	
Production de mots (NEPSY-II)	Sémantique	-0.02	0.36	-0.24	0.17	-0.04	0.27	Initiation (E)**
	Lettre initiale	0.39*	-0.01	0.06	0.22	0.32	0.16	

Note. BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; IRC : Indice de régulation comportementale ; IM : Indice de métacognition ; CEG : Score composite exécutif global ; P : Parents ; E : Enseignant ; Stroop : Condition d'interférence ; FÉE : Batterie fonctions exécutives de l'enfant ; Barre-Joe, Imp, : Imprécision, Evo Tps : évolution dans le temps, Evo Imp : évolution de l'imprécision ; KCST (Catég, Per, Abd) : Kids Card Sorting Test (Catégories, Persévérations, Abandons prématurés) ; Laby (Term) : Test des 8 Labyrinthes (Terminés) ; FR : Figure de Rey ; MDC : Mémoire des chiffres, NS : note standard, EMCD : Empan mémoire des chiffres en ordre direct ; EMCI : Empan mémoire des chiffres en ordre inverse ; EMCC : Empan mémoire des chiffres en ordre croissant ; (E)MIM : (Empan) Mémoire des images ; WISC-V : échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, 5^{ème} édition ; NEPSY-II : Bilan neuropsychologique de l'enfant, 2^{nde} édition.

Org mat : Organisation du matériel ; Flex : Flexibilité mentale.

* : $p < .05$; ** : $p < .01$

3.5.7 Étude de cas

Nous proposons maintenant d'analyser les résultats du participant présentant un déficit de l'ensemble des FE à la batterie FEE (Article III), afin de savoir si des particularités sont

également observées en situation de vie quotidienne. Les résultats obtenus par ce participant à la BRIEF et à l'échelle de Conners ont été transformés selon les normes des deux outils et sont présentés dans le tableau 17.

Tableau 17. Étude de cas : scores à la BRIEF et à l'échelle de Conners complétés par les parents et le professeur

	Parents		Enseignant	
	Note T	Percentile	Note T	Percentile
BRIEF				
IRC	76	99	-	-
Inhibition	73	99	68	94
Flexibilité	55	74	-	-
Contrôle émotionnel	81	99	71	94
IM	61	87	-	-
Initiation	49	57	42	38
Mémoire de travail	57	79	51	68
Planification	62	91	-	-
Organisation du matériel	69	99	72	94
Contrôle	54	72	55	73
CEG	68	96	-	-
Échelle de Conners				
Oppositionnel	61	-	52	-
Problèmes cognitifs / d'inattention	56	-	74	-
Hyperactivité	76	-	43	-
Index de Conners pour le DA-H	59	-	56	-

Note. Les scores moyens sont des scores T (M = 50, DS : 10 dans les données normatives), les scores cliniquement significatifs sont inscrits en gras : T ≥ 65 ; « - » : score ne pouvant être calculé en raison d'items manquants ou scores indisponibles.

BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives ; IRC : Indice de régulation comportementale ; IM : Indice de métacognition ; CEG : Score Composite Exécutif Global ; DA-H : Déficit d'attention avec hyperactivité

Les scores au questionnaire parental témoignent de plaintes significatives concernant les FE sur le versant comportemental (CEG significatif). Les difficultés les plus marquées concernent la régulation comportementale (IRC) avec des échelles d'Inhibition et de Contrôle émotionnel significatives pour les parents et l'enseignant. L'organisation du matériel fait l'objet de plaintes, autant dans le milieu scolaire que familial. Bien qu'une cohérence soit observée entre les deux formes de questionnaires (parents/enseignants), les scores aux

échelles Flexibilité et Planification, les deux indices (IM et IRC) et le CEG n'ont pu être calculés. Les échelles de Conners rapportent également des particularités comportementales (type hyperactivité pour les parents et problèmes cognitifs/inattention pour l'enseignant), sans critère évocateur d'un TDA/H (Index de Conners pour le DA-H non significatif).

4. Discussion générale

4.1 Préambule

Cette thèse avait pour objectif d'apporter un nouvel éclairage sur le fonctionnement cognitif des EHPI et fournir des éléments de réponse quant à l'idée de difficultés « relatives » (en comparaison à leur niveau d'efficacité intellectuelle) ou de troubles cognitifs au sein de cette population, par l'approche neuropsychologique. Bien que ce questionnement puisse paraître à première vue paradoxal, il est l'objet de réelles préoccupations pour les professionnels amenés à diagnostiquer et prendre en charge les troubles des apprentissages de ces enfants. La problématique est également largement abordée dans le domaine de l'éducation avec des enfants qui, bien que très intelligents, n'atteignent pas forcément le niveau de réussite scolaire attendu. Des facteurs motivationnels et certaines attitudes (comme le perfectionnisme) ont souvent été avancés pour expliquer ce phénomène (McCoach & Siegle, 2003 ; Mofield & Peters, 2019), mais peu d'études ont finalement été conduites pour comprendre leur fonctionnement cognitif.

Un faisceau d'arguments laisse pourtant à penser que les EHPI pourraient présenter certaines particularités sur le plan neuropsychologique (Jambaqué, 2004). Beaucoup de cliniciens et chercheurs ont intégré en filigrane le concept de « dyssynchronie » (Terrassier, 2009 ; Silverman, 1997) pour caractériser le fonctionnement cognitif de ces enfants. Ce concept relativement flou fait référence à une hétérogénéité entre le niveau intellectuel (supérieur) des EHPI et d'autres secteurs de leur développement (et au sein même du fonctionnement cognitif), comme la motricité ou les aspects socio-affectifs. Considérée par certains comme une caractéristique du profil des EHPI, cette hétérogénéité pourrait entraîner un risque accru de difficultés (Vaivre-Douret & Planche, 2020). Bien que ce concept soit régulièrement mentionné par les professionnels et les chercheurs, aucune démonstration claire du problème n'a été réalisée jusqu'à présent. Dans le cadre de cette thèse, nous avons fait le choix d'étudier deux aspects de leur fonctionnement qui pourraient être concernés par

ce phénomène, sur les plans praxique et exécutif. En effet, il est régulièrement fait allusion à un fonctionnement moteur inférieur au niveau intellectuel chez l’EHPI, allant pour certaines études jusqu’à questionner la présence d’un trouble des praxies (Stoeger et al., 2013). Sur le plan exécutif, les études empiriques ont abouti à des résultats contradictoires, avec des performances supérieures ou comparables à celles d’enfants de même âge avec une intelligence située dans la moyenne. Plusieurs articles et descriptions établissant, entre autres, un rapprochement entre HPI et du TDA/H (ou un fonctionnement cognitif « qualitativement » différent) suggèrent quant à eux un fonctionnement exécutif possiblement entravé.

Nous avons ainsi testé l’hypothèse de dysfonctionnements dans ces domaines auprès d’un échantillon de 30 EHPI appariés à 35 EDT.

Nous proposons, dans cette discussion générale, de traiter distinctement les éléments de réponse concernant l’hypothèse d’un trouble sur le plan praxique, puis sur le plan exécutif, avant d’en faire une synthèse et ainsi, documenter de manière scientifique le fonctionnement cognitif de ces enfants. La notion de trouble cognitif au sein de la population d’EHPI sera discutée sur la base de l’ensemble de ces éléments.

4.2 L’hypothèse d’un trouble praxique

4.2.1 Rappel des hypothèses et des résultats

L’hypothèse d’un trouble praxique a tout d’abord été appréhendée à travers une revue de la littérature (article I). Sur les 15 études sélectionnées, l’une d’entre elles abordait le fonctionnement praxique, au décours d’une problématique traitant des liens entre FE et intelligence (Arffa, 2007). L’évaluation, limitée aux praxies visuo-constructives, était conduite à l’appui de la figure de Rey. Les performances des EHPI ne se différenciaient pas des deux autres groupes d’enfants avec un niveau d’intelligence situé dans la moyenne ou dans la moyenne supérieure. Aucune étude complète des praxies de ces enfants n’a été répertoriée à l’occasion de cette revue systématique.

La question d'un trouble du geste chez l'EHPI a été traitée plus spécifiquement dans la première étude expérimentale (article II). En préambule de cette recherche, un nouvel état de l'art était proposé, intégrant une diversité d'études, aux méthodologies variables, aboutissant à une vue parcellaire du fonctionnement moteur des EHPI, comme rapporté dans la problématique de la thèse. L'objectif de cette recherche était donc d'explorer de manière plus systématique le fonctionnement pratique des EHPI et ce, de façon théoriquement guidée (Roy & Square, 1985 ; Roy, 1996 ; Stamenova et al., 2012). L'examen gestuel a par ailleurs été construit selon les recommandations élaborées pour des enfants présentant un TDC (Blank et al., 2019), tout en intégrant les propositions actuelles dans le domaine, incluant une évaluation de l'utilisation réelle d'objets familiers et du raisonnement technique (Remigereau & Costini, 2018). Cet examen comprenait à la fois des mesures basées sur la performance et des mesures de situations de vie quotidienne. Le nombre de Signes Neurologiques Mineurs (SNM) était par ailleurs recueilli à l'occasion d'un examen neurologique, dans le but de renseigner l'efficacité des voies motrices.

Les résultats ont montré que les parents d'EHPI formulaient plus de plaintes concernant le fonctionnement moteur de leur enfant, par comparaison avec les parents d'EDT. Plus précisément, ils estimaient que certains comportements (inattention, désorganisation) entravaient la réalisation d'activités motrices dans les situations de vie quotidienne. A l'examen neurologique, les EHPI présentaient davantage de SNM. En revanche, contrairement à ce qui était attendu, les deux groupes ne se différençaient pas sur la majeure partie des mesures basées sur la performance dans le domaine gestuel (praxies visuo-constructives, utilisation réelle d'objets, praxies gestuelles, praxies idéomotrices, coordinations, graphomotricité). Seule une tendance à la significativité était retrouvée pour la qualité de l'écriture des EHPI, pour les EHPI ayant été soumis au BHK version enfant (âge scolaire : 6 ans 8 mois – 11 ans 2 mois).

La dispersion des scores au BHK au sein de l'échantillon d'EHPI d'âge scolaire laissait entrevoir quelques individus dont les performances s'écartaient de la moyenne (score de

dégradation supérieur), invitant à la réalisation d'une « micro-analyse ». Cette hétérogénéité au sein du groupe d'EHPI était confirmée par l'analyse de profils des 17 EHPI d'âge scolaire (annexe 12), qui révélait que 4 d'entre eux (23,5%) présentaient des scores déficitaires en qualité d'écriture (en comparaison aux EDT), alors qu'aucun des EDT ne présentait de score déficitaire (annexe 13). Ces mêmes enfants étaient principalement ceux qui enregistraient le plus de SNM et de plaintes parentales concernant leur fonctionnement moteur dans les activités de vie quotidienne. Pour ces enfants-là, contrairement à ce que les effets de groupe laissaient présager, les plaintes parentales ne concernaient pas uniquement les facteurs « non moteurs ». Des difficultés étaient en effet rapportées dans des situations pouvant impliquer 1) des environnements statiques/prévisibles : enfiler un vêtement, boutonner, écrire, utiliser les ciseaux, sauter à pieds joints, à cloche-pied, etc. 2) des environnements dynamiques/non prévisibles : éviter les personnes en mouvement, bouger en rythme, saisir une balle, frapper une balle alors qu'elle est en mouvement, faire de la bicyclette, etc. Enfin, bien que les analyses de groupes aient mis en évidence davantage de SNM dans le groupe d'EHPI par rapport aux EDT, ces signes concernaient principalement quelques sujets, comme le montrait l'analyse de profil des EHPI d'âge scolaire.

Le travail de thèse a également examiné les liens entre différents types de résultats, selon qu'il s'agit de mesures basées sur la performance ou des mesures de vie quotidienne. Conformément aux prédictions émises, des corrélations négatives ont été mises en évidence entre certaines mesures basées sur la performance, notamment concernant l'utilisation d'objets mais aussi les imitations de postures (comme chez les EHPI), et les scores au questionnaire parental chez les EDT. En effet, plus les scores aux tests basés sur la performance sont élevés, moins les scores de difficultés motrices attribués par les parents sont importants. Chez les EHPI, des corrélations positives ont été mises en évidence. En effet, plus les participants avaient des scores de dégradation élevés en écriture et plus ils présentaient de SNM, plus les questionnaires parentaux rapportaient des difficultés en situation de vie quotidienne.

4.2.2 Interprétation des résultats en regard des théories

En référence aux modèles théoriques de l'apraxie (Roy & Square, 1985 ; Roy, 1996 ; Stamenova et al., 2012) les résultats de la présente étude sont en faveur d'une préservation du système conceptuel chez les EHPI, dans la mesure où ils utilisent convenablement les outils et sont même en capacité de transformer les propriétés physiques d'objets pour résoudre des problèmes de type mécanique. Pour les quelques enfants présentant une moindre qualité de graphisme, un manque d'efficacité du système de production doit être évoqué. L'écriture mal formée est souvent associée à un défaut d'automatisation du geste d'écriture. Chez les EHPI, ce phénomène a été interprété probablement trop rapidement comme un manque d'investissement de certaines fonctions (non exercées) car non reconnues par l'environnement (Vaivre-Douret, 2004). Ceci n'a cependant jamais été démontré, et ne tient pas compte des facteurs susceptibles d'entraver l'utilisation compétente de l'outil scripteur. Ainsi, la régularité de l'exercice, la tenue du crayon, la force utilisée et l'appréhension des propriétés physiques de l'outil nécessitent d'être pris en compte pour une étude complète des facteurs impliqués dans la qualité et la cinématique de l'écriture (Burger, 1984).

Si les difficultés des EHPI dans ce domaine sont probablement multifactorielles, le facteur neuromusculaire mériterait d'être pris en considération. Une étude conduite sur des adolescents HPI (Peyrebrune, 2018) a en effet montré des difficultés d'écriture (variations dans le tracé des lettres troncs et formation de nombreuses lettres ambiguës au BHK) pouvant témoigner d'une inconstance de la vitesse du mouvement, ou instabilité de l'isochronie (Zesiger, 1995). Le postulat d'isochronie repose sur la tendance à maintenir constante une durée d'exécution d'une figure ou d'un mot en dépit des variations de sa taille ou de sa longueur. La production d'une écriture mixte (mélange de styles d'écriture) plus importante a également été mise en évidence chez les adolescents à HPI. Il s'agit d'une stratégie d'optimisation de l'écriture afin de gagner en rapidité, mais qui ne permettrait pas complètement aux adolescents HPI de répondre aux exigences de l'environnement pour autant, et ne permet pas de résoudre le problème de qualité de l'écriture.

Ce type de manifestation peut amener à envisager les difficultés de ces quelques EHPI comme la résultante, non pas d'un trouble praxique « pur », au sens où les représentations relatives au geste d'écriture apparaissent bel et bien présentes et accessibles, mais relevant plutôt de processus moteurs de base (Peigneux & Betsch, 2009). En outre, dans le cas de ces enfants, l'atteinte du système de production apparaît tout particulièrement sélective dans la mesure où la dextérité manuelle, par exemple, est intacte. La présence en nombre de SNM chez ces enfants pourrait constituer une piste explicative à ces difficultés ou tout du moins, suggérer une possible étiologie commune (Cermak, 1985 ; Vaivre-Douret et al., 2011b). L'hypothèse d'une « simple » co-occurrence n'est cependant pas à exclure, tant la signification de ces signes reste méconnue et peu spécifique, compte tenu de leur présence dans des contextes cliniques variés.

L'examen des SNM a été initialement bâti pour rendre compte de la manière dont le cerveau de l'enfant était capable de traiter les demandes émanant de l'environnement (Touwen, 1979), renseignant ainsi l'efficacité de son fonctionnement sur le plan clinique. Le cerveau des enfants se trouvant en cours de développement, la présence des SNM reflète l'immaturation de leur cerveau et ne signe en aucun cas la présence d'une pathologie neurologique fixée ou évolutive. Leur persistance dans le temps (ou leur association entre eux) est interprétée comme une différence neurologique mineure, pouvant témoigner d'un développement non optimal mais néanmoins normal du cerveau (Fellick et al., 2011). De nombreuses études indiquent une fréquence accrue de ces signes chez les enfants présentant une pathologie neurologique néonatale, un trouble du neurodéveloppement ou des difficultés d'apprentissage (Gong et al., 2015 ; Hertzog, 1981 ; Jong et al., 2011). Les enfants avec difficultés graphomotrices ou dysgraphie sont également plus enclins à présenter des SNM (van Hoorn et al., 2013). Les connaissances quant aux substrats neuro-anatomiques sous-tendant ces signes sont cependant limitées. L'examen des SNM (et des signes neurologiques complexes) dans ce contexte est considéré comme un outil clinique permettant de se représenter l'étendue du réseau

impliqué dans l'atteinte du graphisme (de multiples aires cérébrales étant impliquées dans la compétence d'écriture), plutôt qu'un examen recherchant des signes focaux.

Plusieurs limites doivent être signalées concernant cet examen en général, ainsi que dans le cadre de la présente étude. En effet, cet examen est parfois critiqué en raison des incertitudes quant à la signification clinique de ces signes et en l'absence de conduite à tenir en cas de mise à jour de signes positifs (Fellick, 2011). Dans le cadre de cette étude, l'adaptation de l'examen de Touwen (1979) aux particularités de notre population (tranche d'âge, spécificité développementale de la population) n'a pas fait l'objet d'une validation préalable. Les conditions de standardisation, de cotation et de normalisation de la grille initiale présentant un certain nombre de limites, la valeur de cette évaluation peut être questionnée et ce d'autant que l'examen n'a pas été conduit « en aveugle ». L'hypothèse sous-jacente d'un fonctionnement cérébral atypique reste ainsi à confirmer. Si ces résultats étaient corroborés et/ou étayés, alors ils viendraient renforcer l'hypothèse selon laquelle les EHPI concernés par un trouble dans le geste d'écriture pourraient présenter une atteinte partielle du système de production, plus spécifiquement au niveau neuromoteur.

Dans le cadre de la présente étude, il serait intéressant de proposer une ré-évaluation des enfants présentant ce profil, à la fois sur le plan graphomoteur et au niveau neurologique, afin d'évaluer la persistance de ces signes dans le temps et statuer quant à leur évolution au cours du développement. L'absence de différence significative à l'adolescence entre les groupes d'EHPI et d'EDT au niveau de l'écriture, telle qu'objectivée par cette recherche, pourrait témoigner d'un simple retard de maturation (ou d'une maturation différente) du cerveau au cours du développement chez certains EHPI, qui pourrait se résorber à l'adolescence. Plusieurs études ont en effet souligné que les compétences graphiques et visuo-motrices des EHPI d'âge pré-scolaire et scolaire étaient conformes à ce qui est attendu pour l'âge, mais néanmoins inférieures à d'autres secteurs de leur développement cognitif (Hernández Finch et al., 2014 ; Yates et al., 1995). La maturation du cerveau connaît un pattern développemental différent selon le niveau d'intelligence, au moins

jusqu'à l'adolescence (Shaw et al., 2006). Une hypothèse a été proposée selon laquelle la maturation cérébrale des EHPI connaîtrait des périodes sensibles, lors desquelles le développement de certaines compétences serait plus précoce que celui des enfants d'intelligence moyenne. Toutefois, les compétences normalement acquises ultérieurement dans ce domaine ne se développeraient pas forcément si précocement par la suite (Vaivre-Douret, 2004). Le développement moteur est cité en exemple, avec la réalisation de simulacres d'écriture chez les EHPI vers l'âge de 34 mois, alors que des difficultés seraient souvent constatées à l'âge scolaire pour l'écriture et d'autres activités motrices (apprentissage des lacets). Les résultats d'une autre étude confirment l'idée selon laquelle l'écriture serait plutôt en rapport avec l'âge des EHPI à certains moments de leur développement, plutôt qu'en avance (Knoff & Sperling, 1986). Il faut ainsi noter que la survenue plus précoce de certaines phases de maturation cérébrale chez l'EHPI est susceptible d'engendrer un écart plus important de performances entre les deux populations (ou de réduire cet écart) à certains moments de leur développement. Ainsi, la précocité ne peut se résumer à un processus développemental uniformément accéléré (Planche, 1998).

Enfin, contrairement à ce qui était attendu, les EHPI présentaient des performances supérieures aux EDT dans certains domaines gestuels, tels que le raisonnement technique et les praxies visuo-constructives. Soumis à une tâche de résolution de problèmes mécaniques, les EHPI réalisaient plus d'actions attendues pour parvenir au résultat escompté (extraire une bille d'un dispositif en plexiglass à l'aide d'outils). Ils étaient aussi plus nombreux à copier la figure de Rey selon une stratégie « mature » (normalement observée chez des enfants plus âgés). Ces deux épreuves ont en commun de solliciter les FE, principalement les aptitudes de planification. Une supériorité de leurs FE pourrait donc expliquer ces différences. Cette hypothèse restait cependant à vérifier, dans la mesure où la revue de la littérature recensait deux études indiquant plutôt des performances comparables entre EHPI et EDT aux épreuves de planification (Montoya-Arenas et al., 2018 ; Segalowitz et al., 1992). Les résultats des études regroupées dans la thèse ont cependant

invalidé cette hypothèse (voir la section suivante). Finalement, les hautes performances des EHPI à certaines tâches pratiques pourraient plutôt suggérer l'implication du facteur g dans l'expression de certains gestes, laissant transparaître un haut niveau « d'intelligence » (Osiurak & Heinke, 2018) au sein de cette population.

