



HAL
open science

**Phénotypage neurodéveloppemental multidimensionnel
du Haut Potentiel : compréhension du profil d'efficience
intellectuelle (QI) au regard du profil
neuropsychologique, neurovisuel, neuropsychomoteur et
psycho-socio-affectif**

Soukaina Hamdioui

► **To cite this version:**

Soukaina Hamdioui. Phénotypage neurodéveloppemental multidimensionnel du Haut Potentiel : compréhension du profil d'efficience intellectuelle (QI) au regard du profil neuropsychologique, neurovisuel, neuropsychomoteur et psycho-socio-affectif. Neurosciences. Université Paris Cité, 2022. Français. NNT : 2022UNIP7275 . tel-04462732

HAL Id: tel-04462732

<https://theses.hal.science/tel-04462732>

Submitted on 16 Feb 2024

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.

Université Paris Cité

École doctorale 261-3CH : Cognition, Comportement, Conduites Humaines

Unité de recherche INSERM UMR 1018-CESP

« Psychiatrie du Développement et Trajectoire »

Équipe « Neurodéveloppement et troubles des apprentissages »

**Phénotypage neurodéveloppemental multidimensionnel du Haut
Potentiel : *Compréhension du profil d'efficacité intellectuelle (QI)
au regard du profil neuropsychologique, neurovisuel,
neuropsychomoteur et psycho-socio-affectif***

Thèse de doctorat de Neurosciences Cognitives

Réalisée par : **Soukaina HAMDIOUI**

Dirigée par : **Professeure Laurence VAIVRE-DOURET**

Présentée et soutenue publiquement le 15 Décembre 2022

Devant un jury composé de :

Laurence VAIVRE-DOURET, Professeure des Universités en Psychologie et Neuropsychologie du Développement, Université Paris Cité, Faculté de Santé, UFR de Médecine Paris Descartes, INSERM UMR 1018-CESP-PsyDev, Directrice de l'Équipe « Neurodéveloppement et Troubles des Apprentissages » et de la Chaire de Phénotypage Clinique Développementale, Institut Universitaire de France (IUF); Psychologue-Neuropsychologue Clinicienne, Psychomotricienne D.E et Psychothérapeute AP-HP.Centre, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Paris, France. **Directrice de la thèse.**

Marie FARMER, Professeure associée des Universités, Praticien Hospitalier en Pédiatrie et de Neuropédiatrie, Faculté de Médecine et Science de la Santé, Sherbrooke Québec, Canada et CHU Carémeau, Nîmes, France. **Rapporteur.**

Pascale PLANCHE, Professeure des Universités en Psychologie, Université de Brest, UFR Lettres et Sciences Humaines, Laboratoire CREAD (EA 3875), Brest, France. **Rapporteur.**

Jérôme CLERC, Professeur des Universités en Psychologie Cognitive, Université Grenoble Alpes, Directeur Adjoint Recherche de l'INSPE de Grenoble, LPNC UMR CNRS 5105, Saint Martin d'Hères, France. **Examineur.**

Matthieu ROBERT, Professeur des Universités, Praticien Hospitalier Ophtalmologue, Sorbonne Université et Université Paris Cité, Faculté de Santé, UFR de Médecine Paris Descartes, Service d'Ophtalmologie de l'Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, et Centre Borelli, UMR 9010, CNRS-SSA-ENS, Paris Saclay-Université Paris Cité, France. **Invité.**