En conclusion, les EHPI ne présentent pas plus de déficit au niveau des praxies, appréhendées par des mesures basées sur la performance. Seuls quelques individus, principalement d'âge scolaire, sont concernés par de faibles scores d'écriture, lesquels sont souvent associés, chez ces mêmes sujets, à un nombre plus élevé de SNM et de plainte dans les activités motrices de la vie quotidienne. A l'échelle du groupe, des plaintes au niveau de l'organisation gestuelle sont émises par les parents, vraisemblablement imputées à des facteurs psychologique et cognitif (inattention, désorganisation, peur de l'échec), notamment exécutif/attentionnel. Ces données peuvent suggérer la présence de particularités attentionnelles/exécutives, comme évoqué dans la problématique de la thèse, pouvant interférer avec l'activité gestuelle.

4.3 L'hypothèse d'un trouble des fonctions exécutives

4.3.1 Rappel des hypothèses et résultats aux mesures basées sur la performance

L'hypothèse d'un trouble exécutif chez l'EHPI a d'abord fait l'objet d'un état des lieux via la revue systématique de la littérature (article I). Si les fonctions attentionnelles étaient globalement supérieures chez les EHPI, les résultats concernant les FE étaient plus contrastés, avec des résultats tantôt comparables, tantôt supérieurs aux EDT. La synthèse de ces recherches rendait compte cependant de résultats contradictoires, d'évaluations parcellaires et de mesures difficilement comparables entre études (malgré, pour certaines, l'utilisation de tests identiques) ou encore, de manière plus surprenante, l'emploi de mesures non exécutives.

Conformément aux résultats préliminaires de la revue de la littérature, notre hypothèse était que les EHPI ne présenteraient pas plus de déficit exécutif que les EDT (Article III) et que leurs performances exécutives seraient donc a minima comparables, voire supérieures, à celles des EDT (partie « Explorations complémentaires des FE »). Un examen des FE a été conduit en référence au modèle de Diamond (2013), associant notamment plusieurs subtests de la batterie FEE (Roy et al., à paraître), du WISC-V et un subtest de la NEPSY-II, afin d'examiner les fonctions de planification, d'inhibition, de flexibilité mentale et de mémoire de travail. Les résultats obtenus à la batterie FÉE ont été analysés auprès de 28 EHPI, sélectionnés sur la base de l'âge afin d'être comparés aux normes de l'outil, allant de 6 ans et demi à 16 ans (article III). Les résultats indiquent que les EHPI ne présentaient pas plus de scores d'alerte (percentile ≥ 90), de déficit (percentile ≥ 95) ou de déficit sévère (percentile ≥ 99) que ce qui était normalement attendu dans la population générale. La majeure partie des participants (68%) n'obtenait aucun score déficitaire. Il est cependant noté que 4 sujets étaient concernés par l'association d'au moins deux mesures déficitaires et que l'un d'entre eux présentait des scores de déficits touchant l'ensemble des FE. Les données de l'anamnèse de ce participant révélaient la présence d'un trouble des apprentissages (DL-DO) susceptible d'expliquer les déficits exécutifs, ceux-ci étant fréquemment associés à ce trouble du neurodéveloppement (Varvara et al., 2014).

Des analyses complémentaires ont été réalisées afin de situer plus précisément les performances exécutives des EHPI par rapport à celles des EDT. En effet, la revue de la littérature rapportait des performances comparables (au niveau des fonctions d'inhibition et de planification) et/ou supérieures (au niveau des fonctions de flexibilité et de mémoire de travail) chez les EHPI en comparaison avec des EDT. La faible prévalence des déficits exécutifs (Article III) et les bonnes performances dans les tâches pratiques impliquant la planification (Article II) pouvaient laisser présager de performances potentiellement supérieures pour le groupe d'EHPI. Pour apporter des réponses à cette interrogation, les différences des moyennes entre les deux groupes à l'ensemble des

mesures exécutives ont été testées statistiquement. L'hypothèse d'une supériorité de leurs performances ne peut cependant être retenue. Les EHPI et les EDT ont obtenus des performances comparables sur une large partie des mesures, à l'exception de trois mesures. La première concerne l'évolution du temps de réalisation à la tâche du Barre-Joe, impliquant principalement les fonctions d'attention et d'inhibition. A cette épreuve, le temps de réalisation des EHPI augmentait légèrement au cours de la tâche, tandis qu'il décroissait chez les EDT. Pour autant, seuls 3 EHPI enregistraient des scores réellement déficitaires sur cette mesure en comparaison aux EDT (Article III), laissant à penser qu'il s'agissait plutôt d'une tendance au niveau du groupe, plutôt qu'une prévalence significative de déficit. Le score d'imprécision étant comparable entre les groupes, l'hypothèse d'un problème touchant la fonction d'inhibition pouvait être également rejetée. Enfin, les résultats des EHPI se sont avérés supérieurs à ceux des EDT pour certaines des mesures évaluant la mémoire de travail : l'empan endroit de chiffres (Mémoire des chiffres, WISC-V) et la note standard et l'empan endroit visuel (Mémoire des images, WISC-V). Le fait que les EHPI présentent des performances supérieures en mémoire de travail peut largement s'expliquer par un biais d'échantillonnage ayant consisté à répartir les participants en fonction de leur QIT (ou estimation du QIT pour les EDT), ce quotient reposant en partie sur les résultats à des subtests de mémoire de travail comparables voire identiques.

En conclusion, nos résultats tendant à corroborer la récente revue de la littérature au sujet d'enfants avec intelligence dans la moyenne supérieure à très supérieure (EHPI), qui indiquait des performances comparables aux EDT au niveau des fonctions d'inhibition, de flexibilité mentale et planification, mais plutôt supérieures en ce qui concerne la mémoire de travail (Viana-Sáenz et al., 2020).

5.3.2 Apport des mesures de situations de vie quotidienne

Outre ces comparaisons de mesures basées sur la performance, les fonctions exécutives/attentionnelles ont également été appréhendées par deux questionnaires (BRIEF et questionnaire de Connors), complétés par les parents et les enseignants des EHPI et des EDT. L'hypothèse selon laquelle les deux groupes ne se différencieraient pas au niveau de ces mesures a été invalidée. Les EHPI avaient en effet des scores significativement supérieurs à ceux des EDT aux deux questionnaires, quel que soit le milieu, familial ou scolaire. Les plaintes les plus fréquemment rapportées via la BRIEF concernaient tout d'abord la régulation comportementale et notamment le contrôle émotionnel. Ces résultats témoignent de réponses émotionnelles qui semblent plus faiblement modulées chez les EHPI, paraissant disproportionnées au vu de l'événement qui vient de se produire, en apparence anodin. Bien que l'étiquette « d'hypersensible » soit souvent accolée à la notion de HPI (Guignard & Zenasni, 2004 ; Kieboom, 2011), la recherche visant à documenter leur fonctionnement émotionnel fournit des éléments contradictoires (Cuche & Brasseur, 2017) et ne permet pas en définitif de trancher cette question. Notre revue de la littérature (article I) s'est intéressée, entre autres, aux processus émotionnel et social des EHPI, apportant quelques éléments de réponse. Les études se basant sur des tests directs ne révélaient pas plus de difficulté par rapport aux EDT (Segalowitz et al., 1992), et même, plutôt des habiletés supérieures (Chung et al., 2011 ; Knepper et al., 1983). En revanche, la seule étude examinant leur comportement dans ces domaines via des questionnaires renseignés par les parents et les enseignants rapportait davantage de plaintes (Chae et al., 2003).

Jusqu'à présent, seule une étude à notre connaissance s'était attachée à proposer une évaluation des FE chez les EHPI sur le versant comportemental (Hernández Finch et al., 2014) en se basant sur la BRIEF. Celle-ci n'a pas été retenue dans le cadre de notre revue de la littérature en raison des critères utilisés pour l'identification des EHPI. L'étude portait sur un échantillon de 61 enfants d'âge préscolaire, inclus sur la base d'un QIV ou d'un QIP les situant dans les 2 à 3% parmi

les meilleurs (WPPSI-III). Seule la moyenne du groupe pour chaque mesure était comparée aux normes des outils utilisés (*Behavior Assessment System for Children - BASC* et la BRIEF), sans que les différences n'aient été testées sur le plan statistique. Les auteurs notaient cependant que l'étendue des scores semblait témoigner d'un niveau de fonctionnement exécutif très divers. Les résultats de la thèse renforcent et étayent cette idée.

Au vu des nombreuses différences significatives enregistrées aux mesures de la BRIEF entre EHPI et EDT, la question d'un syndrome dysexécutif comportemental peut légitimement se poser au sein de notre échantillon. Avant de débattre de cette question dans la section suivante, plusieurs analyses complémentaires sont venues apporter des éléments nouveaux qu'il convient d'exposer.

Le manuel de la BRIEF fournit plusieurs études de groupes cliniques, mais ne comprend pas de données concernant la population d'EHPI. Les analyses complémentaires réalisées ont permis d'obtenir des scores offrant une comparaison possible aux données des populations clinique du manuel. Il a été ainsi constaté que les scores des EHPI avoisinaient effectivement ceux des données françaises portant sur des enfants présentant une DL-DO, une prématurité ou encore une neurofibromatose de type 1. Cet élément ne permettait pas cependant à lui seul de conclure quant à la présence d'un syndrome dysexécutif comportemental chez les EHPI, dans la mesure où tous les enfants de ces populations cliniques ne sont pas nécessairement tous concernés par ce trouble.

Des analyses à l'échelle individuelle ont donc été réalisées afin d'identifier la proportion exacte d'EHPI concernée par des plaintes qui pourraient être cliniquement significatives à la BRIEF et à l'échelle de Conners. Celles-ci ont révélé un score composite global (CEG) significatif à la BRIEF pour environ un EHPI sur deux lorsqu'il était évalué par ses parents, et environ un sur quatre lorsqu'il était évalué par son enseignant. La congruence était satisfaisante entre évaluateurs. Leur cotation était globalement en accord, que l'enfant ait un score pouvant être cliniquement significatif ou non. Les corrélations réalisées au sein du groupe EHPI confirmaient cette congruence

entre cotations à la BRIEF (CEG). La fréquence des scores significatifs à l'échelle de Conners (index de Conners DA-H) était quant à elle un peu moins élevée que pour la BRIEF (CEG). Un EHPI sur quatre obtenait tout de même un score significatif du côté des parents, contre un sur cinq du côté des enseignants. La congruence était également satisfaisante entre cotateurs, bien que la corrélation à l'index de Conners DA-H n'enregistrait qu'une simple tendance. Les patterns de corrélations précédemment décrits pour les EHPI n'étaient pas observés au sein du groupe d'EDT (pour le CEG et l'index de Conners DA-H). Seules quelques corrélations entre échelles spécifiques étaient observées à la BRIEF et aucune n'était significative au Conners. L'ensemble témoigne d'un effet de conjonction lors de la cotation des comportements des EHPI, quel que soit le cotateur, spécifique à cette population (phénomène non observé chez les EDT).

Enfin, les analyses complémentaires visant à étudier les liens entre l'évaluation des FE selon sa nature (basée sur la performance ou des mesures de vie quotidienne) ont révélé de rares corrélations, tant au sein de l'échantillon d'EDT que de l'échantillon d'EHPI. Ces analyses confirment que ces deux types d'outils appréhendent des dimensions bien distinctes du fonctionnement de l'enfant, l'un convoquant notamment le vécu du cotateur au quotidien aux côtés de l'enfant. Il est donc envisageable que des difficultés puissent être rapportées d'une part (questionnaire), sans que celles-ci ne soient objectivées dans les tests d'autre part.

Dans la partie suivante, nous proposons de discuter cette dissonance concernant les résultats enregistrés des EHPI, émanant des plaintes majeures de l'entourage en dépit de résultats « normaux » aux tests d'évaluation directe des FE.

4.3.3 Divergence des deux types d'évaluation

Si les EHPI présentent des performances adéquates aux tests basés sur la performance, mais que leur comportement fait l'objet de plaintes significatives de la part de leur entourage, peut-on évoquer un possible dysfonctionnement exécutif, s'exprimant exclusivement sur le versant

comportemental ? Ce diagnostic (bien qu'il n'existe pas de critères clairement établis) doit, comme pour tout diagnostic de troubles neuropsychologiques, être soumis à l'appréciation de son retentissement en situation de vie quotidienne (Roy et al., 2017). Les données d'anamnèse recueillies au cours d'un entretien structuré auprès des participants peuvent apporter des éléments de réponse, notamment quant à leur intégration et leur réussite scolaire, dont on sait qu'elles sont touchées en cas de dysfonctionnement exécutif (Roy et al., 2012). Si les EHPI présentent effectivement un dysfonctionnement exécutif, alors la probabilité de difficultés scolaires et d'apprentissage devraient être importante. Or, plus de la moitié de l'échantillon (16/30, soit 53,3%) a sauté une classe, traduisant une accélération de leur cursus scolaire en raison de l'atteinte et/ou du dépassement des objectifs d'apprentissage au vu de l'âge. Toutefois, ce type de parcours peut avoir pour conséquence d'augmenter les difficultés dans les domaines où l'élève était déjà peu à l'aise ou encore, mettre en lumière l'immaturité affective et sociale en regard de nouveaux camarades plus âgés (Delaubier, 2002). Ces éléments permettent d'émettre quelques réserves quant à la crédibilité de l'hypothèse d'un dysfonctionnement exécutif au sein de cette population mais peuvent amener à comprendre les raisons conduisant les parents et les enseignants à coter plus sévèrement leur comportement. Enfin, ces résultats peuvent alimenter l'idée que l'intelligence est, plus que les FE, déterminante dans la réussite scolaire de ces enfants, bien que l'intégrité des FE soit une condition nécessaire et un catalyseur de possibles hautes performances académiques (Montoya-Arenas et al., 2018).

Comme pour le fonctionnement exécutif, la question soulevée par les résultats au questionnaire de Connors est celle d'une prévalence plus élevée de TDA/H chez les EHPI. La revue de la littérature (article I) recense une étude infirmant cette hypothèse (Minahim & Rohde, 2015). Au contraire, il a été montré que des scores de QI élevés (estimés à partir de deux subtests d'une échelle d'intelligence) étaient plutôt liés à de faibles problèmes d'attention évalués sur la base du *Children Behavioral Checklist* en auto- et hétéro-évaluation (Rommelse et al., 2017). Une autre

étude indique toutefois que le taux d'EHPI présentant un score en faveur d'un TDA/H est particulièrement sur-évalué lorsqu'il se base uniquement sur des questionnaires (Chae et al., 2003). Si l'inattention et l'hyperactivité sont au cœur du TDA/H, la présence de ces signes chez les EHPI sont plutôt envisagés comme étant situationnels ou réactionnels et ne doivent pas être nécessairement assimilés à un TDA/H (bien que le trouble puisse exister au sein de cette population). Parmi les facteurs explicatifs avancés, l'ennui ressenti par ces enfants (dans un environnement peu stimulant par exemple) pourrait conduire à des comportements semblables à ceux rencontrés dans le TDA/H (Cuche & Brasseur, 2017 ; Chae et al., 2003 ; Loureiro et al., 2009 ; Lussier et al., 2018 ; Tordjman et al., 2018 ; Wahl, 2019) et donc, à les évaluer comme plus inattentifs ou impulsifs. A l'école par exemple, il arrive fréquemment que ces enfants assimilent plus vite ce qui leur est demandé et terminent leurs exercices avant les autres. Ce moment d'inactivité est connu des enseignants pour générer potentiellement des comportements inopportuns et conduit dans la plupart des cas à proposer une pédagogie différenciée (Delaubier, 2002 ; Guilloux, 2016).

Il faut également signaler que l'échantillon d'EHPI évalué dans le cadre de cette recherche se compose d'un groupe d'enfants inclus sur la base d'une évaluation de leur efficacité intellectuelle. Ceci implique qu'il s'agit d'enfants pour lesquels des particularités, quelles qu'elles soient, ont été repérées sur le plan comportemental, motivant au moins une consultation chez un psychologue. Dès lors, il est possible qu'un biais puisse avoir été introduit et puisse expliquer - au moins en partie - le fait que les groupes d'EHPI et d'EDT se différencient sur des variables comportementales. D'autres hypothèses explicatives peuvent être formulées quant aux mécanismes ayant conduit à une cotation élevée des questionnaires chez les parents et les professeurs. Plusieurs biais cognitifs peuvent avoir aussi participé à cette cotation. La perception des enfants par leurs parents (et leur enseignant) est en effet tributaire de leur représentation du haut potentiel intellectuel. Sachant le sujet des EHPI extrêmement médiatisé (Gauvrit, 2015 ; Grégoire, 2017b ;

Vannetzel, 2018), il est très probable que les parents et les professeurs aient eu accès à des informations relatives au fonctionnement ou aux spécificités supposés des EHPI. A titre d'exemple, si des parents/professeurs ont assimilé le fait que le haut potentiel intellectuel puisse être associé à une « hypersensibilité », « un sens de la justice très développé » (Kieboom, 2011) ou à « une opposition à l'autorité » (Grand, 2011) (ces associations fréquemment opérées dans bon nombre d'ouvrages, mais très discutables, susceptibles de conduire à un « biais de représentativité »), alors ils auront plus de chance d'attribuer cette croyance à leur enfant/élève (Cuche & Brasseur, 2017). Ainsi, les comportements produits par ces enfants ont plus de chances d'être interprétés selon cette croyance, qui la renforce par la même occasion. Ce phénomène est connu sous le terme de « biais de confirmation ». Ces biais cognitifs sont des erreurs inconscientes de raisonnement, qui existent de manière normale dans la population, indépendamment du niveau d'intelligence (Sibony, 2019). L'activation de ces représentations concernant le groupe d'EHPI, alors qu'il a été isolé uniquement sur la base seule d'un QI, peut ainsi expliquer l'aboutissement d'une cotation semblable à celle rencontrée au sein d'une population clinique. Il a aussi été émise l'hypothèse que les attentes parentales pouvaient être plus importantes envers les EHPI qu'envers les EDT, expliquant possiblement des évaluations comportementales un peu plus sévères pour les parents d'EHPI que pour les parents d'EDT (Chae et al., 2003). Si l'étude des styles parentaux laisse effectivement entrevoir des différences (style plus permissif, moins autoritaire et favorisant l'indépendance chez les EHPI, Dwairy, 2004 ; Karnes et al., 1984), celles-ci ne semblent pas complètement confirmer cette hypothèse. Ces styles parentaux favoriseraient même plutôt le développement des FE. Une autre piste mérite d'être prise en considération, celle d'une comparaison à des enfants d'âge chronologique supérieur, dans la mesure où plus de la moitié de l'échantillon d'EHPI (53,3%) a sauté une classe. Il est possible que les parents et les professeurs aient intégré dans leur évaluation les attentes auxquelles sont soumis leur enfant/élève par rapport à la classe qu'il fréquente et

l'environnement dans lequel il évolue (supérieur), plutôt qu'aux attentes exclusivement liées à leur âge.

En conclusion, bien que les EHPI ne se différencient pas des EDT au niveau des tests basés sur la performance pour l'évaluation des FE, comme rapporté dans la revue de littérature (article I), et qu'ils ne présentent pas plus de déficit exécutif (Article III), il existe une plainte significative les concernant eux dans les situations de vie quotidienne, à la maison et en classe. Ces résultats peuvent paraître contradictoires, mais ils rejoignent à la fois les résultats des études empiriques (près de la moitié d'entre elles ne montraient pas de différence avec les EDT aux mesures basées sur la performance) et les descriptions comportementales qui sont faites de ces enfants, s'approchant en certains points des symptômes rencontrés dans le syndrome dysexécutif et le TDA/H.

4.4 Synthèse des résultats : les contours d'un profil cognitif

L'ensemble des éléments exposés jusqu'à présent conduit à dégager au moins deux conclusions principales au sujet des EHPI, celles : (1) d'une population hétérogène (2) d'une population présentant un fonctionnement cognitif « naturellement » hétérogène à l'échelle intra-individuelle.

Tout d'abord, quelques mesures enregistrent une variance plus importante au sein de la population d'EHPI qu'au sein de la population d'EDT, comme en témoigne par exemple la dispersion de leurs scores au BHK (Article II) ou aux questionnaires exécutif et attentionnel complétés par les parents et les enseignants. Les analyses de profil, conduites tant pour l'exploration de leur fonctionnement pratique qu'exécutif, viennent quelque peu nuancer l'idée que les deux populations seraient strictement comparables d'un point de vue statistique, et donc semblables. Celles-ci ont confirmé que certains enfants présentaient des profils atypiques. S'agissant des aspects pratiques, ils sont 23% des EHPI d'âge scolaire à présenter des scores déficitaires en écriture (Article II). Le profil de ces enfants s'écarte du profil dessiné par les analyses de groupe, qui

suggéraient des difficultés motrices en situation de vie quotidienne liées à des facteurs non-moteurs, tels que l'inattention, la désorganisation. L'idée d'une hétérogénéité de la population d'EHPI a été rapportée sur un plan descriptif, mais ni le nombre de sujets concernés ni le profil de performance n'avaient jamais été documentés jusqu'alors. L'article III indique aussi que, bien que la population d'EHPI soit très peu concernée par des déficits exécutifs, un EHPI (sur 28) présente un déficit touchant l'ensemble des FE. Ceci illustre le fait que les EHPI sont généralement peu à risque de développer des déficits cognitifs sur le plan exécutif, mais ne sont pas systématiquement épargnés pour autant. Ces éléments démontrent en outre la pertinence d'étudier au cas par cas le profil neuropsychologique des EHPI, les comparaisons à l'échelle du groupe pouvant conduire à des résultats masquant les particularités enregistrées au niveau individuel et inversement.

L'un des objectifs de cette thèse était également de discuter de la notion d'hétérogénéité (aussi abordée dans la littérature sous le terme de « dysynchronie ») au sein de la population EHPI. Le terme de dysynchronie est régulièrement employé dans la littérature pour désigner un fonctionnement cognitif, moteur ou affectif qui ne serait pas à la hauteur du potentiel intellectuel de ces enfants (Chae et al., 2003 ; Silverman, 1997 ; Terrassier, 2009, 2018). Les différences de niveau dans les différents secteurs du développement de l'enfant (ou au sein de leur profil cognitif) sont considérées par certains comme une spécificité du profil des EHPI traduisant le reflet de fonctions plus ou moins optimales (Bessou et al., 2005) pouvant être un facteur de risque de difficultés cognitives ou affectives (Guénolé et al., 2013 ; Loureiro et al., 2009 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020).

Les résultats issus des travaux de la thèse confirment que les capacités cognitives des EHPI appréhendées ici (praxies, FE) se différencient peu de celles de la population générale, quel que soit le domaine considéré (gestuel, exécutif). Ceci conduit à rejeter l'idée selon laquelle les EHPI seraient plus à risque d'un développement cognitif troublé, tant sur le plan gestuel qu'exécutif. Par ailleurs, contrairement à ce que pourrait laisser présager leur habileté cognitive générale, très peu de

leurs résultats s'avèrent supérieurs à ceux des EDT, à l'exception de ceux obtenus en raisonnement technique et lors de la copie de figure de Rey, reproduite plus souvent selon une stratégie plus « mature » chez les EHPI. Leurs résultats sont, dans l'ensemble, plutôt comparables à ceux d'EDT. Ces données corroborent l'idée d'une hétérogénéité relative, dans la mesure où les différentes fonctions cognitives de l'EHPI ne se situent pas à un niveau comparable à leur efficacité intellectuelle. Pour autant, la fréquence des scores dans la moyenne chez un grand nombre d'EHPI (études de profil) suggère des performances se distribuant normalement autour de la moyenne, dès lors qu'il ne s'agit plus de mesure du facteur *g*. Cette hétérogénéité, souvent interprétée comme un élément clinique significatif, pourrait n'être qu'un phénomène normal au sein de la population d'EHPI.

Le caractère hétérogène du fonctionnement cognitif des EHPI a été mis en évidence au décours de l'analyse de profil aux échelles d'intelligence de Wechsler. Plusieurs études basées sur les échelles de Wechsler (dans ses différentes éditions), ont ainsi montré que plus les enfants présentaient des scores de QI élevés, plus la fréquence des scores extrêmes devenait importante et la dispersion des scores, étendue (Labouret & Grégoire, 2018 ; Liratni & Pry, 2012 ; Silver & Clampit, 1990 ; Sweetland et al., 2006 ; Wilkinson, 1993). Ce phénomène a été mis en évidence à l'occasion de recherches montrant que, parmi un ensemble de sujets au QI faible à élevé soumis à une batterie de tâches cognitives, plus le QI des sujets était bas et plus les corrélations entre tâches - même basiques - étaient importantes. A l'inverse, plus le QI des sujets était élevé, moins les mesures corrélaient entre elles (Detterman & Daniel, 1989). En somme, plus l'individu est intelligent, moins le facteur *g* est susceptible d'expliquer les variations inter-individuelles et plus le poids des différentes aptitudes devient important (Grégoire, 2012). Ainsi, le profil cognitif établi sur la base de ces échelles pour les EHPI (indiquant un Indice de Vitesse de Traitement – IVT -, un Indice de Mémoire de Travail – IMT - généralement inférieurs à l'Indice de Compréhension Verbale – ICV -, de Raisonnement Fluide – IRF - et Visuospatial -IVS, Bessou et al., 2005 ; Liratni

& Pry, 2012 ; Molinero et al., 2015 ; Wechsler, 2016b), concorde avec les prédictions statistiques émises sur la base des performances de la population générale. Conformément au modèle sur lequel est construite l'échelle d'intelligence Wechsler -basé sur l'indépendance de différentes aptitudes- la variation intra-individuelle des scores doit être considérée comme la règle plus que l'exception (plus que jamais avec la multiplication des indices au fur et à mesure des révisions de l'échelle d'intelligence). En somme, l'hétérogénéité des aptitudes cognitives doit être considérée comme un phénomène normal, a fortiori chez les EHPI, et ne peut être directement évoqué comme un signe pathologique (Labouret & Grégoire, 2018 ; Sweetland et al., 2006).

Un autre phénomène mérite d'être mentionné pour l'étude de l'hétérogénéité du profil des EHPI. Une étude a en effet mis en évidence que les enfants à QIP situés dans la moyenne inférieure (QI < 89) obtenaient plus fréquemment des scores exécutifs élevés par rapport à leur niveau intellectuel, proportionnellement aux enfants d'intelligence dans la moyenne (90-110) ou dans la moyenne supérieure (> 110). Parallèlement, la proportion d'enfants avec scores exécutifs inférieurs au QIP augmentait avec l'élévation du niveau d'intelligence (McGee et al., 2009). Ces éléments viennent nuancer la vision linéaire selon laquelle les EHPI auraient nécessairement un meilleur fonctionnement exécutif en raison de leur haut QI (Arffa, 2007). Ils apportent également une explication aux résultats très contrastés de la revue de la littérature (Article I) dans laquelle 6/11 des études sont en faveur de résultats exécutifs comparables entre EHPI et EDT, contre 5/11 en faveur de résultats supérieurs.

Cette discussion concernant « la normalité » de l'hétérogénéité au sein du profil des EHPI amène à questionner le seuil à partir duquel cette hétérogénéité peut être considérée comme atypique et possiblement, révéler la présence d'un trouble.

4.5 Vers une définition du trouble dans le cadre du HPI

Dans la pratique clinique, le niveau intellectuel de l'enfant est communément pris en compte pour évoquer un trouble des apprentissages ou un trouble cognitif (Lussier et al., 2018).

Classiquement, une fonction cognitive est considérée comme déficitaire si elle atteint un certain seuil, fixé selon la distribution des scores d'un échantillon normatif. Cette manière de procéder suppose donc au préalable que le niveau d'intelligence du sujet se situe là où la majeure partie des individus de l'échantillon normatif se trouve, en d'autres termes, dans la moyenne. Ceci n'est - en pratique - pas toujours le cas des populations accueillies en consultation. La pertinence du recours à ces seuils est discutable lorsqu'elle concerne des sujets dont le niveau d'intelligence s'écarte de la moyenne, qui plus est, lorsque l'on connaît la variabilité de la distribution de l'hétérogénéité entre les performances aux tests mentaux, en fonction du niveau intellectuel.

Il existe toute une littérature au sujet des EHPI présentant un trouble du neurodéveloppement et notamment des apprentissages (TA), parfois regroupée sous le terme générique d'enfants « doublement exceptionnel » (« *twice exceptional* ») (Reis et al., 2014). La démarche diagnostique du TA chez l'EHPI est complexe, dans la mesure où les critères d'identification du haut potentiel, mais aussi ceux du TA, sont particulièrement discutés (Lovett & Sparks, 2013). De fait, il n'existe pas de critères consensuels quant au diagnostic de TA au sein de la population d'EHPI (Assouline et al., 2010). Classiquement, un EHPI avec TA est identifié sur la base d'une différence entre son niveau intellectuel (supérieur) et son niveau de réussite académique – inférieur, témoignant d'une sous-réalisation scolaire – et/ou son niveau d'efficience dans un domaine cognitif (Brody & Mills, 1997). Deux visions s'opposent quant au critère d'hétérogénéité à adopter.

La première n'envisage le trouble qu'en référence à un niveau intellectuel, on parle dans ce cas de « déficit relatif ». Ainsi, un EHPI pourrait souffrir d'un déficit d'attention bien que ses performances soient conformes à son âge (performances attentionnelles situées entre la zone moyenne faible et moyenne supérieure) (Assouline et al., 2010 ; Lussier et al., 2018). Cette position peut trouver un certain appui sur les données de la revue de la littérature (Article I). En effet, les études comparatives d'EHPI souffrant de DL-DO ou de TDA/H indiquent que les déficits cognitifs

ne sont pas toujours aussi importants que chez les enfants à intelligence moyenne présentant ces types de troubles (Chae et al., 2003 ; Katusic et al., 2011 ; van Viersen et al., 2014). Certains auteurs ont émis l'idée qu'un haut QI pourrait masquer un trouble des apprentissages (« *masking effect* ») par de possibles mécanismes de compensations et inversement, que le trouble des apprentissages pourrait masquer l'expression du HPI (McCoach et al., 2001 ; Silverman, 1989). Ce postulat encourage (ou justifie) l'abaissement du seuil d'efficience intellectuel pour l'identification du HPI dans le cadre d'un TA (Lovett & Sparks, 2013 ; Maddocks, 2020), sans seuil consensuel cependant (mais fixé à $QI \geq 120$ dans la plupart des études), si bien que le niveau intellectuel et celui de la fonction cognitive considérée s'avèrent parfois très proches, par exemple, possiblement à un écart-type de différence (Assouline et al., 2010).

Le deuxième point de vue considère que le déficit est notable seulement s'il atteint le seuil de déficit établi d'après la distribution des résultats au sein de la population générale. Autrement dit, dans ce cas de figure, les performances de l'enfant sont inférieures à ce qui attendu pour son âge (« déficit ou critère absolu »).

Il est important de rappeler que le principe du concept de HPI est d'isoler une population significativement supérieure du point de vue de l'intelligence, et qui par définition, est statistiquement rare (2,3%). L'abaissement du seuil, pour quelle que raison que ce soit, conduit nécessairement à élargir cette tranche de population, qui ne répond plus, dès lors, au critère du HPI. Le risque est d'inclure une population plus large, sans savoir si le TA est effectivement responsable d'un fléchissement du QI ou si le sujet aurait de toute façon atteint ce seuil, sans qu'il soit question de TA. Certains vont jusqu'à considérer que HPI et déficit cognitif sont en soi deux positions incompatibles. Les résultats issus des travaux de cette thèse tendent à réfuter cette position, dans la mesure où des EHPI ont été identifiés avec des déficits cognitifs, même avec l'adoption de critères très stricts ($QI \geq 130$, déficit praxique ou exécutif au seuil du percentile 95). L'hypothèse qu'un enfant puisse ne pas atteindre le seuil de QI à 130 dans le cadre d'un TA est néanmoins créditée par

plusieurs études conduites chez des EDT présentant une DL-DO comparés à des EDT sans DL. Les EDT-DL présentent généralement un profil spécifique aux mesures du QI, caractérisé par un QIT, un ICV, un IMT et un IVT plus bas (Moura et al., 2014). Le phénomène est possiblement transposable aux EHPI, bien que sa morphologie puisse être modifiée du fait de leur positionnement à l'extrême du continuum. Il a été suggéré, pour ces enfants, de privilégier dans ce cas une mesure de *g* dans laquelle le poids de la mémoire de travail et de la vitesse de traitement soit moins important, telle que l'Indice d'Aptitude Général (Silverman, 2009 ; Lecerf et al., 2010)

La faible hétérogénéité entre QI et tests d'aptitudes ou cognitifs, induite par l'adoption d'un critère relatif, peut sembler incongrue au vu du caractère « normalement » hétérogène du fonctionnement de l'EHPI, qui plus est, si le seuil du QI est abaissé. Le nombre d'EHPI (QI \geq 130) obtenant un score inférieur de 1,5 écarts-types (seuil d'hétérogénéité fréquemment adopté) dans un domaine donné par rapport à leur niveau d'intelligence, représente 69,9% de la population (Maddocks, 2018). Cette fréquence est tout simplement incompatible avec la notion de trouble et montre bien le caractère normalement « hétérogène » du profil de l'EHPI. Si cette condition d'hétérogénéité est considérée par certains comme dépassée (Cavendish, 2013), elle reste l'un des piliers des critères diagnostiques internationaux pour les Troubles spécifique des apprentissages. Le *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (DSM-V ; APA, 2016, p.32-33) stipule en effet que « *Les compétences scolaires sont nettement au-dessous du niveau escompté pour l'âge chronologique du sujet, et ce de manière quantifiable* ». La prise en compte du retentissement des difficultés est également indispensable pour l'établissement d'un tel diagnostic. A titre d'exemple, il n'est pas certain qu'un EHPI avec des compétences en lecture inférieures à son niveau intellectuel mais néanmoins dans la moyenne, soit nécessairement en difficulté dans les apprentissages. Le contexte environnemental dans lequel s'expriment les difficultés est aussi déterminant pour évoquer la présence d'un trouble et nécessite une synthèse clinique recoupant les informations de sources variées (contexte familial, milieu scolaire, éléments médicaux, développementaux...).

L'examineur doit être particulièrement vigilant quant au contexte scolaire de l'enfant, notamment dans le cadre du HPI, du fait que le saut de classe et l'accélération du cursus soient fréquemment mis en œuvre dans cette population (cela concerne plus d'un EHPI sur deux dans la présente étude). Ainsi, un EHPI ayant connu un saut de classe, s'il présente des performances moyennes en écriture par rapport à sa tranche d'âge (à -1 écart-type), celles-ci peuvent s'avérer déficitaires (au-delà de -2 écarts-types) en comparaison à ses camarades de classe plus âgés. Si les difficultés sont avérées dans le milieu dans lequel il évolue et qu'elles entravent les apprentissages scolaires, alors l'appréciation du clinicien pourrait être en faveur d'un trouble. Ainsi, si le critère absolu doit rester la règle pour le diagnostic des TA, une approche individualisée et clinique est indispensable, tout particulièrement dans le contexte de HPI.

4.6 Limites et perspectives

Ce travail avait pour objectif de tester l'hypothèse de déficit(s) cognitif(s) au niveau des praxies et des FE au sein de la population d'EHPI, ou tout du moins, de difficultés relatives en regard de leur niveau intellectuel. En dépit d'une question d'une apparente simplicité, l'étude de cette population spécifique tend à bouleverser les référentiels et méthodes traditionnellement employés en neuropsychologie.

4.6.1 Les défis méthodologiques

Les études réalisées dans le cadre de cette thèse illustrent les limites atteintes par les analyses basées sur des comparaisons de groupe. En effet, à plusieurs occasions, ces tests de comparaison de moyennes entre EHPI et EDT se sont avérées trompeuses au regard des micro-analyses conduites via les études de profils. Le nombre de SNM par exemple est apparu plus élevé au sein du groupe EHPI, alors qu'il ne concernait vraisemblablement qu'une poignée de participants. Le même phénomène est apparu pour l'une des mesures de la batterie FÉE (Barre-Joe). A contrario, les 4 EHPI d'âge scolaire à risque de présenter des difficultés d'écriture n'ont pas été

détectés via les analyses de groupe. Les analyses du questionnaire du M-ABC-II quant à elles, révélaient que les deux groupes ne se différenciaient que sur une seule mesure (facteurs non-moteurs), tandis que les études de profils mettaient en évidence des plaintes significatives dans d'autres secteurs. Surtout, leurs associations avec les déficits en écriture (score au BHK) et le nombre élevé de SNM ont permis d'identifier un sous-groupe d'EHPI. Ces données sont probablement les plus précieuses pour le clinicien, mettant en évidence les profils les plus susceptibles d'être rencontrés en pratique, contrairement aux comparaisons de groupe, réalisées sur la base de moyennes ne représentant au final aucun individu en particulier. Ceci encourage la poursuite des analyses basées sur des analyses de profils en neuropsychologie, dès lors que des troubles apparaissent peu fréquents (ou non) au sein d'une population, quelle qu'elle soit. Pour prolonger ce travail, il serait intéressant d'élargir à tous nos participants les études de profils et d'englober l'ensemble des données, exécutives et praxiques, afin d'établir le profil de chacun d'entre eux. Ainsi, l'analyse simultanée des plaintes sur les plans attentionnel/exécutif et moteur (liées à des « facteurs non-moteurs ») permettrait d'établir une correspondance directe entre la présence de ces deux types de signes chez chacun des EHPI.

Par ailleurs, une critique souvent émise lors de l'étude des EHPI concerne la sensibilité des outils employés et leur adéquation avec la population. Traditionnellement, les tests neuropsychologiques sont construits sur la base des comportements habituellement observés chez des individus sains. Ils doivent permettre, lors de l'application à des individus présentant une atteinte, de pouvoir les identifier. Ainsi, les mesures retenues pour ce type de tests seront celles considérées comme les plus sensibles pour discriminer des populations cliniques avec déficits. Ces tests n'apportent donc aucune garantie d'identifier de hautes performances, telles qu'on pourrait le concevoir, chez des sujets à HPI. Il est même probable qu'un effet plafond soit rapidement atteint (Ardila et al., 2000 ; Arffa, 2007 ; Montoya-Arenas et al., 2018), ne les distinguant pas d'une population avec intelligence moyenne. Ce constat doit amener à interroger la validité et la

sensibilité des mesures exécutives et praxiques obtenues auprès de nos participants EHPI et conduit à au moins deux réflexions.

La première est celle de la construction des tests neuropsychologiques, qui mériterait probablement d'évoluer en intégrant des populations à HPI. Prenons l'exemple de l'évaluation des FE. Si ces épreuves impliquent nécessairement l'introduction d'une complexité (de par la nature du construit), le degré de difficulté lui (qui permettrait de distinguer des sujets à hautes capacités) reste le plus souvent constant au sein de la tâche (à l'exception de quelques tests, comme les labyrinthes). A titre d'exemple, des tâches basées sur le classement de cartes appellent une flexibilité probablement relative pour les EHPI, puisqu'elles ne consistent qu'à alterner entre 3 patterns de réponses, répétés et déjà connus de l'enfant (pattern d'évaluation pré-établi et rigide) et surtout, n'offre aucune variabilité et adaptation de la complexité aux capacités de l'enfant. Les épreuves laissant une part plus dynamique ou spontanée à l'expression des FE semblent un peu plus sensibles pour différencier ces enfants (utilisation de stratégie plus mature lors de la copie de la figure de Rey, meilleures capacités de résolution de problèmes mécaniques). Parmi les outils disponibles dans la pratique clinique en France à l'heure actuelle, les épreuves ayant recours à une procédure ascendante de difficulté (augmentation progressive de la difficulté, sur le modèle des échelles de Wechsler) semblent les plus discriminantes pour le HPI. Pour autant, celles-ci présentent des caractéristiques méthodologiques pouvant limiter leur sensibilité aux hautes capacités des EHPI. Le développement de méthodes plus ajustées (basées par exemple sur une procédure adaptative et un système de cotation partielle plutôt qu'absolue, voir Aubry, 2018) doit être encouragé et généralisé à l'ensemble des tests psychométriques afin d'améliorer la sensibilité clinique des outils employés par le psychologue.

La deuxième réflexion concerne la documentation des profils des EHPI lors de la validation des tests neuropsychologiques. Dans la pratique clinique, il est tout à fait envisageable que ce type d'enfant puisse être adressé en consultation pour la survenue d'un événement neurologique (ou tout

autre motif). L'intégration d'un groupe d'EHPI lors des études de populations cliniques proposées dans les manuels des outils neuropsychologique permettrait dès lors, pour les professionnels, de leur donner accès au profil habituellement rencontré chez ces enfants en dehors de tout contexte clinique. Les résultats de notre étude indiquent en effet qu'un fonctionnement exécutif « moyen » s'avère fréquent et pour ainsi dire habituel chez les EHPI. Un professionnel non averti pourrait imaginer que ce type de score, inférieur à celui du niveau général de l'enfant, puisse être imputable à un trouble quelconque (cette idée étant souvent insinuée dans la littérature). Nos résultats n'excluent pas que quelques-uns d'entre eux puissent toutefois avoir des performances supérieures (praxiques ou exécutives par exemple dans le cadre de notre étude), même s'il ne s'agit probablement pas de la règle.

Enfin, une dernière critique méthodologique peut être adressée directement à notre étude, du point de vue des caractéristiques de l'échantillon. Malgré toutes les précautions prises pour le recrutement d'un échantillon d'EHPI tout-venant, en faisant connaître l'étude auprès du grand public, il est possible que les familles se sentant concernées par « la problématique » aient davantage répondu à l'appel à participation. Comme nous l'avons déjà souligné, les EHPI identifiés en tant que tel en France sont considérés d'emblée par certains comme une population biaisée, pour avoir consulté pour quel que motif que ce soit un psychologue. Une méthode alternative consisterait à tester aléatoirement un grand nombre d'enfants tout-venant afin d'identifier « naturellement » les EHPI (ou plutôt, les identifier en milieu « naturel » et non au décours d'une consultation psychologique). Si la méthode est employée dans certains pays pratiquant l'examen systématique de l'efficacité intellectuelle chez tous les enfants, elle est considérée comme très discutable sur le plan éthique en France et serait évidemment extrêmement coûteuse.

4.6.2 De nouvelles perspectives

Une étude plus précise des liens entre réussite scolaire et fonctionnement exécutif pourrait s'avérer intéressante. La question pourrait être traitée en regroupant d'une part, les EHPI ayant sauté une classe, preuve d'une certaine réussite académique (l'absence de saut de classe ne signifiant pas pour autant le contraire) et d'autre part, ceux n'ayant pas sauté de classe. Vu l'implication des FE dans la réussite scolaire, il serait ainsi attendu que les participants du groupe d'EHPI ayant connu un saut de classe soient moins nombreux à présenter des profils type incluant des déficits exécutifs /attentionnels.