Résumé

Le Haut Potentiel (HP) est un sujet d'actualité tant en clinique qu'en recherche. Cependant, les connaissances actuelles restent divergentes. L'objectif de cette thèse est d'affiner un phénotypage neurodéveloppemental et multidimensionnel du HP, pour une meilleure compréhension du profil d'efficience intellectuelle-(QI). Nous avons d'abord cherché à comprendre le fonctionnement des enfants HP tout-venant (n=50) appariés aux non-HP (n=30), sur le plan neuropsychologique, neuropsychomoteur, neurovisuel et psycho-socio-affectif (Étude-1). Ensuite, afin de mieux comprendre la maladresse ou la dyssynchronie cognitive/psychomotrice des enfants HP, répandues au sein de la clinique et de l'Éducation nationale, nous avons comparé deux groupes d'enfants avec trouble développemental de la coordination-(TDC/dyspraxies) [enfants HP (n=19) vs non-HP (n=19)], antérieurement évalués par la WISC-IV^{FR} (Étude-2). La première étude montre que tous les indices (WISC-V^{FR}) sont significativement supérieurs chez les enfants HP tout-venant vs non-HP. La distribution des scores d'indices est cependant similaire dans les deux groupes (ICV plus élevé/ IVT plus faible). Il existe significativement (p=0.02) plus de profils hétérogènes dans le groupe HP (64%) vs non-HP (47%), avec un écart entre l'indice le plus élevé et le plus faible significativement plus important (respectivement : médiane=29.5 vs 21.5). Par ailleurs, le niveau de QI en général est significativement-positivement corrélé à l'hétérogénéité (r=0.42 ; p<0.001). L'ensemble de ces résultats souligne l'intérêt d'appréhender le QI comme un continuum plutôt qu'une distribution catégorielle. D'un point de vue développemental, les évaluations normées ont mis en exergue un développement cognitif/neuropsychomoteur et psycho-socio-affectif significativement plus précoce et harmonieux chez tous les enfants HP tout-venant. Ces derniers montrent au niveau oculomoteur, une poursuite visuelle (horizontale et verticale) significativement plus rapide et précise, et plus précoce au niveau vertical. Les résultats sur la dépression et l'anxiété ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes d'enfants tout-venant. Cependant, l'hétérogénéité est significativement liée à un ICV plus élevé avec une faible estime de soi et une anxiété avérée. La deuxième étude montre que chez tous les enfants TDC (HP/non-HP), l'hétérogénéité du QI est significativement liée à des spécificités d'indices déficitaires (IRP et IVT) en lien avec un ICV élevé. Ces derniers sont corrélés à des scores déficitaires aux évaluations multidimensionnelles

et à l'anamnèse, soulignant des troubles neurodéveloppementaux, voire psychologiques. Il est à noter les mêmes sous-groupes de TDC chez les enfants non-HP et HP, avec cependant moins de TDC-idéomoteur et visuo-spatial/constructif chez ces derniers en lien avec des capacités compensatoires. L'ensemble de ces résultats appuyés d'analyses multivariées (MANOVA, Machine learning, etc.), nous ont permis de développer un modèle théorique valide du HP ($r=0.99-0.91$; $p<0.001$), applicable quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène). Il définit le HP avec des marqueurs spécifiques : QIT à partir de 125, attention visuelle sélective et fonctions exécutives élevées, valeurs staturo-pondérales néonatales supérieures (poids $m=3.46\text{Kg}$; taille $m=50.34\text{cm}$) sans rebond d'adiposité précoce, précocité du développement moteur [station assise ($m=7\text{mois}$), marche ($m=12\text{mois}$)] et langagier (premières phrases : $m=18\text{mois}$), présence d'une hypotonie axiale isolée. L'ensemble de ces marqueurs s'associe à cinq subtests (WISC- V^{FR}) spécifiques : Similitudes ($R^2=1$), Vocabulaire ($R^2=0.65$), Balances ($R^2=0.57$), Symboles ($R^2=0.55$), Mémoire des Chiffres ($R^2=0.49$). Nos résultats permettent de proposer des hypothèses de corrélats cérébraux sous-jacents au fonctionnement du HP. Ainsi, nos travaux apportent des nouvelles données permettant une meilleure compréhension clinique du HP validée par une méthodologie de recherche rigoureuse, ouvrant à de nouvelles approches.

Mots clefs : Haut Potentiel ; Phénotypage ; Enfant ; QI ; Indices de QI ; Profil de QI ; Homogène/hétérogène ; Anthropométrie ; Développement psychomoteur ; Psycho-affectif ; Socio-cognitif ; Fonctions neuropsychologiques ; Fonctions neuropsychomotrices ; Fonctions neurovisuelles ; Oculométrie ; Troubles neurodéveloppementaux ; Dyspraxies/Trouble Neurodéveloppemental de la Coordination ; Psychopathologie ; Modélisation du HP.