Nous avons par ailleurs évoqué précédemment des éléments pouvant nuancer l'hypothèse selon laquelle les EHPI présenteraient potentiellement un syndrome dysexécutif comportemental. Interroger l'influence des représentations concernant le HPI reste une piste à explorer de manière empirique, afin de peser le poids de ce facteur dans l'attribution de certaines caractéristiques aux enfants. Le HPI étant par essence un concept social, ce type d'étude permettrait d'avoir un aperçu du « simple effet » d'une représentation sur le degré d'évaluation de certains comportements par un tiers. Ces données seraient susceptibles de profiter à l'ensemble des populations cliniques. Pour autant, prétendre que les résultats de notre étude ne se résumeraient qu'à un biais pourrait se révéler aventureux et imprudent. La fréquence des difficultés rapportées au sein de l'échantillon, de même que l'atteinte du seuil de significativité pour un grand nombre de ces enfants, témoignent dans tous les cas d'un sentiment de difficultés en situation de vie quotidienne. Celles-ci semblent toucher tous les aspects du fonctionnement exécutif avec, au premier plan, les aspects de la régulation comportementale, comme l'insuffisance du contrôle émotionnel. Une étude élargie aux FE « chaudes », approchant les aspects émotionnels, pourrait s'avérer contributive (Roy, 2015). Interroger directement les enfants et adolescents eux-mêmes (rendu possible avec la révision de la BRIEF) permettrait d'accéder à leur propre ressenti vis-à-vis d'éventuelles difficultés et de savoir si leur vécu concorde avec les plaintes émises par leurs proches. En outre, une recherche confrontant

leur propre évaluation à celles d'un échantillon nomatif ou d'autres populations cliniques (comme nous l'avons fait avec leurs parents et leurs enseignants) permettrait d'apprécier si eux-mêmes s'estiment « différents » d'une population tout-venant, avec un vécu se rapprochant d'autres populations cliniques.

La participation des FE dans le développement des habiletés motrices constitue également un champ de recherche déterminant, compte tenu du flou conceptuel entourant les troubles pratiques chez l'enfant (Roy, 2015). Les résultats exposés ici apportent peu de réponses pour avancer sur cette problématique. Les habiletés pratiques des EHPI étant « seulement » dans la moyenne, la question de la participation des FE à l'expression de ce phénomène pourrait en effet se poser. Des analyses complémentaires auraient pu être envisagées, en isolant des groupes d'individus présentant divers niveaux de fonctionnement exécutif et en les comparant sur leurs performances pratiques. Toutefois, les résultats exécutifs de l'échantillon d'EHPI de cette étude apparaissent relativement homogènes et moyens dans ce secteur, cette faible variabilité (par sa fréquence) limitant les chances d'aboutir à des résultats contributifs sur la question. Les données issues des questionnaires complétés par les parents et les enseignants apportent toutefois quelques éléments de réponses. En effet, les plaintes formulées par les parents d'EHPI dans les activités motrices de vie quotidienne sont attribuées, pour la majeure partie d'entre eux, à des facteurs principalement cognitifs (inattention, organisation). Ce constat est corroboré par les questionnaires évaluant les FE, complétés par les parents et les professeurs, faisant ressortir une impression de difficultés à ce niveau-là chez leurs enfants/élèves. Dans cette perspective, la poursuite de l'étude de cas, en analysant les résultats aux tâches pratiques dont le questionnaire du M-ABC-II (en plus du fonctionnement exécutif), permettrait d'examiner la co-occurrence d'éventuelles difficultés et de discuter d'un retentissement possible des déficits exécutifs sur la sphère pratique chez ce participant.

Enfin, dans une perspective longitudinale, il serait intéressant de procéder à une réévaluation des EHPI concernés par des scores élevés de dégradation d'écriture, pour documenter l'évolution de leur profil et la persistance ou non de l'association avec des SNM. De la même manière, une réévaluation des FE sur le versant comportemental à distance permettrait de connaître l'évolution naturelle de ces particularités, leur persistance dans le temps étant l'une des conditions sinéquanones pour conclure quant à un trouble éventuel.

5. Conclusion générale

L'objectif de ce travail était d'apporter un nouvel éclairage sur le fonctionnement des EHPI par l'approche neuropsychologique, en examinant deux domaines particuliers, qui étaient les praxies et le fonctionnement exécutif. Nous souhaitons par cette étude traiter du phénomène de « dysynchronie », sa réalité, la manière dont il s'exprime dans les domaines pratique et exécutif, et en connaître l'ampleur. Il s'agissait *in fine* de mettre en évidence une partie du profil cognitif des EHPI et de pouvoir départager ce qui relevait du « normal » ou du « pathologique ».

Un autre objectif était de proposer une étude la plus affranchie possible des problèmes méthodologiques récurrents liés à l'étude de cette population. L'adoption d'un critère d'identification consensuel ($QI \geq 130$) était un pré-requis indispensable pour s'assurer de la représentativité de l'échantillon. La mise en œuvre d'un recrutement ouvert à tous, décentré des populations issues des consultations spécialisées, devait également apporter une garantie de représentativité.

Les résultats de notre recherche ont permis d'infirmer l'idée selon laquelle les EHPI seraient une population plus à risque de déficit cognitif. Leurs résultats, dans l'ensemble très proches de celui des enfants d'intelligence moyenne et leur bonne réussite scolaire, sont autant de preuves que le HPI n'est pas synonyme de développement atypique ni troublé du point de vue des FE et des praxies. Malgré tout, le HPI ne protège pas pleinement d'un éventuel déficit cognitif, puisque l'un des participants de cette étude présentait plusieurs déficits des FE (cognitives et comportementales) dans un contexte de TA et quatre enfants d'âge scolaire présentaient des signes pouvant suggérer des difficultés d'écriture (graphisme). Ces données témoignent du caractère hétérogène de cette population mais aussi, d'une hétérogénéité de leur fonctionnement cognitif sans caractère pathologique ou évocateur de trouble(s) cognitif(s). En outre, l'affirmation ambiguë, retrouvée dans bon nombre d'ouvrages, selon laquelle une partie de leur développement ne serait « pas à la

hauteur » de leur niveau d'efficacité intellectuelle ne peut être retenue. En effet, l'approche psychométrique prévoit que des facteurs spécifiques participent à l'expression de g , sans lui correspondre de manière stricte, chacun d'entre eux contribuant d'ailleurs de manière différente à son expression. Qui plus est, il n'est pas certain que la psychométrie permette, à ce jour, de répondre à cette question, dans la mesure où les tests explorant des aptitudes spécifiques (tels que ceux administrés dans cette étude) - dont la construction et la standardisation sont réalisées auprès d'individus au fonctionnement typique - ont pour objectif principal de discriminer les individus présentant des déficits.

Paradoxalement, notre étude met en évidence l'impression, pour les parents et les professeurs, de plus de difficultés dans le domaine des FE et de l'attention chez ces enfants sur le versant comportemental. Ce type de problème semble également s'exprimer au niveau de leur fonctionnement moteur. Les différents arguments pouvant laisser à penser à d'authentiques difficultés ou non ont été successivement discutés, en mettant en perspective ces résultats parmi l'ensemble des données disponibles mais aussi, en interrogeant les représentations et les attentes que l'on peut avoir de ces enfants, supposés être « les meilleurs ».

Pour finir, il est probable que les EHPI présentent surtout des similarités avec leurs pairs d'intelligence moyenne, si ce n'est la variable sur laquelle ils ont été départagés au départ (l'intelligence, supérieure), leur conférant des possibilités de haute réussite académique. Comme leurs camarades, ils ne sont pas non plus à l'abri de présenter des déficits cognitifs ou des TA. Les critères diagnostiques habituels leurs sont tout à fait applicables, dans le cadre d'une démarche nécessitant une analyse clinique multidimensionnelle, tenant compte plus que jamais des représentations, des attentes et des exigences de l'environnement dans lequel ils évoluent.

6. Références

- Allard, J. (2017). *Étude des liens entre les fonctions exécutives et les intelligences fluide et cristallisée chez les enfants d'âge scolaire*. Mémoire de Master 1 non publié. Université d'Angers.
- Anderson, V., Spencer-Smith, M., Coleman, L., Anderson, P., Williams, J., Greenham, M., Leventer, R. J., & Jacobs, R. (2010). Children's executive functions : Are they poorer after very early brain insult. *Neuropsychologia*, 48(7), 2041-2050. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.03.025>
- Ardila, A., Pineda, D., & Rosselli, M. (2000). Correlation between intelligence test scores and executive function measures. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 15(1), 31-36. <https://doi.org/10.1093/arclin/15.1.31>
- Arffa, S. (2007). The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(8), 969-978. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.001>
- Arffa, S., Lovell, M., Podell, K., & Goldberg, E. (1998). Wisconsin Card Sorting Test performance in above average and superior school children: Relationship to intelligence and age. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 13(8), 713-720.
- American Psychiatric Association. (2016). *Mini DSM-5 critères diagnostiques*. Elsevier Masson.
- Assouline, S. G., Nicpon, M. F., & Whiteman, C. (2010). Cognitive and psychosocial characteristics of gifted students with written language disability. *Gifted Child Quarterly*, 54(2), 102-115. <https://doi.org/10.1177/0016986209355974>.
- Aubry, A. (2018). *Le fonctionnement cognitif des enfants et adolescents à haut potentiel intellectuel : Investigation de la mémoire de travail et des réseaux attentionnels*. Thèse de doctorat non publiée. Université de Picardie Jules Verne.

- Baumard, J. (2015). *De l'outil et du corps : Etude neuropsychologique des troubles praxiques et du schéma corporel dans les pathologies neurodégénératives*. Thèse de doctorat non publiée. Université d'Angers.
- Benedek, M., Jauk, E., Sommer, M., Arendasy, M., & Neubauer, A. C. (2014). Intelligence, creativity, and cognitive control: The common and differential involvement of executive functions in intelligence and creativity. *Intelligence*, *46*, 73-83.
- Bert, C. (2018). Enfants surdoués : Historique. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, *154*, 259-270.
- Besançon, M., Zenasni, F. & Lubart, T. (2010). Le haut potentiel créatif. *Enfance*, (1), 77-84.
<https://doi.org/10.4074/S0013754510001072>
- Bessou, A., Montlahuc, C., Louis, J., Fourneret, P., & Revol, O. (2005). Profil psychométrique de 245 enfants intellectuellement précoces au WISC-III. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, *17*(81), 23-28.
- Biotteau, M., Danna, J., Albaret, J.-M. & Chaix, Y. (2020). Trouble développemental de la coordination et dysgraphie. In S. Majerus, I. Jambaqué, L. Mottron, M. Van der Linden, & M. Poncelet (Éds.), *Traité de neuropsychologie de l'enfant, 2ème édition* (pp. 108-123). De Boeck Supérieur.
- Blair, C. (2016). Developmental science and executive function. *Current Directions in Psychological Science*, *25*(1), 3-7. <https://doi.org/10.1177/0963721415622634>
- Blank, R., Barnett, A. L., Cairney, J., Green, D., Kirby, A., Polatajko, H., Rosenblum, S., Smits-Engelsman, B., Sugden, D., Wilson, P., & Vinçon, S. (2019). International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *61*(3), 242-285. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14132>

- Boring, E. G. (1923). Intelligence as the tests test It. *New Republic*, 36, 35-37.
<https://doi.org/10.1037/11491-017>
- Brody, L. E., & Mills, C. J. (1997). Gifted children with learning disabilities : A review of the issues. *Journal of Learning Disabilities*, 30(3), 282-296.
<https://doi.org/10.1177/002221949703000304>
- Brosseau-Beauvir, A. (2017). *Étude des spécificités de la motricité chez l'enfant à haut potentiel intellectuel : revue systématique de la littérature*. Thèse de médecine. Université de Brest.
- Bucaille, A. (2016). *Les enfants à haut potentiel ont-ils un trouble du geste ?* Communication orale à la conférence « Troubles des apprentissages et Troubles du Spectre Autistique : une origine neurodéveloppementale commune ? », Réseau santé arc.en.ciel, Plérin.
- Bucaille, A., Peudener, S., Jarry, C., Brochard, S. & Roy, A. (2017). *Enfants à haut potentiel intellectuel : comment se développent leurs capacités gestuelles et de régulation du comportement ?* Communication par affiche à « La nuit des chercheurs », Angers.
- Bucaille, A. (2018). « *Motricité chez l'enfant à haut potentiel intellectuel* ». Communication orale au colloque « Regards Croisés : L'enfant à Haut Potentiel Intellectuel : atout ou vulnérabilité ? », Brest.
- Burger, C. M. (1984). *Comparison of motor skills between gifted and normal children*. Doctoral dissertation. Iowa State University. <https://doi.org/10.31274/rtd-180813-5312>
- Buxbaum, L. J. (2001). Ideomotor apraxia: A call to action. *Neurocase*, 7, 445-458.
- Canton, M., Gall, D. L., Feillet, F., Bonnemains, C., & Roy, A. (2019). Neuropsychological profile of children with early and continuously treated phenylketonuria : Systematic review and future approaches. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 25(6), 624- 643. <https://doi.org/10.1017/S1355617719000146>

- Canzano, L., Scandola, M., Gobetto, V., Moretto, G., D'Imperio, D., & Moro, V. (2016). The representation of objects in apraxia: From action execution to error awareness. *Frontiers in human neuroscience*, *10*, 39.
- Carman, C. A. (2013). Comparing apples and oranges : Fifteen years of definitions of giftedness in research. *Journal of Advanced Academics*, *24*(1), 52-70. <https://doi.org/10.1177/1932202X12472602>
- Caroff, X. (2004). L'identification des enfants à haut potentiel : Quelles perspectives pour l'approche psychométrique ? *Psychologie Française*, *49*(3), 233-251. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.06.001>
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities : A Survey of factor-analytic studies*. Cambridge University Press.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence : A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, *54*(1), 1-22. <https://doi.org/10.1037/h0046743>
- Cattell, R. B. (1987). *Intelligence : Its structure, growth and action*. Elsevier.
- Cavendish, W. (2013). Identification of learning disabilities : Implications of proposed DSM-5 criteria for school-based assessment. *Journal of Learning Disabilities*, *46*, 52-57.
- Cermak, S. (1985). Developmental Dyspraxia. In E. A. Roy (Éd.), *Advances in Psychology* (pp. 225-248). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61143-7](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61143-7)
- Chae, P. K., Kim, J.-H., & Noh, K.-S. (2003). Diagnosis of ADHD among gifted children in relation to KEDI-WISC and T.O.V.A. performance. *Gifted Child Quarterly*, *47*(3), 192-201. <https://doi.org/10.1177/001698620304700303>
- Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J. M. (2004). *BHK - Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant*. Edition du Centre de Psychologie Appliquée.

- Chung, D., Yun, K., Kim, J. H., Jang, B., & Jeong, J. (2011). Different gain/loss sensitivity and social adaptation ability in gifted adolescents during a public goods game. *PLOS ONE*, *6*(2), e17044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017044>
- Cicciola, E., Foschi, R., & Lombardo, G. P. (2014). Making up intelligence scales : De Sanctis's and Binet's tests, 1905 and after. *History of Psychology*, *17*(3), 223-236. <https://doi.org/10.1037/a0033740>
- Conners, C. K. (1997). *Conners rating scales-revised*. Multi-Health Systems.
- Corbin, L., Borel, D., & Camos, V. (2012). Dissociation mémoire de travail-vitesse de traitement chez les enfants intellectuellement précoces au travers de deux études de cas. *Enfance*, *4*(4), 373-387.
- Costini, O., Roy, A., Faure, S., & Le Gall, D. (2013). La dyspraxie développementale : Actualités et enjeux. *Revue de neuropsychologie*, *5*(3), 200-212. <https://doi.org/10.3917/rne.053.0200>
- Costini, O., Roy, A., Remigereau, C., Faure, S., Fossoud, C., & Le Gall, D. (2017). Nature and specificity of gestural disorder in children with developmental coordination disorder : A multiple case study. *Frontiers in Psychology*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00995>
- Cuche, C., & Brasseur, S. (2017). *Le haut potentiel en questions*. Mardaga.
- Dai, D. Y., Swanson, J. A., & Cheng, H. (2011). State of Research on Giftedness and Gifted Education : A Survey of Empirical Studies Published During 1998-2010 (April). *Gifted Child Quarterly*, *55*(2), 126-138. <https://doi.org/10.1177/0016986210397831>
- Deary, I. J., Whiteman, M. C., Starr, J. M., Whalley, L. J., & Fox, H. C. (2004). The impact of childhood intelligence on later life : Following up the scottish mental surveys of 1932 and 1947. *Journal of Personality and Social Psychology*, *86*(1), 130-147. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.86.1.130>

- Delaubier, J. P. (2002). *La scolarisation des élèves intellectuellement précoces* [Rapport au ministre de l'éducation nationale]. <http://www.education.gouv.fr/cid2022/la-scolarisation-des-eleves-intellectuellement-precoces.html>
- Detterman, D. K., & Daniel, M. H. (1989). Correlations of mental tests with each other and with cognitive variables are highest for low IQ groups. *Intelligence*, *13*(4), 349-359. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(89\)80007-8](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(89)80007-8)
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2016). Why improving and assessing executive functions early in life is critical. In J. A. Griffin, P. McCardle, & L. S. Freund (Éds.), *Executive function in preschool-age children : Integrating measurement, neurodevelopment, and translational research* (pp. 11-43). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14797-002>
- Dowdall, C. B., & Colangelo, N. (1982). Underachieving gifted students: Review and implications. *Gifted Child Quarterly*, *26*(4), 179-184.
- Dwairy, M. (2004). Parenting styles and mental health of arab gifted adolescents. *Gifted Child Quarterly*, *48*(4), 275-286. <https://doi.org/10.1177/001698620404800403>
- Fellick, J. M., Thomson, A. P. J., Sills, J., & Hart, C. A. (2001). Neurological soft signs in mainstream pupils. *Archives of disease in childhood*, *85*(5), 371-374.
- Foley Nicpon, M., Allmon, A., Sieck, B., & Stinson, R. D. (2011). Empirical investigation of twice-exceptionality : Where have we been and where are we going? *Gifted Child Quarterly*, *55*(1), 3-17. <https://doi.org/10.1177/0016986210382575>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological science*, *17*(2), 172-179.

- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions : Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186-204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Galton, F. (1883). *Inquiries into human faculty and its developement*. Macmillan.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind : The theory of multiple intelligences*. Basic Books.
- Gauvrit, N. (2015). Précocité intellectuelle : Un champ de recherches miné. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 132/133, 1-6.
- Gauvrit, Nicolas, & Guez, A. (2018). Réussite scolaire et professionnelle des personnes à haut potentiel intellectuel. *Approche Neuropsychologique Des Apprentissages Chez l'Enfant*, 30(154), 313- 318.
- Gerst, E. H., Cirino, P. T., Fletcher, J. M., & Yoshida, H. (2017). Cognitive and behavioral rating measures of executive function as predictors of academic outcomes in children. *Child Neuropsychology*, 23(4), 381-407. <https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1120860>
- Gillet, C., Hommet, C., & Billard, C. (2000). Le rôle du lobe pré-frontal dans l'attention sélective et les fonctions exécutives. In C. Gillet, C. Hommet, & C. Billard (Éds.), *Neuropsychologie de l'enfant : Une introduction* (pp. 141-150). Marseille : Solal.
- Giofrè, D., Borella, E., & Mammarella, I. C. (2017a). The relationship between intelligence, working memory, academic self-esteem, and academic achievement. *Journal of Cognitive Psychology*, 29(6), 731-747. <https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1310110>
- Giofrè, D., Toffalini, E., Altoè, G., & Cornoldi, C. (2017b). Intelligence measures as diagnostic tools for children with specific learning disabilities. *Intelligence*, 61, 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.01.014>
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2000). Behavior Rating Inventory of Executive Function. *Child Neuropsychology*, 6(3), 235-238. <https://doi.org/10.1076/chin.6.3.235.3152>

- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(21), 8174-8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
- Goldenberg G. (2014). Apraxia - the cognitive side of motor control. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, *57*, 270-274. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.07.016>
- Gomez, A., & Sirigu, A. (2015). Developmental coordination disorder : Core sensori-motor deficits, neurobiology and etiology. *Neuropsychologia*, *79*, 272-287. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.09.032>
- Gong, J., Xie, J., Chen, G., Zhang, Y., & Wang, S. (2015). Neurological soft signs in children with attention deficit hyperactivity disorder : Their relationship to executive function and parental neurological soft signs. *Psychiatry Research*, *228*(1), 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.04.017>
- Gottfredson, L. S. (1997). Mainstream science on intelligence : An editorial with 52 signatories, history, and bibliography. *Intelligence*, *24*(1), 13-23. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(97\)90011-8](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(97)90011-8)
- Grand, C. (2011). *Toi qu'on dit « surdoué » : La précocité intellectuelle expliquée aux enfants*. L'Harmattan.
- Grégoire, J. (2009). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant : Fondements et pratique du WISC-IV*. Editions Mardaga.
- Grégoire, J. (2012). Les défis de l'identification des enfants à haut potentiel. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, *119*, 419-424.

- Grégoire, J. (2017a). Les évolutions de l'examen des fonctions intellectuelles, entre tradition et innovation. *Enfance*, 4(4), 443-460.
- Grégoire, J. (2017b). Préface. In S. Brasseur & C. Cuche, *Le haut potentiel en questions* (p. 11-12). Mardaga.
- Grégoire, J. (2019). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant : Fondements et pratique du WISC-V*. Mardaga.
- Guénoilé, F., Louis, J., Creveuil, C., Montlahuc, C., Baleyte, J.-M., Fourneret, P., & Revol, O. (2013). Étude transversale de l'anxiété trait dans un groupe de 111 enfants intellectuellement surdoués. *L'Encéphale*, 39(4), 278-283. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2013.02.001>
- Guignard, J.-H., & Zenasni, F. F. (2004). Les caractéristiques émotionnelles des enfants à haut potentiel. *Psychologie Française*, 49(3), 305-319. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.07.001>
- Guilloux, R. (2016). *Les élèves à haut potentiel intellectuel*. Retz.
- Hartman, E., Houwen, S., Scherder, E., & Visscher, C. (2010). On the relationship between motor performance and executive functioning in children with intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(5), 468-477.
- Hernández Finch, M. E., Speirs Neumeister, K. L., Burney, V. H., & Cook, A. L. (2014). The relationship of cognitive and executive functioning with achievement in gifted kindergarten children. *Gifted Child Quarterly*, 58(3), 167-182. <https://doi.org/10.1177/0016986214534889>
- Hertzig, M. E. (1981). Neurological 'soft' signs in low-birthweight children. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 23(s44), 778-791. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1981.tb02066.x>

- Horn, J. L., & Blankson, N. (2005). Foundations for better understanding of cognitive abilities. In D.P Flanagan, P. L. Harrison (Eds), *Contemporary Intellectual Assessment : Theories, Tests, and Issues* (pp. 41-68). The Guilford Press.
- Jambaqué, I. (2004). Contribution de la neuropsychologie développementale à l'étude des sujets à haut potentiel : Une revue de questions. *Psychologie Française*, 49(3), 267-276. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.05.003>
- Jarry, C. (2013). *Les troubles d'utilisation d'objets : de la neuropsychologie cognitive vers l'anthropologie clinique*. Thèse de doctorat non publiée. Université d'Angers.
- Jarry, C., Osiurak, F., Etcharry-Bouyx, F., Baumard, J., Lesourd, M., & Le Gall, D. (2016). Stratégies d'évaluation des troubles d'utilisation d'objets. *Revue de Neuropsychologie, Neurosciences Cognitives et Cliniques* 8, 108-117. <http://doi.org/10.1684/nrp.2016.0378>
- Johnson, J., Im-Bolter, N., & Pascual-Leone, J. (2003). Development of mental attention in gifted and mainstream children : The role of mental capacity, inhibition, and speed of processing. *Child Development*, 74(6), 1594-1614. <https://doi.org/10.1046/j.1467-8624.2003.00626.x>
- Johnson, W., te Nijenhuis, J., & Bouchard, T. J. (2008). Still just 1 g : Consistent results from five test batteries. *Intelligence*, 36(1), 81-95. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2007.06.001>
- Jong, M. D., Punt, M., Groot, E. D., Minderaa, R. B., & Hadders-Algra, M. (2011). Minor neurological dysfunction in children with autism spectrum disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53(7), 641-646. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.03971.x>
- Karnes, M. B., Shwedel, A. M., & Steinberg, D. (1984). Styles of parenting among parents of young gifted children. *Roepers Review*, 6(4), 232-235. <https://doi.org/10.1080/02783198409552824>
- Katusic, M. Z., Voigt, R. G., Colligan, R. C., Weaver, A. L., Homan, K. J., & Barbaresi, W. J. (2011). Attention-deficit hyperactivity disorder in children with high intelligence quotient :

- Results from a population-based study. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 32(2), 103-109. <https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e318206d700>
- Kieboom, T. (2011). *Accompagner l'enfant surdoué*. De Boeck Supérieur.
- Knepper, W., Obrzut, J. E., & Copeland, E. P. (1983). Emotional and social problem-solving thinking in gifted and average elementary school children. *The Journal of Genetic Psychology*, 142(1), 25–30. <https://doi.org/10.1080/00221325.1983.10533492>
- Knoff, H. M., & Sperling, B. L. (1986). Gifted children and visual-motor development: A comparison of Bender-Gestalt and VMI test performance. *Psychology in the Schools*, 23(3), 247-251. [https://doi.org/10.1002/1520-6807\(198607\)23:3<247::AID-PITS2310230303>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1520-6807(198607)23:3<247::AID-PITS2310230303>3.0.CO;2-Y)
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2012). *NEPSY-II : Bilan neuropsychologique de l'enfant, 2nde édition*. Edition du Centre de Psychologie Appliquée - Pearson.
- Kovacs, K., & Conway, A. R. A. (2019). What is IQ? Life beyond “General intelligence”. *Current Directions in Psychological Science*, 28(2), 189-194. <https://doi.org/10.1177/0963721419827275>
- Kumar, G., & Steer, R. A. (2010). Factorial validity of the Conners' parent rating scale-revised: Short form with psychiatric outpatients: Journal of personality assessment. *Journal of Personality Assessment*, 80(3), 252-259.
- Labouret, G., & Grégoire, J. (2018). La dispersion intra-individuelle et le profil des scores dans les QI élevés. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 154, 271-279.
- Lautrey, J. (2004). Introduction: Hauts potentiels et talents: la position actuelle du problème. *Psychologie Française*, 49(3), 219-232. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.03.001>
- Le Fur, C., Câmara-Costa, H., Francillette, L., Opatowski, M., Toure, H., Brugel, D., Laurent-Vannier, A., Meyer, P., Watier, L., Dellatolas, G., & Chevignard, M. (2020). Executive functions and attention 7 years after severe childhood traumatic brain injury: Results of the

- Traumatisme Grave de l'Enfant (TGE) cohort. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 63(4), 270-279. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.09.003>
- Le Gall, D. (1998). *Des apraxies aux atechnies : Propositions pour une ergologie clinique*. De Boeck.
- Le Gall, D., Etcharry-Bouyx, F., & Osiurak, F. (2012). Les apraxies : Synthèse et nouvelles perspectives. *Revue de neuropsychologie*, 4(3), 174-185. <https://doi.org/10.1684/nrp.2012.0229>
- Lecerf, T., Reverte, I., Coleaux, L., Favez, N., & Rossier, J. (2010). Indice d'aptitude général pour le WISC-IV : Normes francophones. *Pratiques Psychologiques*, 16(1), 109-121. <https://doi.org/10.1016/j.prps.2009.04.001>
- Lee, K., Bull, R., & Ho, R. M. H. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child Development*, 84(6), 1933-1953. <https://doi.org/10.1111/cdev.12096>
- Leikin, M., Paz-Baruch, N., & Leikin, R. (2013). Memory abilities in generally gifted and excelling-in-mathematics adolescents. *Intelligence*, 41(5), 566-578.
- Leonard, H. C., Bernardi, M., Hill, E. L., & Henry, L. A. (2015). Executive functioning, motor difficulties, and developmental coordination disorder. *Developmental Neuropsychology*, 40(4), 201-215. <https://doi.org/10.1080/87565641.2014.997933>
- Leroy-Malherbe, V. (2006). La dyspraxie de l'enfant : hypothèses neurocognitives et diagnostic. *Motricité Cérébrale : Réadaptation, Neurologie du Développement*, 27(3), 98-115.
- Lesourd, M., Baumard, J., Remigereau, C., Costini, O., Jarry, C., Osiurak, F., & Le Gall, D. (2018). Un demi-siècle d'apraxie : histoire récente et perspectives futures. *Revue de neuropsychologie*, 10(1), 82-90.
- Liratni, M., & Pry, R. (2007). Psychométrie et WISC IV : Quel avenir pour l'identification des enfants à haut potentiel intellectuel ? *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 55(4), 214-219. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2007.06.003>

- Liratni, M., & Pry, R. (2012). Profils psychométriques de 60 enfants à haut potentiel au WISC IV. *Pratiques Psychologiques, 18*(1), 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.prps.2011.01.006>
- Logan, S. W., Ross, S. M., Chee, K., Stodden, D. F., & Robinson, L. E. (2018). Fundamental motor skills : A systematic review of terminology. *Journal of Sports Sciences, 36*(7), 781-796. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1340660>
- Louis, J.-M. (2014). *Mon enfant est-il précoce ? - 4e éd.: Comment l'aider et l'intégrer en famille et à l'école*. InterEditions.
- Loureiro, I. S., Lowenthal, F., Lefebvre, L., & Vaivre-Douret, L. (2009). Le trouble déficitaire de l'attention chez l'enfant à haut potentiel : Étude exploratoire. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant, 21*(2), 188-194.
- Lovett, B. J., & Sparks, R. L. (2013). The identification and performance of gifted students with learning disability diagnoses : A quantitative synthesis. *Journal of Learning Disabilities, 46*(4), 304-316. <https://doi.org/10.1177/0022219411421810>
- LPPL (Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire). (2013). *Batterie d'évaluation des troubles d'utilisation d'objets chez l'enfant*. Angers.
- Lubart, T. (2006). *Enfants exceptionnels : Précocité intellectuelle, haut potentiel et talent*. Bréal.
- Luria, A.R. (1978). *Les fonctions corticales supérieures de l'homme*. Presses Universitaires de France.
- Lussier, F., Chevrier, E., & Gascon, L. (2018). *Neuropsychologie de l'enfant - 3e édition : Troubles développementaux et de l'apprentissage*. Dunod.
- Maddocks, D. L. S. (2018). The identification of students who are gifted and have a learning disability : A comparison of different diagnostic criteria. *Gifted Child Quarterly, 62*(2), 175-192. <https://doi.org/10.1177/0016986217752096>

- Maddocks, D. L. S. (2020). Cognitive and achievement characteristics of students from a national sample identified as potentially twice exceptional (gifted with a learning disability). *Gifted Child Quarterly*, 64(1), 3-18. <https://doi.org/10.1177/0016986219886668>
- Marquet-Doléac, J., Soppelsa, R., & Albaret, J. M. (2016). *MABC-2—Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant—2nde édition*. Edition du Centre de Psychologie Appliquée.
- McCloskey, M., & Rapp, B. (2017). Developmental dysgraphia : An overview and framework for research. *Cognitive Neuropsychology*, 34(3-4), 65-82. <https://doi.org/10.1080/02643294.2017.1369016>
- McCoach, D. B., Kehle, T. J., Bray, M. A., & Siegle, D. (2001). Best practices in the identification of gifted students with learning disabilities. *Psychology in the Schools*, 38(5), 403-411. <https://doi.org/10.1002/pits.1029>
- McCoach, D. B., & Siegle, D. (2003). The school attitude assessment survey-revised: A new instrument to identify academically able students who underachieve. *Educational and Psychological Measurement*, 63(3), 414-429.
- McGee, C. L., Delis, D. C., & Holdnack, J. A. (2009). Cognitive discrepancies in children at the ends of the bell curve : A note of caution for clinical interpretation. *The Clinical Neuropsychologist*, 23(7), 1160-1172. <https://doi.org/10.1080/13854040902794995>
- McGrew, K. S. (1997). Analysis of the major intelligence batteries according to a proposed comprehensive Gf-Gc framework. In D. P. Flanagan, J. L. Genshaft & P. L. Harrison, (Eds.), *Contemporary intellectual assessment : Theories, tests, and issues* (pp. 151-119). The Guilford Press.
- Minahim, D., & Rohde, L. A. (2015). Attention deficit hyperactivity disorder and intellectual giftedness : A study of symptom frequency and minor physical anomalies. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 37(4), 289-295. <https://doi.org/10.1590/1516-4446-2014-1489>

- Mofield, E., & Peters, M. P. (2019). Understanding underachievement : Mindset, perfectionism, and achievement attitudes among gifted students. *Journal for the Education of the Gifted*, 42(2), 107-134. <https://doi.org/10.1177/0162353219836737>
- Molinero, C., Mata, S., Calero, M. D., García-Martín, M. B., & Araque-Cuenca, A. (2015). Usefulness of WISC-IV in Determining Intellectual Giftedness. *The Spanish Journal of Psychology*, 18. <https://doi.org/10.1017/sjp.2015.63>
- Montoya-Arenas, D. A., Aguirre-Acevedo, D. C., Díaz Soto, C. M., & Pineda Salazar, D. A. (2018). Executive functions and high intellectual capacity in school-age : Completely overlap? *International Journal of Psychological Research*, 11(1), 19-32. <https://doi.org/10.21500/20112084.3239>
- Moon, S. (2002). Gifted children with attention-deficit/hyperactivity disorder. In S. Neihart, N. Reis, N. Robinson, & S. Moon (Éds.), *The social and emotional development of gifted children : What do we know?* (pp. 193-201). Prufrock Press.
- Moura, O., Simões, M. R., & Pereira, M. (2014). WISC-III cognitive profiles in children with developmental dyslexia : specific cognitive disability and diagnostic utility. *Dyslexia*, 20(1), 19- 37. <https://doi.org/10.1002/dys.1468>
- Mullet, D. R., & Rinn, A. N. (2015). Giftedness and ADHD : Identification, misdiagnosis, and dual diagnosis. *Roeper Review*, 37(4), 195-207. <https://doi.org/10.1080/02783193.2015.1077910>
- Neisser, U., Boodoo, G., Bouchard, T. J., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., Halpern, D. E., Loehlin, J. C., Perloff, R., Sternberg, R. J., & Urbina, S. (1996). Intelligence : Knowns and unknowns. *American Psychologist*, 51(2), 77-101.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness : The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Osiurak, F. (2016). *Apraxie et troubles d'utilisation d'outils : « Que sais-je ? » n° 4063*. Presses Universitaires de France.

- Osiurak, F., & Heinke, D. (2018). Looking for intoelligence : A unified framework for the cognitive study of human tool use and technology. *American Psychologist*, 73(2), 169-185.
- Osterrieth, P. A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution à l'étude de la perception et de la mémoire. *Archives de Psychologie*, 30, 206-356.
- Pang, W., Esping, A., & Plucker, J. A. (2017). Confucian conceptions of human intelligence. *Review of General Psychology*, 21(2), 161-169. <https://doi.org/10.1037/gpr0000103>
- Peigneux, P., & Betsch, C. (2009). Les troubles des praxies. In M. Poncelet, S. Majerus & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de neuropsychologie de l'enfant* (pp. 331-358). Solal.
- Pereira-Fradin, M. (2006). Les différences individuelles chez les enfants à haut potentiel intellectuel. In A. Weil-Barais, *Enfants exceptionnels : Précocité intellectuelle, haut potentiel et talent* (pp. 36-64). Bréal.
- Peyre, H., Charkaluk, M.-L., Forhan, A., Heude, B., & Ramus, F. (2017). Do developmental milestones at 4, 8, 12 and 24 months predict IQ at 5–6 years old? Results of the EDEN mother–child cohort. *European Journal of Paediatric Neurology*, 21(2), 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.11.001>
- Peyrebrune, A. (2018). *Les habilités d'écriture d'adolescents à haut potentiel intellectuel : Étude des habilités graphomotrices, orthographiques et rédactionnelles comparées à celles d'adolescents ordinaires*. Thèse non publiée. Université de Bordeaux.
- Pfeiffer, S. I. (2015). *Essentials of gifted assessment*. John Wiley & Sons.
- Pineda, D., Ardila, A., Rosselli, M. N., Cadavid, C., Mancheno, S., & Mejia, S. (1998). Executive dysfunctions in children with attention deficit hyperactivity disorder. *International Journal of Neuroscience*, 96(3-4), 177-196.
- Planche, P. (1998). La construction des notions spatiales chez les enfants intellectuellement précoces, âgés de 6 à 8 ans. *Enfance*, 51(2), 159-171. <https://doi.org/10.3406/enfan.1998.3104>

- Plomin, R., & von Stumm, S. (2018). The new genetics of intelligence. *Nature reviews. Genetics*, *19*(3), 148- 159. <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.104>
- Quartier, V., Losa, I., Brodard, F., Roman, P., & Hanifi, M. (2019). Pertinence et implications du seuil normatif pour l'identification des enfants à haut potentiel intellectuel. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, *161*, 541-546.
- Ramus, F. (2018). Les surdoués ont-ils un cerveau qualitativement différent? *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, *30*(154), 281-287.
- Reis, S. M., Baum, S. M., & Burke, E. (2014). An operational definition of twice-exceptional learners : Implications and applications. *Gifted Child Quarterly*, *58*(3), 217-230. <https://doi.org/10.1177/0016986214534976>
- Reis, S. M., & McCoach, D. B. (2000). The underachievement of gifted students : What do we know and where do we go? *Gifted Child Quarterly*, *44*(3), 152-170. <https://doi.org/10.1177/001698620004400302>
- Remigereau, C. (2016). *L'utilisation d'outil chez l'enfant : Approche neuropsychologique du développement normal et du Trouble de l'Acquisition de la Coordination*. Thèse non publiée. Université d'Angers. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02454463>.
- Remigereau, C., & Costini, O. (2018). Approche neuropsychologique du trouble développemental de la coordination. In A. Roy, B. Guillery-Girard, G. Aubin, C. Mayor-Dubois (Éds.), *Neuropsychologie de l'enfant : Approches cliniques, modélisations théoriques et méthodes* (pp. 94-116). De Boeck Supérieur.
- Remigereau, C., Roy, A., Costini, O., Barbarot, S., Bru, M., & Le Gall, D. (2018). Praxis skills and executive function in children with neurofibromatosis type 1. *Applied Neuropsychology: Child*, *7*(3), 224-234. <https://doi.org/10.1080/21622965.2017.1295856>

- Remigereau, C., Roy, A., Costini, O., Osiurak, F., Jarry, C., & Le Gall, D. (2016). Involvement of technical reasoning more than functional knowledge in development of tool use in childhood. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01625>
- Renzulli, J. S. (2005). The three-ring conception of giftedness : A developmental model for promoting creative productivity. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Éds.), *Conceptions of giftedness* (pp. 246-279). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610455.015>
- Revol, O., & Bléandonu, G. (2012). Enfants intellectuellement précoces : Comment les dépister ? *Archives de Pédiatrie*, 19(3), 340-343. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2011.12.011>
- Robert, G., Kermarrec, S., Guignard, J.-H., & Tordjman, S. (2010). Signes d'appel et troubles associés chez les enfants à haut potentiel. *Archives de Pédiatrie*, 17(9), 1363-1367. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2010.05.019>
- Roche, J., Câmara-Costa, H., Roulin, J.-L., Chevignard, M., Frappaz, D., Guichardet, K., Benkhaled, O., Kerrouche, B., Prodhomme, J., Kieffer-Renaux, V., Le Gall, D., Fournet, N., & Roy, A. (2020). Assessment of everyday executive functioning using the BRIEF in children and adolescents treated for brain tumor. *Brain Injury*, 1-8. <https://doi.org/10.1080/02699052.2020.1725982>
- Rommelse, N., Antshel, K., Smeets, S., Greven, C., Hoogeveen, L., Faraone, S. V., & Hartman, C. A. (2017). High intelligence and the risk of ADHD and other psychopathology. *The British Journal of Psychiatry*, 211(6), 359-364. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.116.184382>
- Rothi, L.J.G, Ochipa C, Heilman K.M. (1991). A cognitive neuropsychological model of limb praxis. *Cognitive Neuropsychology*, 8, 443-458.
- Rothi, L.J.G., Ochipa C, Heilman KM. (1997). A cognitive neuropsychological model of limb praxis and apraxia. In: Rothi L.J.G & Heilman K.M. (Eds), *Apraxia: The neuropsychology of action* (29-49). Psychology Press.

- Roulin, J.-L. (2018). Evaluation de l'intelligence en neuropsychologie : À la recherche d'une définition. In G. Aubin, A. Roy, B. Guillery-Girard, & C. Mayor-Dubois (Éds.), *Neuropsychologie de l'enfant : Approches cliniques, modélisations théoriques et méthodes* (p. 381-393). De Boeck Supérieur.
- Roy, A. (2015). Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : État des lieux et éléments de prospective. *Revue de Neuropsychologie*, 7(4), 245-256.
- Roy, A., Fournet, N., Le Gall, D., & Roulin, J.-L. (à paraître). *La batterie FÉE : Fonctions exécutives de l'enfant*. Paris.
- Roy, A., Fournet, N., Roulin, J.-L., & Le Gall, D. (2013). *BRIEF-inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives, adaptation française [Behavior rating inventory of executive]*. Hogrefe France Editions.
- Roy, A., Le Gall, D., Roulin, J.-L., & Fournet, N. (2012). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de Neuropsychologie*, 4(4), 287-297.
- Roy, A., Lodenos, V., Fournet, N., Le Gall, D., & Roulin, J.-L. (2017). Le syndrome dysexécutif chez l'enfant : Entre avancées scientifiques et questionnements. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 29, 27-38.
- Roy, A., Roulin, J.-L., Charbonnier, V., Allain, P., Fasotti, L., Barbarot, S., Stalder, J.-F., Terrien, A., & Le Gall, D. (2010). Executive dysfunction in children with neurofibromatosis type 1 : A study of action planning. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(6), 1056-1063. <https://doi.org/10.1017/S135561771000086X>
- Roy, A., Roulin, J.-L., Fournet, N., Le Gall, D., Krasny-Pacini, A., & Chevignard, M. (2020). Les troubles des fonctions exécutives. In S. Majerus, I. Jambaqué, L. Mottron, M. Van der Linden, & M. Poncelet (Éds.), *Traité de neuropsychologie de l'enfant, 2ème édition* (pp. 219-241). De Boeck Superieur.

- Roy, E. A. (1996). Hand preference, manual asymmetries, and limb apraxia. In D. Elliott & E.A. Roy (Eds.), *Manual asymmetries in motor performance* (215-236). CRC Press.
- Roy, E. A., & Square, P. A. (1985). Common considerations in the study of limb, verbal and oral apraxia. *Advances in Psychology*, 23, 111-161. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61139-5](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61139-5)
- Savage, J. E., Jansen, P. R., Stringer, S., Watanabe, K., Bryois, J., de Leeuw, C. A., Nagel, M., Awasthi, S., Barr, P. B., Coleman, J. R. I., Grasby, K. L., Hammerschlag, A. R., Kaminski, J. A., Karlsson, R., Krapohl, E., Lam, M., Nygaard, M., Reynolds, C. A., Trampush, J. W., ... Posthuma, D. (2018). Genome-wide association meta-analysis in 269,867 individuals identifies new genetic and functional links to intelligence. *Nature Genetics*, 50(7), 912-919. <https://doi.org/10.1038/s41588-018-0152-6>
- Segalowitz, S. J., Unsal, A., & Dywan, J. (1992). Cleverness and wisdom in 12-year-olds: Electrophysiological evidence for late maturation of the frontal lobe. *Developmental Neuropsychology*, 8(2-3), 279-298. <https://doi.org/10.1080/87565649209540528>
- Shaw, P., Greenstein, D., Lerch, J., Clasen, L., Lenroot, R., Gogtay, N., Evans, A., Rapoport, J., & Giedd, J. (2006). Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature*, 440(7084), 676-679. <https://doi.org/10.1038/nature04513>
- Shimoni, M. A., Engel-Yeger, B., & Tirosh, E. (2012). Executive dysfunctions among boys with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): Performance-based test and parents report. *Research in developmental disabilities*, 33(3), 858-865.
- Siaud-Facchin, J. (2012). *L'enfant surdoué*. Odile Jacob.
- Sibony, O. (2019). *Vous allez commettre une terrible erreur ! : Combattre les biais cognitifs pour prendre de meilleures décisions*. Flammarion.

- Silver, S. J., & Clampit, M. K. (1990). WISC-R Profiles of High Ability Children : Interpretation of Verbal-Performance Discrepancies. *Gifted Child Quarterly*, 34(2), 76-79.
<https://doi.org/10.1177/001698629003400205>
- Silverman, L. K. (1989). Invisible gifts, invisible handicaps. *Roepers Review*, 12(1), 37-42.
- Silverman, L. K. (1997). The construct of asynchronous development. *Peabody Journal of Education*, 72(3- 4), 36- 58.
- Silverman, L. K. (2009). The measurement of giftedness. In L. V. Shavinina (Éd.), *International Handbook on Giftedness* (pp. 947-970). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6162-2_48
- Soppelsa, R., & Albaret, J. M. (2013). *BHK ADO - Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'adolescent*. Pearson - Edition du Centre de Psychologie Appliquée.
- Spearman, C. (1904). « General intelligence, » objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), 201-292. <https://doi.org/10.2307/1412107>
- Spearman, C. (1923). *The nature of « intelligence » and the principles of cognition*. Macmillan.
- Stamenova, V., Black, S. E., & Roy, E. A. (2012). An update on the conceptual–production systems model of apraxia: evidence from stroke. *Brain and cognition*, 80(1), 53-63.
- Sternberg, R. J. (1981). A componential theory of intellectual giftedness. *Gifted Child Quarterly*, 25(2), 86-93. <https://doi.org/10.1177/001698628102500208>
- Sternberg, R. J., & Kaufman, J. C. (1998). Human abilities. *Annual Review of Psychology*, 49(1), 479- 502. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.49.1.479>
- Stoeger, H., & Ziegler, A. (2013). Deficits in fine motor skills and their influence on persistence among gifted elementary school pupils. *Gifted Education International*, 29(1), 28-42.
<https://doi.org/10.1177/0261429412440649>

- Stoeger, H., Ziegler, A., & Martzog, P. (2008). Deficits in fine motor skill as an important factor in the identification of gifted underachievers in primary school. *Psychology Science Quarterly*, 50(2), 134-146.
- Sweetland, J. D., Reina, J. M., & Tatti, A. F. (2006). WISC-III verbal/performance discrepancies among a sample of gifted children. *Gifted Child Quarterly*, 50(1), 7-10. <https://doi.org/10.1177/001698620605000102>
- Terman, L. M. (1926). *Genetic studies of genius : Mental and physical traits of a thousand gifted children: Volume 1* (Seconde édition). Stanford University Press. <http://archive.org/details/geneticstudiesof009044mbp>
- Terrassier, J.-C. (2009). Les enfants intellectuellement précoces. *Archives de Pédiatrie*, 16(12), 1603-1606. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2009.07.019>
- Terrassier, Jean-Charles. (2018). *Les enfants surdoués : Ou la précocité embarrassante*. ESF Sciences Humaines.
- Terriot, K. (2018). De la définition théorique du haut potentiel intellectuel (HPI) aux conséquences pratiques. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 30(154), 265-270.
- Terriot, K., Grégoire, J., & Loarer, E. (2017). Les évaluations auto et hétéro-rapportées sont-elles des alternatives à la mesure psychométrique classique de l'intelligence ? Revue de 25 ans de recherche. *Bulletin de psychologie*, 550(4), 275-289. <https://doi.org/10.3917/bupsy.550.0275>
- Thaler, N. S., Bello, D. T., Randall, C., Goldstein, G., Mayfield, J., & Allen, D. N. (2010). IQ profiles are associated with differences in behavioral functioning following pediatric traumatic brain injury. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 25(8), 781-790. <https://doi.org/10.1093/arclin/acq073>

- Thongseiratch, T., & Worachotekamjorn, J. (2016). Impact of the DSM-V attention deficit hyperactivity disorder criteria for diagnosing children with high IQ. *Psychological Reports, 119*(2), 365-373. <https://doi.org/10.1177/0033294116662662>
- Thorndike, E. L. (1921). Intelligence and its measurement : A symposium I. *Journal of Educational Psychology, 12*(3), 124-127. <https://doi.org/10.1037/h0064596>
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities*. University of Chicago Press. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.2044-8279.1939.tb03214.x>
- Tiffin, J., & Asher, E. J. (1948). The Purdue Pegboard : Norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology, 32*(3), 234-247. <https://doi.org/10.1037/h0061266>
- Tordjman, S., Vaivre-Douret, L., Chokron, S., & Kermarrec, S. (2018). Les enfants à haut potentiel en difficulté : Apports de la recherche clinique. *L'Encéphale, 44*(5), 446-456. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2018.07.006>
- Touwen, B. C. L. (1979). *Examination of the child with Minor Neurological Dysfunction*. Heinemann Medical Books.
- Vaivre-Douret, L. (2004). Les caractéristiques développementales d'un échantillon d'enfants tout venant à hautes potentialités (surdoués) : Suivi prophylactique. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence, 52*(3), 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2004.01.006>
- Vaivre-Douret, L. (2007). Troubles d'apprentissage non verbal : les dyspraxies développementales. *Archives de pédiatrie, 14*(11), 1341-1349.
- Vaivre-Douret, L. (2012). Spécificités développementales du jeune enfant à « hautes potentialités ». *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant, 119*, 445-455.
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Cabrol, D., Ingster-Moati, I., Falissard, B., & Golse, B. (2011a). Identification de critères diagnostiques des sous-types de troubles de l'acquisition de la

- coordination (TAC) ou dyspraxie développementale. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 59(8), 443-453. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2011.07.006>
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Ingster-Moati, I., Boddaert, N., Cabrol, D., Golse, B., & Falissard, B. (2011b). Subtypes of developmental coordination disorder : Research on their nature and etiology. *Developmental Neuropsychology*, 36(5), 614-643.
- Vaivre-Douret, L., & Planche, P. (2020). Homogeneous or heterogeneous I.Q profile : Some clinical characteristics to differentiate high intellectual potential and Asperger's syndrome in children. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders*, 4(4), 191-217.
- van der Linden, M., Meulemans, T., Seron, X., Coyette, F., André Bénito, P., & Prairial, C. (2000). L'évaluation des fonctions exécutives. In X. Séron & M. Van der Linden (Éds.), *Traité de neuropsychologie clinique, tome 1* (pp. 275-300). Solal.
- van Hoorn, J. F., Maathuis, C. G. B., & Hadders-Algra, M. (2013). Neural correlates of paediatric dysgraphia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(s4), 65-68. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12310>
- van Viersen, S., Kroesbergen, E. H., Slot, E. M., & de Bree, E. H. (2014). High reading skills mask dyslexia in gifted children. *Journal of Learning Disabilities*, 49(2), 189-199. <https://doi.org/10.1177/0022219414538517>
- Vannetzel, L. (2018). Synthèse du livre de S. Brasseur et C. Cuche : Le haut potentiel en questions. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 30(153), 329-331.
- Varvara, P., Varuzza, C., Padovano Sorrentino, A. C., Vicari, S., & Menghini, D. (2014). Executive functions in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00120>
- Verguts, T., & De Boeck, P. (2002). On the correlation between working memory capacity and performance on intelligence tests. *Learning and Individual Differences*, 13(1), 37-55. [https://doi.org/10.1016/S1041-6080\(02\)00049-3](https://doi.org/10.1016/S1041-6080(02)00049-3)

- Viana-Sáenz, L., Sastre-Riba, S., Urraca-Martínez, M. L., & Botella, J. (2020). Measurement of executive functioning and high intellectual ability in childhood : A comparative meta-analysis. *Sustainability*, *12*(11), 1-12.
- Wahl, G. (2019). *Les enfants intellectuellement précoces*. Presses Universitaires de France.
- Warne, R. T., & Burningham, C. (2019). Spearman's g found in 31 non-Western nations : Strong evidence that g is a universal phenomenon. *Psychological Bulletin*, *145*(3), 237-272. <https://doi.org/10.1037/bul0000184>
- Wechsler, D. (2016a). *Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, 5ème édition : WISC-V*. Pearson - Edition du Centre de Psychologie Appliquée.
- Wechsler, D. (2016b). *WISC-V : Manuel d'interprétation*. Pearson - Edition du Centre de Psychologie Appliquée.
- Whalley, L. J., & Deary, I. J. (2001). Longitudinal cohort study of childhood IQ and survival up to age 76. *British Medical Journal*, *322*(7290), 819.
- Yates, C. M., Berninger, V. W., & Abbott, R. D. (1995). Specific writing disabilities in intellectually gifted children. *Talents and Gifts*, *18*(2), 131-155. <https://doi.org/10.1177/016235329501800203>
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence : Development and plasticity. *Child Development Perspectives*, *6*(4), 354-360.
- Zesiger, P. (1995). *Écrire : Approches cognitive, neuropsychologique et développementale*. Paris : Presses Universitaires de France.

7. Table des tableaux et des figures

7.1 Table des tableaux

Titre	p.
Samples characteristics of studies comparing IG children to a TD control group (or norms)	40
Samples characteristics of studies including IG children sub-groups (Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Learning Disabilities)	41
Main results of studies comparing IG children to TD children on neuropsychological measures	45
Main results of studies on IG children sub-groups (Learning disabilities, ADHD) on neuropsychological measures	48
Final statement about findings in IG children compared to TD children	49
Critères d'inclusion et de non inclusion des participants à l'étude	73
Caractéristiques descriptives des groupes d'enfants à haut potentiel intellectuel et d'enfants au développement typique	74
Récapitulatif du protocole d'évaluation	77
Samples characteristics	89
Praxis scores in Intellectually gifted children and Typically developing children	96
Praxis performances and NSS of 4 Intellectually Gifted children at high-risk of handwriting difficulties	99
Partial correlation matrix of performance-based measures, NSS and M-ABC-II parents rating scores in the Typically Developing sample	101
Partial correlation matrix of performance-based measures, NSS and M-ABC-II parents rating scores in the Intellectually Gifted sample	102
Données descriptives de l'échantillon d'EHPI	126
Nombre de participants (%) concernés par un score d'alerte, de déficit et de déficit sévère pour chacune des mesures exécutives et comparaison à la fréquence normalement attendue	129
Résultats en percentiles des 4 participants présentant au moins 2 scores exécutifs déficitaires.	130
Comparaisons des scores bruts (ou notes standard) obtenus aux subtests évaluant les fonctions exécutives entre EHPI et EDT	141
Comparaisons des scores T obtenus aux échelles de la BRIEF entre EHPI et EDT	143
Comparaisons des scores bruts obtenus à l'échelle de Conners entre EHPI et EDT	144
Fréquences des scores significatifs ($T \geq 65$) attribués par les parents et les professeurs à la BRIEF pour les EHPI et les EDT en comparaison aux normes	144
Fréquences des scores significatifs ($T \geq 65$) attribués par les parents et les professeurs au questionnaire de Conners pour les EHPI et les EDT en comparaison aux normes	145
Scores bruts moyens par items obtenus à la forme Parents et Enseignant de la BRIEF pour les EHPI, les EDT et comparaisons avec les populations cliniques du manuel (DL-DO, prématurité, NF1)	146
Taux de congruence entre les scores obtenus à la BRIEF et à l'échelle de Conners (parents et enseignant) pour les enfants dont les deux scores étaient disponibles	147
Matrice de corrélation (rho de Spearman) des résultats obtenus par les enfants au développement typique à la BRIEF versions parents et enseignant	149
Matrice de corrélation (rho de Spearman) des résultats obtenus par les enfants au développement typique à l'échelle de Conners versions parents et enseignant	149
Matrice de corrélation (rho de Spearman) des résultats obtenus par les enfants à haut potentiel intellectuel à la BRIEF versions parents et enseignant	150
Matrice de corrélation (rho de Spearman) des résultats obtenus par les enfants à haut potentiel intellectuel à l'échelle de Conners versions parents et enseignant	150
Corrélations (rho de Spearman) entre les scores obtenus par les EHPI aux mesures basées sur la performance et aux questionnaires de la BRIEF, selon le cotateur (Parents, Enseignant)	152
Corrélations entre les scores obtenus par les EDT aux mesures basées sur la performance et aux questionnaires de la BRIEF, selon le cotateur (Parents, Enseignant)	153
Étude de cas : scores à la BRIEF et à l'échelle de Conners complétés par les parents et le professeur	154

7.2 Table des figures

Titre	page
Nombre de publications concernant les enfants à haut potentiel intellectuel répertoriées dans la base de données Scopus entre 1999 et 2019	20
Adaptation du modèle de Diamond (2013)	27
Flow diagram of selected studies	42
Key recommendations for improving knowledge about cognitive functioning in intellectually gifted	59
BHK-C score in IG and TD children	98

8. Annexes

Annexe 1. Accord de l'ANSM pour l'étude	217
Annexe 2. Accord du Comité de Protection des Personnes	218
Annexe 3. Courrier de l'appel à participation à l'étude	220
Annexe 4. Affiche de l'appel à participation à l'étude (format A3)	221
Annexe 5. Annonce pour l'appel à participation dans le journal	222
Annexe 6. Notice d'information à destination des parents	223
Annexe 7. Notice d'information pour les participants de 6 à 11 ans	227
Annexe 8. Notice d'information pour les participants de 12 à 16 ans	228
Annexe 9. Formulaire de consentement	230
Annexe 10. Anamnèse	232
Annexe 11. Etude des profils pratique des 17 enfants à haut potentiel intellectuel	235
Annexe 12. Etude des profils pratique des 24 enfants au développement typique	236

Annexe 1. Accord de l'ANSM pour l'étude



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction de la Maîtrise des flux et des
référentiels / INOTIF

Pôle Instruction et Notification des dossiers
dispositifs médicaux et autres flux

Dossier suivi par : Nadia BENSABA

Tel. +33(0)1 55 87 40 25

Fax : +33 (0)1 55 87 37 99

E-mail : nadia.bensaha@ansm.sante.fr

Réf. Sortant : 2016122000126

Télécopie / Fax

Saint-Denis, le

20 DEC. 2016

Valentine GUITON

CHRU de Brest

Fax : 02 98 22 31 83

nombre de pages incluant celle-ci : 1

Objet : AUTORISATION D'UN ESSAI CLINIQUE NE PORTANT PAS SUR UN PRODUIT DE SANTE

Madame, Monsieur,

Par courrier électronique daté 01/12/2016 et reçu le 01/12/2016, vous avez adressé, conformément aux dispositions des articles L.1123-8 et R.1123-30 du code de la santé publique (CSP), une demande d'autorisation d'essai clinique ne portant pas sur un produit mentionné à l'article L. 5311-1 du CSP (Essai-HPS) :

Identification de l'essai clinique		IDRCB : 2016-A01669-42	
Titre	<i>MOHPI : Étude du geste et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel</i>		
Promoteur	CHRU de Brest	Réf. Promoteur	RB 16.145
CPP	SUD EST IV	Réf. CPP	

Vu le code de la santé publique et notamment ses articles L. 1123-8, R. 1123-32 ;

L'autorisation mentionnée à l'article L. 1123-8 du code de la santé publique est accordée pour l'essai clinique cité en objet. Cette autorisation est valable pour toute la durée de l'essai à compter de la date de la présente. Toutefois, conformément à l'article R. 1123-33 du code de la santé publique, la présente autorisation devient caduque si la recherche n'a pas débuté dans un délai d'un an.

Je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

Le Directeur adjoint de la maîtrise des flux et des référentiels

David MORELLE

Confidentialité

Cette transmission est à l'attention exclusive du(des) destinataire(s) ci-dessus mentionné(s) et peut contenir des informations privilégiées et/ou confidentielles. Si vous n'êtes pas le destinataire voulu ou une personne mandatée pour lui remettre cette transmission, vous avez reçu ce document par erreur et toute utilisation, révélation, copie ou communication de son contenu est interdite. Si vous avez reçu cette transmission par erreur, veuillez nous en informer par téléphone immédiatement et nous retourner le message original par courrier. Merci.

Confidentiality

This transmission is intended to the addressee(s) listed above only and may contain preferential or/and confidential information. If you are not the intended recipient, you are hereby notified that you have received the document by mistake and any use, disclosure, copying or communication of the content of this transmission is prohibited. If you have received this transmission by mistake, please call us immediately and return the original message by mail. Thank you.

Annexe 2. Accord du Comité de Protection des Personnes

Comité de Protection des Personnes SUD-EST IV

Centre Léon Bérard – 28 rue Laennec – 69373 LYON CEDEX 08

Président : Dr. David PEROL
Vice-président : Mme Pascale CHIFFE-COSTANZO
Secrétaire général : Dr. Daniel ESPINOUSE

Madame Valentine GUITON
CHRU de Brest - Délégation à la Recherche
Clinique et à l'Innovation
2 avenue Foch
29609 BREST CEDEX

Lyon, le 16 mars 2017

N° CPP : 16/082

Réf. de la délibération : A 17-51

N° ID RCB : 2016-A01669-42

Protocole n° 29BRC16.0145

Date de réception : 5 décembre 2016

Promoteur : CHRU de Brest

Investigateur coordonnateur : Dr. Sylviane PEUDENIER, CHU de Brest

Titre de l'étude :

"Etude MOHPI : Etude du geste et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel".

Protocole + Résumé, version 1.2 du 2 mars 2017;

Documents d'information et de consentement :

- Note information enfant 6-11 ans ;
- Note information 12-16 ans, version 1.2 du 2 mars 2017;
- Note information parents + consentement, version 1.1 du 27 janvier 2017;

Courrier destiné au parent absent lors de l'inclusion de son enfant;

Documents pour le recrutement : courrier et affiche;

Questionnaires :

- Inventaire d'Evaluation Comportementale des Fonctions Exécutives (BRIEF), version enseignant et version parent;
- Echelle d'évaluation Conners pour enseignant (CTRS-R:S) et pour parents (CPRS-R:S), version brève ;
- Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant (MABC-2);

Document additionnel du 29 novembre 2016;

Liste des investigateurs, version du 29 novembre 2016;

Premier examen : 13 décembre 2016

Délibération D 16-17

Réponse du promoteur : 10 février 2017

Le Comité a examiné cette réponse au cours de sa séance du 14 février 2017 et a émis un avis favorable avec des remarques.

Réception de la réponse du promoteur à ces remarques le 16 mars 2017.

Membres présents à la séance :

	Titulaires	Suppléants
1^{er} collège		
Cat. 1 Recherche biomédicale	Dr. D. PEROL, Mme M. MONTANGE	Dr. P. CONY-MAKHOUL, Mme N. FALETTE, Mme R. MARAVAL-GAGET,

Secrétariat : Odette MARITAZ
☎ 04 78 78 27 61 - ☎ 04 78 78 28 58
E-mail : odette.maritaz@lyon.unicancer.fr

1/2
N° CPP : 16/082
A 17-51

		Dr. A. BERTRAND
Cat. 2 Médecin généraliste		Dr. A. LEPAPE
Cat. 4 Infirmier	Mr. G. DUYCK	Mme H. MADIOT
2° collège		
Cat. 5 "Ethique"	Mme C. KAPITZ	
Cat. 8 "Juridique"	Mme M.A. EUDELIN	
Cat. 9 Représentant d'association	Mme C. FABRY	

Le Comité a adopté la délibération suivante :

AVIS FAVORABLE

La maturation neuromotrice des enfants à haut potentiel intellectuel (EHPI) ne serait pas à la hauteur de leur développement intellectuel et cette "dyssynchronie intelligence/motricité" (concept introduit en 1995) pourrait être à l'origine de difficultés d'apprentissages et de difficultés scolaires.

Aucun consensus sur la manière de repérer ces enfants : le seuil de 130 de Quotient Intellectuel Total aux échelles d'efficacité intellectuelle est à peu près communément admis et permet d'estimer que cela concerne environ 200 000 élèves français âgés de 6 à 16 ans. Néanmoins ces modalités d'évaluations ne permettent pas de repérer des enfants présentant un talent dans des domaines particuliers (artistique, sportif...) ou ceux à haut potentiel intellectuel en échec scolaire ou avec des difficultés d'apprentissage.

Cette recherche est une étude pilote monocentrique, prospective, cas-témoin, dont l'objectif principal est de déterminer si les enfants à haut potentiel intellectuel présentent des difficultés gestuelles et/ou exécutives par rapport aux enfants témoins. Il y a deux objectifs secondaires.

Les critères de jugement semblent en adéquation avec les objectifs. Le critère de jugement principal sera le résultat aux évaluations neuropsychologique (scores aux tests psychométriques) et neurologique (existence d'un dysfonctionnement (oui/non) dans les épreuves standardisées : régulation du tonus musculaire, réflexes, ..., manipulation), ceci pour différentes dimensions.

Le nombre de sujets prévus est de 60 enfants de 6 à 16 ans, dont 30 enfants à haut potentiel intellectuel et 30 enfants témoins, appariés pour l'âge, le sexe, la latéralité et le niveau d'étude des parents.

Les critères d'inclusion et de non-inclusion sont cohérents.

Les enfants seront recrutés par voie d'affichage (affiches dans écoles, centres de loisirs et bibliothèques) et courrier par l'intermédiaire de partenaires pour les EHPI (associations et écoles de Bretagne prenant en charges les enfants à haut potentiel intellectuel + centre de référence des troubles de l'apprentissage du CHU de Brest recevant des enfants à haut potentiel intellectuel en situation de difficultés).

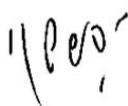
Chaque sujet aura un examen clinique, neurologique, neuropsychologique. Certains tests seront enregistrés en vidéo (consentement prévu). Les tests mentionnés sont les versions les plus récentes des tests à utiliser dans ces situations et sont tous validés. Certains tests doivent être renseignés par les parents, voire par les enseignants.

L'analyse statistique est décrite mais on ne pourra sans doute pas faire bien plus que du descriptif !!

Aucune indemnisation, seulement 1 repas pour l'enfant et un parent accompagnant. Pas de dédommagement pour les transports, la perte de journée de travail, etc.

Documents d'information et de consentement : une notice enfants 6-11 ans sous forme de BD; une notice pour les adolescents de 12-16 ans sous forme de texte; une notice avec consentement pour les parents.

Dr. David PEROL,
Président de séance



Secrétariat : Odette MARITAZ
☎ 04 78 78 27 61 - ☎ 04 78 78 28 58
E-mail : odette.maritaz@lyon.unicancer.fr

2/2
N° CPP : 16/082
A.17-51

Annexe 3. Courrier de l'appel à participation à l'étude



OBJET : Etude sur le geste et les fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel.

Madame, Monsieur,

Le CHRU de Brest conduit une étude sur le geste et les fonctions exécutives chez l'enfant dit « à haut potentiel intellectuel » (Quotient Intellectuel \geq 130). Aujourd'hui, les données scientifiques indiquent que, malgré leurs excellentes capacités intellectuelles, ces enfants sont à risque de rencontrer des difficultés d'apprentissage au cours de leur scolarité, dont l'origine reste pour le moment mal connue. Nous avons décidé de mener une recherche sur les facteurs moteurs pouvant expliquer ces difficultés.

Pour ce faire, nous sollicitons votre participation et celle de votre enfant à cette étude, sur la base du volontariat.

Nous cherchons :

- 1) Des enfants au développement sans particularité (scolarité classique, pas de difficulté particulière).
- 2) Des enfants identifiés à haut potentiel intellectuel¹, qu'ils aient ou non des difficultés scolaires.

Votre participation impliquera, au cours d'une journée (4 heures au total), la rencontre avec un pédiatre et la réalisation de tests neuropsychologiques ludiques par votre enfant (pour évaluer le raisonnement, l'attention, le langage, les capacités d'organisation, la gestuelle, l'écriture...). Des questionnaires vous seront remis afin de connaître un peu plus ses capacités motrices et son fonctionnement dans la vie de tous les jours.

Les données recueillies seront intégrées dans une base de données générale et non considérées de façon individuelle. Les résultats globaux de l'étude pourront vous être communiqués si vous le souhaitez. L'anonymat sera respecté et les résultats ne seront utilisés qu'à des fins scientifiques.

Un repas est prévu pour l'enfant et son ou ses accompagnants.

Nous répondrons volontiers à toutes vos questions à propos de cette étude.

N'hésitez pas à prendre contact avec nous aux coordonnées indiquées ci-dessus.

Nous vous remercions de l'attention que vous porterez à ce courrier et vous prions de recevoir, Madame, Monsieur, l'expression de nos salutations distinguées.

Dr Sylviane Peudénier
Neurologue Pédiatre

Aurélie Bucaille
Psychologue-Neuropsychologue

Pour toute demande d'information, de participation, voici nos coordonnées :

Aurélie Bucaille
CHRU de Brest, CRTA, 2 avenue Foch, 29609 BREST Cedex
N° téléphone : 02.98.22.33.89
Courriel : mohpi@chu-brest.fr

¹ Test d'efficacité intellectuelle réalisé par votre enfant auprès d'un(e) psychologue, démontrant un QIT \geq 130.

Annexe 4. Affiche de l'appel à participation à l'étude (format A3)



Le CHRU de Brest vous invite à participer à son étude « MOHPI »

Le CHRU de Brest conduit une étude sur le geste et les fonctions exécutives chez l'enfant dit « à haut potentiel intellectuel » (Quotient Intellectuel ≥ 130). Malgré leurs excellentes capacités intellectuelles, certains de ces enfants peuvent rencontrer des difficultés scolaires dont l'origine reste pour le moment mal connue. Nous avons décidé de mener une recherche sur les causes pouvant expliquer ces difficultés.

Nous cherchons des volontaires :

- ✓ Des enfants au développement sans particularité (scolarité classique, pas de difficulté particulière).
- ✓ Des enfants identifiés à haut potentiel intellectuel, qu'ils aient ou non des difficultés scolaires.

Votre participation impliquera, au cours d'une journée (4 heures au total avec un repas pour vous et votre enfant), la rencontre avec un pédiatre et une neuropsychologue

Votre participation est libre et volontaire. Les données recueillies restent anonymes. A la fin de l'étude, les résultats globaux pourront vous être communiqués si vous le souhaitez.

Vous souhaitez participer ou avoir plus d'informations sur cette étude ? Contactez-nous à l'adresse suivante :

mohpi@chu-brest.fr ou au **02 98 22 33 89**.

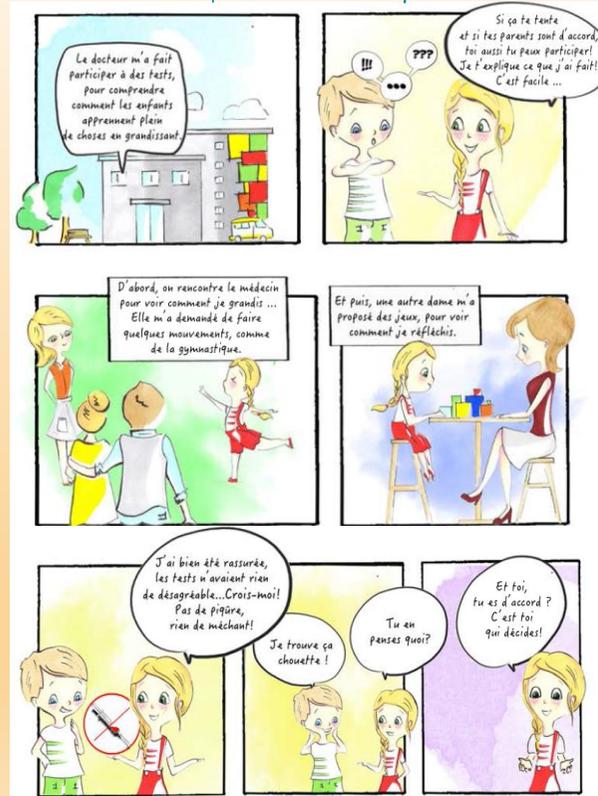
L'équipe MOHPI vous remercie pour votre aide.

Dr Sylviane Peudenier
Neurologue pédiatre
Médecin investigateur de l'étude

Aurélie Bucaille
Neuropsychologue

Toi aussi tu as entre 6 et 16 ans
et tu veux aider la recherche ?

Lis ce qui suit avec tes parents :



Annexe 5. Annonce pour l'appel à participation dans le journal

Recherche. Des enfants participent à une étude

Catherine Le Guen

Qui veut aller jouer pendant quatre heures à l'hôpital Morvan ? Pour cela il suffit d'être âgé de 6 à 15 ans et d'accepter de participer à un projet de recherche pour aider les enfants à haut potentiel intellectuel en difficultés scolaires.

Bulletin de santé

Le Dr Sylviane Peudenier (à gauche), neuropédiatre à l'hôpital Morvan et Aurélie Bucaille, neuropsychologue, qui conduisent l'étude Mohpi chez les enfants de 6 à 15 ans.



« Les enfants adorent tous ces jeux : labyrinthes, casse-têtes, séquences de gestes et de dextérité, résolution de problèmes concrets ou devinettes plus abstraites. Une partie des jeux nous a été confiée par le laboratoire de la faculté des Pays de Loire », explique Aurélie Bucaille, neuropsychologue. Elle accueille les enfants dans son bureau des consultations pédiatriques de l'hôpital Morvan, pour participer à l'aventure Mohpi.

Difficultés d'écriture
Mohpi est l'acronyme de Motricité et haut potentiel intellectuel, il s'agit d'étudier le développement des capacités motrices et exécutives des enfants. « Ce projet est né parce que, dans notre centre de référence des troubles de l'apprentissage, de façon paradoxale, on reçoit parfois des enfants qui ont un haut potentiel intellectuel, mais qui sont en situation de difficulté voire d'échec scolaire », explique le Dr Sylviane Peudenier, neurologue

pédiatre, médecin investigateur de l'étude Mohpi. Du fait de ces difficultés, un tiers des enfants à haut potentiel intellectuel ne vont pas dépasser le collège et n'auront pas leur baccalauréat. Certains de ces enfants ont des difficultés pour se positionner par rapport aux autres sur le plan social, d'autres ont des troubles de l'attention. « Nous avons décidé de nous intéresser à un troisième problème qui revient de façon récurrente : les difficultés graphomotrices. Les

enfants finissent par ne plus vouloir écrire, ou le font trop lentement, ils sont stigmatisés ». L'hypothèse du projet est que ces enfants ne font pas preuve de mauvaise volonté mais souffrent d'un trouble, ce qui permettrait par la suite de mettre des aides en place.

Il manque 13 enfants témoins
Pour mener l'étude, il fallait constituer un groupe de 30 enfants à haut potentiel et un autre groupe d'enfants témoins qui n'ont aucun souci

particulier. Le premier groupe a été très vite constitué, les parents étant très demandeurs. « Le plus compliqué c'est pour les témoins, ce sont des enfants qui n'ont rien à faire à l'hôpital. Une bande dessinée a été créée pour expliquer le projet aux plus jeunes et solliciter leur accord en précisant bien à la fin que ce sont eux qui décident de participer. Nous avons commencé en avril 2017, il nous manque encore 13 enfants témoins, particulièrement dans la tranche 10 à 12 ans. On espère terminer nos inclusions en juin et sortir les résultats en septembre 2019 », ajoute le Dr Peudenier.

Soutien de la fondation Dana
L'enfant vient avec l'un de ses parents passer quatre heures à l'hôpital : 30 minutes pour des exercices avec la neurologue puis des jeux avec la neuropsychologue. « On essaie d'être souple sur le jour et l'heure d'arrivée, un repas est prévu en pédiatrie avec le parent, c'est un engagement fort aussi des familles qui veulent aider la recherche. Et la rencontre est toujours sympathique, ils ont beaucoup de questions et sont très motivés », souligne Aurélie Bucaille. L'originalité de l'étude est aussi de croiser les regards du neuropsychologue et du neurologue pour mieux comprendre comment fonctionne la motricité de l'enfant au cours du développement. Le projet a pu être lancé grâce au soutien de la Fondation Dana qui finance le mi-temps de neuropsychologue.

▼ Contact
Courriel, mohpi@chu-brest.fr
Tel : 02.98.22.33.89.

Annexe 6. Notice d'information à destination des parents

NOTICE D'INFORMATION PARENTS

Etude du geste chez l'Enfant à Haut Potentiel Intellectuel

ID RCB : 2016-A01669-42

Investigateur coordonnateur : Dr Sylviane PEUDENIER

Adresse : Service de Pédiatrie, 2 avenue Foch, 29 609 BREST Cedex

Téléphone : 02 98 02 36 57

Promoteur

Centre Hospitalier Régional Universitaire de Brest - 2 avenue Foch – 29609 Brest Cedex

Madame, Monsieur,

Le CHRU de Brest vous propose de participer à une étude qui vise à étudier les différentes formes d'intelligence chez l'enfant. La plupart des enfants ont un fonctionnement homogène, c'est-à-dire qu'ils ont des capacités à apprendre sans difficulté particulière dans les différents domaines scolaires et extrascolaires (musique, sport...). Ce sont des enfants qui ont un développement sans particularité. D'autres enfants peuvent avoir des difficultés pour apprendre. De façon paradoxale, des enfants à haut potentiel intellectuel (« EHPI ») peuvent être en situation de difficultés scolaires sans que l'on comprenne pourquoi. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé d'étudier les fonctions motrices et exécutives qui sont impliquées dans un grand nombre d'activités de vie quotidienne et des apprentissages pour tenter d'identifier les particularités du fonctionnement de ces enfants.

Le CHRU de Brest est le promoteur de cette étude, il en est responsable et en assure l'organisation.

Avant de décider de la participation de votre enfant à cette étude, il est important pour vous d'en comprendre l'objectif ainsi que ses implications. Prenez le temps de lire les informations suivantes, et d'en discuter avec votre enfant. Si toutefois certains points manquent de clarté ou si vous avez besoin d'informations complémentaires, n'hésitez pas à en parler avec le médecin et/ou la neuropsychologue chargée de cette étude. Vous pouvez prendre tout le temps nécessaire pour décider si vous souhaitez participer ou non à l'étude.

Si vous décidez de faire participer votre enfant à cette recherche, on vous demandera, à vous et à votre enfant, de signer un formulaire de consentement. Ces signatures confirmeront que vous êtes d'accord pour participer à cette étude.

1- OBJECTIF DE L'ETUDE

Notre objectif est d'évaluer le fonctionnement neurologique et neuropsychologique des EHPI en comparaison à un groupe d'enfants au développement sans particularité, afin de pouvoir identifier d'éventuelles difficultés, notamment motrices, chez les enfants à haut potentiel.

Nous prévoyons d'inclure dans le cadre de cette étude une trentaine d'enfants à haut potentiel intellectuel et une trentaine d'enfants au développement typique.

Les participants devront être âgés de 6 à 16 ans et être d'accord pour participer à l'étude ainsi que leurs parents. Les Enfants à Haut Potentiel Intellectuel (EHPI) devront présenter un Quotient Intellectuel Total (QIT) ≥ 130 . Les témoins devront présenter une efficacité intellectuelle dans la norme.

Les enfants et leur(s) accompagnant(s) seront reçus dans le centre investigateur, au CHRU de Brest.

2- DEROULEMENT DE L'ETUDE

La participation de votre enfant à cette étude impliquera, au cours d'une journée (2 heures le matin, 2 heures l'après-midi), la rencontre avec un pédiatre pour un examen clinique et la rencontre avec la neuropsychologue pour la réalisation de tests neuropsychologiques ludiques par votre enfant (faisant intervenir le raisonnement, l'attention, langage, les capacités d'organisation, la gestuelle, l'écriture...). Les tests gestuels nécessitent un enregistrement vidéo, car leur cotation ne peut être réalisée par l'examineur en temps réel. Cet enregistrement a pour unique but de permettre d'analyser les productions de votre enfant lors des tests gestuels et n'a pas vocation à être diffusé. Plusieurs pauses seront proposées à votre enfant au cours de la journée. Un déjeuner est prévu pour lui ainsi que pour son accompagnant. Des questionnaires vous seront remis afin de connaître un peu plus les capacités motrices de votre enfant et son fonctionnement dans la vie de tous les jours. Nous vous remettrons également des questionnaires à destination de son professeur que nous vous demanderons de lui transmettre. Ces questionnaires servent à évaluer le fonctionnement de votre enfant à l'école.

La participation à cette étude est bénévole, sans indemnisation.

3- RISQUES POTENTIELS DE L'ETUDE

L'étude comprend peu de risques, les examens proposés étant non invasifs et très bien tolérés par les enfants dans la pratique courante.

4- BENEFICES POTENTIELS DE L'ETUDE

Sur le plan collectif, cette étude permettra d'améliorer l'expertise clinique auprès des EHPI en identifiant les différents secteurs susceptibles d'être troublés au cours de leur développement. Les conclusions permettront de développer des stratégies de prévention et de mieux cibler la surveillance de ces enfants. Cette étude offrira ultérieurement la possibilité de développer des prises en charge adaptées en cas de développement troublé.

5- PARTICIPATION VOLONTAIRE

La participation de votre enfant à cette étude est entièrement volontaire.

Vous êtes libre de refuser qu'il y participe ainsi que de mettre un terme à sa participation à l'étude à n'importe quel moment, sans encourir aucune responsabilité ni aucun préjudice et sans que cela n'entraîne de conséquences.

Dans ce cas, vous devez informer le médecin investigateur de votre décision.

Si vous deviez retirer votre consentement, nous effectuerions un traitement informatique de vos données personnelles sauf opposition écrite de votre part.

Durant l'étude, vous serez averti(e) par votre médecin investigateur, si des faits nouveaux pouvaient affecter votre volonté de participer à l'étude.

Les Autorités de Santé, le médecin investigateur ou le promoteur peuvent décider de mettre un terme à votre participation à l'étude à n'importe quel moment sans votre consentement préalable. Si cela devait se produire, vous en seriez averti et les raisons vous seraient expliquées (*si étude indemnisée, préciser le règlement financier en cas d'arrêt prématuré de l'étude*).

6- OBTENTION D'INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

Si vous le souhaitez, Madame Aurélie Bucaille, Neuropsychologue, est joignable au numéro de téléphone suivant : 02 98 22 33 89, elle pourra répondre à tout moment à toutes vos questions concernant l'étude «*Etude du geste et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel* ».

A la fin de l'étude, et à votre demande, vous pourrez être informé(e) des résultats globaux de la recherche par le médecin investigateur.

7- CONFIDENTIALITE ET UTILISATION DES DONNEES MEDICALES

Dans le cadre de la recherche biomédicale à laquelle le CHRU de Brest, le Dr Peudenier et Aurélie Bucaille vous proposent de participer, un traitement de vos données personnelles sera nécessaire pour analyser les résultats de la recherche.

A cette fin, les données médicales recueillies, y compris les questionnaires, la vidéo ainsi que les données relatives à vos habitudes de vie, seront transmises au Promoteur. Ces données seront identifiées par un numéro de code et/ou les initiales de votre enfant. Le personnel impliqué dans l'étude est bien sûr soumis au secret professionnel.

Les données anonymes recueillies à l'occasion de la présente recherche pourront être transférées et utilisées conformément à la réglementation, aux autorités de santé françaises ou étrangères, ou par le CHRU de Brest ou des équipes scientifiques nationales ou internationales pour améliorer les connaissances sur le fonctionnement neurologique et neuropsychologique des EHPI. En effet les résultats sont habituellement partagés avec la communauté scientifique sous forme de publication.

Conformément aux dispositions de loi relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés (loi du 6 janvier 1978), vous disposez d'un droit d'accès et de rectification. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Vous pouvez également accéder directement ou par l'intermédiaire d'un médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales en application des dispositions de l'article L 1121-7 du Code de la Santé Publique. Ces droits s'exercent auprès du médecin qui vous suit dans le cadre de la recherche et qui connaît votre identité.

8- ASSURANCE

Un contrat d'assurance N° 0101214214002-160011-10998 a été souscrit par le promoteur de l'essai, le CHRU de Brest, auprès de la compagnie d'assurance HDI Gerling – Tours OPUS 12, 77 Esplanade de la Défense – 92 914 Paris La Défense, pour couvrir les risques liés à cette recherche. Cette assurance couvre la

responsabilité du promoteur en tant que promoteur d'une recherche biomédicale et celle de tout autre intervenant, en accord avec l'article L 1121-10 du Code de la Santé Publique.

9- AVIS FAVORABLE DU CPP

Conformément à la loi n°2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique, le Comité de Protection des Personnes Sud-Est 4 a étudié ce projet de recherche et a émis un avis favorable à sa réalisation le 16/03/2017.

10- AUTORISATION DE L'ANSM

Conformément à la loi n°2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique, l'ANSM a étudié ce projet de recherche et a émis une autorisation à sa réalisation le 20/12/2016.

Si vous acceptez de participer à cette étude, merci de compléter et de signer avec votre enfant le formulaire de recueil de consentement. Conservez cette note d'information.

Annexe 7. Notice d'information pour les participants de 6 à 11 ans

A lire avec tes parents 🧐



Annexe 8. Notice d'information pour les participants de 12 à 16 ans

NOTICE D'INFORMATION 12-16 ans

Etude du geste chez l'Enfant à Haut Potentiel Intellectuel

ID RCB : 2016-A01669-42

Investigateur coordonnateur : Dr Sylviane PEUDENIER

Adresse : Service de Pédiatrie, 2 avenue Foch, 29 609 BREST Cedex

Téléphone : 02 98 02 36 57

Promoteur

Centre Hospitalier Régional Universitaire de Brest - 2 avenue Foch – 29609 Brest Cedex

Bonjour,

L'hôpital de Brest te propose de participer à une étude sur les différentes formes d'intelligence chez l'enfant et l'adolescent.

En général, on apprend sans difficulté particulière à l'école, au collège, mais aussi les sports, la musique... Parfois, c'est plus difficile, même pour les enfants qu'on appelle « à haut potentiel intellectuel », c'est-à-dire très intelligents. On ne sait pas expliquer pourquoi, et c'est la raison pour laquelle nous avons décidé d'étudier les raisons possibles (la maladresse, l'écriture, le manque d'organisation...).

Le CHRU de Brest est le promoteur (organisateur) de cette étude.

Avant de décider si tu veux participer, il est important que tu comprennes le but de l'étude.

Prends le temps de lire les informations suivantes avec tes parents, et d'en discuter avec eux. Si ce n'est pas clair ou si tu as besoin d'informations complémentaires, n'hésite pas à en parler avec la neuropsychologue et/ou le médecin qui te propose cette étude.

1- OBJECTIF DE L'ETUDE

Notre objectif est de comprendre les différents types d'intelligence qui permettent d'apprendre. Nous avons besoin de 60 enfants et adolescents (de 6 à 16 ans). Les participants à l'étude n'ont pas tous la même façon de penser, de réfléchir ou d'apprendre, ce qui nous permettra de faire deux groupes. Nous allons comparer ces deux groupes pour comprendre pourquoi ils sont différents.

2- DEROULEMENT DE L'ETUDE

Si tu es d'accord de participer à l'étude, tu seras reçu avec tes parents à l'hôpital de Brest. Ta participation durera une journée (2 heures le matin, 2 heures l'après-midi).

Tu commenceras par une visite avec un pédiatre pour qu'il t'ausculte (comme chez ton médecin) et ensuite, par une rencontre avec la neuropsychologue pour faire des tests ludiques (on pourra voir comment tu réfléchis, ton attention, la façon dont tu parles, ton habileté dans les gestes, ton écriture...).

Tu seras filmé pendant la réalisation des tests avec les gestes, car on ne peut pas faire avec toi et analyser en même temps. Cela nous permet de bien regarder ensuite comment tu les as réalisés. L'enregistrement ne sera pas du tout diffusé.

Plusieurs pauses te seront proposées au cours de la journée. Un déjeuner est prévu pour ainsi que pour ton ou tes parent(s).

Des questionnaires seront remis à tes parents et à ton professeur principal pour savoir comment tu te débrouilles dans la vie de tous les jours et à l'école.

Ta participation à cette étude est bénévole et volontaire.

3- RISQUES POTENTIELS DE L'ETUDE

Il y a peu de risques dans l'étude, les tests proposés ne comprennent pas de piqûre!

4- BENEFICES POTENTIELS DE L'ETUDE

Cette étude va nous aider à comprendre pourquoi certains jeunes, pourtant très intelligents, ont du mal à apprendre. Cela permettra de leur donner des pistes pour mieux réussir.

5- PARTICIPATION VOLONTAIRE

Ta participation à cette étude est entièrement volontaire.

Si tu acceptes de participer, alors tu dois signer sur le « formulaire de consentement », avec tes parents.

Tu es libre de refuser d'y participer et d'arrêter à n'importe quel moment.

Dans ce cas, tu dois le dire au médecin investigateur ou à tes parents.

6- OBTENTION D'INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

Si tu le souhaites, Madame Aurélie Bucaille, Neuropsychologue, que tu peux joindre au numéro de téléphone suivant 02 99 22 33 89, pourra répondre à toutes tes questions concernant l'étude « *Etude du geste et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel* ».

Annexe 9. Formulaire de consentement

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT PARENTS ET ENFANT

Etude du geste chez l'Enfant à Haut Potentiel Intellectuel

Promoteur : Centre Hospitalier Régional Universitaire de Brest - 2 avenue Foch – 29609 Brest Cedex

Le Docteur Sylviane PEUDENIER, neuropédiatre au CHRU de Brest, Service de pédiatrie, Adresse : 2 avenue Foch, 29609 Brest Cedex

nous a proposé à nous, M. et Mme
.....

Adresse :

Parents de l'enfant :

De participer, ainsi que notre enfant, à l'étude clinique « Etude du geste chez l'enfant à haut potentiel intellectuel ».

- J'ai/nous avons lu et compris la notice d'information, dont j'ai/nous avons obtenu la copie. Le médecin investigateur a répondu à toutes nos questions concernant l'étude. Je pourrai/nous pourrons à tout moment, demander des informations complémentaires
- J'ai/nous avons eu le temps nécessaire pour réfléchir à l'implication de mon/notre enfant dans cette étude, et je suis/nous sommes conscient(e)(s) que sa participation est entièrement volontaire.
- Je peux/nous pouvons à tout moment décider que mon/notre enfant quitte l'étude sans motiver ma/notre décision et sans qu'elle n'entraîne de conséquences dans la qualité de sa prise en charge.
- J'ai/nous avons compris que les données collectées y compris les vidéos et les questionnaires à l'occasion de la recherche seront protégées dans le respect de la confidentialité. Elles pourront uniquement être consultées par les personnes soumises au secret professionnel appartenant à l'équipe du médecin investigateur ou mandatées par le promoteur.
- J'accepte/nous acceptons le traitement informatisé des données à caractère personnel le concernant dans les conditions prévues par la loi Informatique et liberté. J'ai/nous avons été informé(e) de mon/notre droit d'accès et de rectification des données me/nous concernant.
- Je certifie/nous certifions être affilié(e) au régime de la Sécurité Sociale.
- J'ai/nous avons été informé(e)(s) que, conformément à la réglementation sur les études cliniques, le CPP Sud Est 4 a rendu un avis favorable pour la réalisation de cette recherche et que l'ANSM l'a également autorisée.

Mon/notre consentement ne décharge pas le promoteur et les investigateurs de la recherche de leurs responsabilités. Je conserve/nous conservons tous mes/nos droits garantis par la loi.

Fait à , le

Signature de l'investigateur :

Signature des responsables légaux de l'enfant:

Signature de l'enfant :

Un exemplaire cosigné pour le(s) parent(s), un exemplaire cosigné pour l'investigateur, une copie pour le promoteur

Annexe 10. Anamnèse

Etude MOHPI

Etude du geste chez l'enfant à haut potentiel intellectuel

ANAMNESE

Nom de l'examineur : _____

Nom :

Prénom :

Sexe : Masculin Féminin

Date de naissance :

Date d'inclusion :

Age :

Données néonatales

Accouchement : Voie Basse, Non Instrumental Voie Basse, Instrumental
 Césarienne

Terme de la naissance * :
**Exclusion du participant si < 37 SA*

Poids de naissance :

Taille de naissance :

PC de naissance :

Score d'APGAR : à 60 secondes : à 5 minutes :

Réanimation : Oui Non

Hospitalisation néonatale : Oui Non

Famille

Rang dans la fratrie :

L'enfant est-il adopté : Oui Non

Parents : Concubins Mariés Pacsés Divorcés/séparés

Diplôme le plus élevé : ■ du père : ■ de la mère :

Profession du père : Profession de la mère :

Troubles des apprentissages chez les parents ou dans la fratrie :

Non Oui, précisez (qui et quelles difficultés) :

.....

Antécédents familiaux notables (neurologique, génétique, ORL, ophtalmologique) :

.....

.....

.....

.....

Développement

Age de la tenue assise :

Age de la marche :

Age des premiers mots :

Anomalie ophtalmologique : Oui Non

Vue corrigée : Non Oui, précisez pourquoi :

Classe fréquentée :

Saut de classe : Non Oui, laquelle :

Redoublement : Non Oui, *quelle classe ?*

Soutien scolaire : Non Oui, *précisez** :

** Exemple : le soutien est-il dispensé par le biais de l'établissement (RASED ou autre) ou*

Prise en charge : Non Oui*

** Précisez :* Orthophonie Psychomotricité Ergothérapie

Psychologie Neuropsychologie Orthoptie

Autre :

Activité extrascolaire : Non Oui, *précisez la ou lesquelles :*

Médical

Antécédents médicaux (asthme, migraine, énurésie, trouble du sommeil...) :

.....
.....
.....

L'enfant prend-t-il un traitement ? Oui* Non

**Si oui, lequel (pas de psychotropes 48h avant l'examen neuropsychologique) :*

.....

Hospitalisation(s) : Oui* Non

**Si oui, motif :*

.....

Annexe 11. Etude des profils pratique des 17 Enfants à haut potentiel intellectuel

Enfants à haut potentiel intellectuel

Test	Mesure	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
FCR	Score	78.29	20.13	70.97	35.31	89.11	44.26	62.6	89.11	44.26	78.29	53.53	9.93	20.13	35.31	62.6	35.31	70.97
	Temps	34.54	7.62	69.68	12.83	11.85	21.71	13.6	49.1	67.02	89.81	69.68	43.14	49.10	79.15	71.81	38.29	9.65
	IP	8.49	89.37	76.73	47.34	19.47	67.94	36.94	47.34	36.94	57.93	27.48	76.73	13.16	36.94	57.93	76.73	27.48
BHK	Score	99.98	99.96	87.25	99.96	81.74	10.84	81.74	29.77	10.84	57.55	38.54	38.54	99.25	57.55	57.55	96.49	47.98
	Nombre de lettres	27.22	70.61	13.23	46.57	67.33	61.37	77.44	91.69	13.23	2.74	40.78	35.69	7.59	2.74	46.57	94.75	91.69
URO	Score	57.61	86.25	86.25	57.61	86.25	5.58	57.61	57.61	5.58	0.84	86.25	86.25	57.61	86.25	57.61	57.61	5.58
	Temps	71.02	34.20	90.97	41.66	69.51	22.56	79.79	10.74	17.76	55.55	39.96	77.28	96.43	91.94	98.42	91.62	11.13
RPM	Score	72.68	85.52	85.52	85.52	36.99	85.52	85.52	85.52	85.52	10.62	85.52	85.52	85.52	55.4	55.4	36.99	72.68
IPNS	Doigts	13.93	13.93	38.39	34.11	56.46	60.91	80.05	56.46	22.69	16.54	83.02	38.39	13.93	65.22	65.22	80.05	93.31
	Mains	0.72	1.09	78.06	20.6	50.94	5.18	72.18	50.94	20.6	68.96	72.18	39.76	15.76	65.57	62.05	72.18	75.22
SMM	Score	32.69	87.53	32.69	26.55	83.61	73.45	6.8	90.7	78.91	46.42	4.88	60.62	4.88	26.55	78.91	6.8	53.58
PP	MD	8.9	24.7	91.1	8.9	75.3	8.9	75.3	75.3	0.53	0.53	50	75.3	8.9	2.42	24.7	8.9	50
	MND	36.67	57.94	89.63	57.94	57.94	76.95	19.08	76.95	76.95	57.94	89.63	36.67	2.95	0.07	19.08	76.95	89.63
	Deux mains	21.62	40.42	33.56	27.25	21.62	27.25	33.56	27.25	12.74	16.78	46.7	DM	47.6	33.56	27.25	21.62	40.42
	Assemblage	17.88	89.9	33.67	26.69	26.69	33.67	41.31	68.72	26.69	20.58	68.72	37.42	13.23	11.27	11.27	33.67	49.31
M-ABC-II	Partie A	99.98	100	66.78	66.78	31.92	31.92	31.92	66.78	90.57	31.92	31.92	31.92	99.98	49.28	31.92	31.92	31.92
	Partie B	73.21	97.47	90.42	46.52	80.27	37.32	28.83	28.83	46.52	37.32	28.83	46.52	99.69	37.32	28.83	46.52	28.83
	Partie C	97.92	99.81	95.79	99.56	51.67	65.17	76.87	25.71	99.81	76.87	25.71	95.79	76.87	76.87	51.67	99.92	92
SNM	Nombre	95.84	99.41	95.84	31.12	31.12	48.54	80.80	48.54	17.32	31.12	66.27	17.32	99.8	99.41	90.48	31.12	17.32

Note. En gras : % d'individus présentant un score inférieur par rapport au groupe d'enfants au développement typique ; Colonnes en gras : 4 études de cas ; FCR (-IP) : Figure Complexe de Rey (-Indice de Planification) ; BHK : Echelle rapide d'évaluation de l'écriture chez l'enfant ; URO : Utilisation Réelle d'Objets ; RPM : Résolution de Problèmes Mécaniques ; IPNS : Imitation de Postures Non Signifiantes ; SMM : Séquences Motrices Manuelles ; PP (-MD; -MND) : Purdue Pegboard (-MD : Main Dominante, -MND : Main Non Dominante) ; M-ABC-II : Batterie d'Evaluation du Mouvement chez l'Enfant ; SNM : Signes Neurologiques Mineurs.
DM : Donnée Manquante

Annexe 12. Etude des profils pratique des 24 enfants au développement typique

EDT

Test	Measure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
FCR	Score	53.53	62.6	92.67	27.16	62.6	9.93	6.63	35.31	44.26	84.35	89.11	35.31	14.39	14.39	44.26	53.53	84.35	89.11	84.35	44.26	1.66	53.53	78.29	62.6
	Temps	92.45	67.92	49.6	26.3	9.06	64.27	23.94	90.63	32.27	54.1	21.71	18.29	50.6	95.11	41.67	21	27.12	35.93	29.21	27.53	14.13	99.03	68.36	75.06
	IP	67.95	76.73	19.47	93.28	8.5	89.4	76.73	57.93	19.47	13.16	27.48	67.95	89.4	89.4	47.34	57.93	36.94	36.94	19.47	19.47	67.95	36.94	1	67.95
BHK	Score	38.54	57.55	22.1	10.84	29.77	94.42	81.74	78.46	66.66	87.25	66.66	66.66	22.1	89.5	47.98	47.98	22.1	4.61	29.77	91.42	87.25	7.19	15.78	29.77
	Nombre de lettres	10.22	61.37	92.76	61.37	93.6	22.23	27.22	5.01	46.57	27.22	40.77	50.84	67.33	6.58	8.73	50.84	70.61	93.6	69.22	72.85	16.2	67.33	54.04	90.26
URO	Score	57.61	57.61	57.61	86.25	57.61	23.63	86.25	23.63	23.63	86.25	57.61	57.61	86.25	57.61	0.84	57.61	86.25	23.63	86.25	57.61	57.61	5.58	57.61	5.58
	Temps	97.73	43.38	35.81	28.07	21.93	96.70	45.98	18.89	47.71	79.18	93.09	42.52	80.96	70.27	20.07	53.82	25.93	48.59	4.02	13.7	51.2	89.92	20.68	28.07
RPM	Score	21.33	21.33	21.33	85.52	72.63	37	72.63	55.4	55.4	21.33	85.52	85.52	85.52	37	1	37	55.4	37	85.52	85.52	4.62	21.33	21.33	37
IPNS	Doigts	11.64	65.22	65.22	11.64	85.67	56.46	26.23	47.35	60.91	56.46	38.39	80.05	38.39	19.45	0.6	88	51.92	85.67	93.31	90.05	26.23	26.23	38.39	65.22
	Main	0.07	6.17	50.94	29.41	78.06	50.94	68.96	54.7	78.06	54.7	39.76	50.94	36.18	18.07	72.18	72.18	75.22	54.7	50.94	50.94	50.94	54.7	39.76	75.22
SMM	Score	1.11	63.31	83.61	53.58	63.31	60.62	26.55	12.47	46.42	78.91	60.62	60.62	60.62	26.55	32.69	9.3	63.31	90.7	63.31	78.91	2.39	78.91	87.53	46.41
PP	MD	50	91.1	8.9	50	97.58	50	24.7	24.7	24.7	91.1	50	50	50	8.9	8.9	75.3	50	50	97.58	50	24.7	24.7	24.7	75.3
	MND	8.17	76.95	57.94	76.85	98.73	36.67	76.85	19.08	36.76	96.1	36.76	57.94	36.76	19.08	8.17	57.94	76.95	36.76	57.94	57.94	36.76	2.95	57.94	57.94
	Deux mains	21.62	40.42	16.78	21.62	99.62	27.25	91.48	12.74	91.48	91.48	74.75	84.68	21.62	16.78	61.96	21.62	91.48	21.62	27.25	16.78	74.75	61.96	33.56	33.56
	Assemblage	37.42	57.35	49.31	17.88	72.18	37.42	72.18	20.58	98.23	68.72	72.18	41.31	17.88	15.43	15.43	37.42	98.86	83.77	81.23	11.27	15.43	41.31	49.31	30.08
M-ABC-II	Partie A	31.92	31.92	31.92	31.92	31.92	49.28	49.28	49.28	31.92	31.92	31.92	31.92	66.78	90.57	31.92	31.92	31.92	31.92	31.92	31.92	99.93	31.92	90.57	31.92
	Partie B	64.98	28.83	37.32	28.83	28.83	55.92	28.83	73.2	28.83	28.83	28.83	28.83	28.83	95.94	99.47	28.83	28.83	28.83	28.83	37.32	98.46	28.83	46.52	73.21
	Partie C	25.7	25.7	51.67	25.7	25.7	25.7	25.7	51.67	51.67	65.17	51.67	95.79	25.7	99.56	85.86	25.7	25.7	25.7	25.7	85.86	37.96	25.7	25.7	92
SNM	Nombre	66.27	17.32	31.12	31.12	48.54	31.12	66.27	17.32	98.37	99.8	66.27	66.27	66.27	48.54	48.54	17.32	66.27	31.12	31.12	31.12	48.54	17.32	31.12	31.12

Note. En gras : % d'individus présentant un score inférieur ; FCR (-IP) : Figure Complexe de Rey (-Indice de Planification) ; BHK : Echelle rapide d'évaluation de l'écriture chez l'enfant ; URO : Utilisation Réelle d'Objets ; RPM : Résolution de Problèmes Mécaniques ; IPNS : Imitation de Postures Non Signifiantes ; SMM : Séquences Motrices Manuelles ; PP (-MD; -MND) : Purdue Pegboard (-MD : Main Dominante, -MND : Main Non Dominante) ; M-ABC-II : Batterie d'Evaluation du Mouvement chez l'Enfant ; SNM : Signes Neurologiques Mineurs.

Titre : Étude des praxies et des fonctions exécutives chez l'enfant à haut potentiel intellectuel.

Mots clés : Haut potentiel intellectuel, Enfant, Praxies, Fonctions exécutives, Neuropsychologie.

Résumé :

Les Enfants à Haut Potentiel Intellectuel (EHPI) sont des enfants présentant un niveau d'intelligence très supérieur (Quotient Intellectuel supérieur ou égal à 130). Beaucoup d'informations contraires et insuffisamment représentatives sont diffusées à leur sujet, notamment celle d'une hétérogénéité au sein de leur fonctionnement cognitif et entre les domaines intellectuel et moteur. Celle-ci pourrait favoriser la survenue de problèmes cognitifs.

L'objectif de cette thèse était de mieux comprendre le profil de ces enfants, par l'exploration de deux composantes majeures de leur fonctionnement neuropsychologique : les praxies et les fonctions exécutives.

Après avoir réalisé un état de l'art sur la question, nous avons évalué 30 EHPI appariés à 35 enfants contrôles pour tester les hypothèses

1) d'un trouble praxique 2) d'un trouble des fonctions exécutives, explorés à travers des mesures basées sur la performance et des mesures de vie quotidienne.

Les résultats ne révèlent pas plus de déficits exécutif ou praxique au sein de la population d'EHPI en comparaison aux enfants contrôles, bien que quelques-uns d'entre eux puissent être toutefois concernés. La récurrence des performances moyennes chez les EHPI dans les secteurs exécutifs et praxiques suggère une hétérogénéité « normale » en regard de leur niveau d'efficacité intellectuelle. Cependant, des difficultés sont plus fréquemment rapportées par leurs parents et leur professeur sur le plan comportemental, dont l'impact semble toutefois limité au vu de la bonne réussite scolaire de ces enfants, et pour lesquelles des pistes explicatives sont proposées dans cette thèse.

Title : Study of praxis and executive functions in intellectually gifted children.

Keywords : Intellectual giftedness, Child, Praxis, Executive functions, Neuropsychology.

Abstract :

Intellectually Gifted children (IG) are children with high intellectual ability (Intelligence Quotient superior or equal to 130). Many contradictory and insufficiently representative informations are disseminated about them, in particular that of a discrepancy within their cognitive functioning and between the intellectual and motor domains. This could result in cognitive problems.

The aim of this thesis was to better understand the profile of these children, by exploring two major components of their neuropsychological functioning: praxis and executive functions.

After carrying out a state of the art on the question, we assessed 30 IG children matched to 35 control children to test the assumptions of

1) a praxis disorder 2) an executive function disorder, explored through performance-based measurements and daily living measurements.

The results did not reveal more praxis or executive deficits in IG children than in control children, although a few may be affected. The recurrence of average performances among IG in the executive and praxis domains suggested a "normal" discrepancy in view of their intellectual level. Nevertheless, behavioral difficulties were more frequently reported by their parents and teachers. Their impact seems however limited given the academic achievement of these children, and potential avenues were provided to explain this phenomenon.