Abstract

High Potential (HP) is a current topic in both clinical and research field. However, current knowledge on HP remains divergent and subjective. The aim of this thesis is to refine a neurodevelopmental phenotyping of HP allowing a better understanding of the intellectual efficiency profile (IQ) with respect to multidimensional assessments. We first sought to understand the functioning of all children with HP (n=50) matched to non-HP children (n=30) on the WISC-VFR psychometric view, neuropsychological, neuropsychomotor, neurovisual and psychosocial-emotional (Study 1). Second, in order to better understand HP children's clumsiness or cognitive/psychomotor dyssynchrony, which is often prevalent in the clinic and in the french national education system, we compared two groups of children with developmental coordination disorder (DCD/dyspraxia), previously assessed with the WISC-IVFR: HP children with DCD (n=19) vs. non-HP with DCD (n=19) (Study 2). The first study showed that all IQ scores are significantly higher in HP compared to non-HP children. However, the distribution of index scores was similar in both groups (higher VCI/lower PSI). There are significantly ($p=0.02$) more heterogeneous IQ profiles in HP (64%) vs. non-HP (47%), with a significantly larger gap between the highest and lowest index (respectively: median=29.5 vs. 21.5). Furthermore, there was a significant-positive correlation between TIQ level in general and the heterogeneity of the profile ($r=0.42$; $p<0.001$). These results highlight the need to consider IQ as a continuum rather than a categorical distribution. From a developmental point of view, the standardized assessments significantly highlighted an earlier and more harmonious cognitive/neuropsychomotor and psycho-socio-affective development in HP children. At the oculomotor level, the accuracy and precision of visual pursuit (horizontal and vertical) are significantly better in HP children, and earlier at the vertical level. The finding on depression and anxiety did not show any significant difference between the two groups. However, heterogeneity was significantly related to higher VCI with low self-esteem and anxiety. The second study showed that in the whole sample of DCD children (HP/non-HP), heterogeneity in IQ profile was significantly related to deficient index (PRI and PSI related to high VCI). These latter were correlated with deficient scores on the multidimensional assessments and the anamnesis, highlighting neurodevelopmental and even psychological disorders. The same subgroups of DCD were found in non-HP and HP children, but with fewer ideomotor and visuo-spatial/

constructive subtypes in the latter, in link with compensatory abilities. All these results, supported by multivariate analysis, machine learning, etc., allowed us to develop a theoretical model of HP, applicable whatever the IQ profile (homogeneous/heterogeneous), with significantly strong validity ($r=0.99-0.91$; $p<0.001$). The model defined HP with specific markers such as TIQ from 125, high visual selective attention and executive functions, higher neonatal anthropometric values (weight $m=3.46\text{Kg}$; height $m=50.34\text{cm}$) without early adiposity rebound, early motor (sitting at 7 months on average, walking at 12 months) and language development (first sentences at 18 months), presence of isolated axial hypotonia. All of these markers were associated with five specific index subtests: Similarities ($R^2=1$), Vocabulary ($R^2=0.65$), Figure wights ($R^2=0.57$), Symbols ($R^2=0.55$), Digit span ($R^2=0.49$). Our results allow us to propose hypotheses of brain correlates underlying the functioning of the HP. Thus, our work provides new data allowing a better clinical understanding of HP validated by a rigorous research methodology, opening new perspectives of approaches.

Keywords: High Potential; phenotyping; Child; IQ; IQ indices; IQ profile; Homogeneous/heterogeneous; Anthropometry; Psychomotor development; Psycho-affective; Socio-cognitive; Neuropsychological functions; Neuropsychomotor functions; Neurovisual functions; Eye-Tracking; Neurodevelopmental Disorders; Dyspraxia/Neurodevelopmental Coordination Disorder; Psychopathology, HP modelling.

Dédicaces

« A cœur vaillant rien d'impossible, à conscience tranquille tout est accessible

Quand il y a la soif d'apprendre, tout vient à point à qui sait attendre

Quand il y a le souci de réaliser un dessein, tout devient facile pour arriver à nos fins

Malgré les obstacles qui s'opposent, en dépit des difficultés qui s'interposent

Les études sont avant tout, notre unique et seul atout

Ils représentent la lumière de notre existence, l'étoile brillante de notre réjouissance

Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal

Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal

Espérant des lendemains épiques un avenir glorieux et magique

Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis Jour et nuit, nous mènerons vers le bonheur fleuri Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys, Nous prions dieu que cette soutenance

Fera signe de persévérance et que nous serions enchantés Par notre travail honoré » M ♂

Je dédie ce travail qui est un événement marquant de ma vie à...

À mon très cher père ;

« Dans une prochaine vie, papa, j'aimerais te reprendre comme père » *Bernard Werber*

À ma très chère mère ;

« L'avenir d'un enfant est l'œuvre de sa mère » *Napoléon Bonaparte*

À mon très cher frère ;

« Un frère est le meilleur appui et soutien que l'on puisse avoir en cette vie » *Maxalexis*

À mes très chères sœurs ;

« Une sœur est un cadeau pour le cœur, un ami pour l'esprit, un fil d'or au sens de la vie »

James Tsadora

À la mémoire de ma grand-mère ;

« Je suis la douce étoile qui brille, la nuit, ... » *Robert Louis Stevenson*

À la mémoire de mon amie :

« Tu es partie trop vite et sans me prévenir... » *Fallis-Sabot*

À la mémoire de ma collègue Hélène :

« Il restera de toi une larme tombée, un sourire germé sur les yeux de ton cœur » *Simone*

Weil

Remerciements

Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à tout un petit monde de personnes qui ont rendu possible l'aboutissement de ce travail. En premier lieu, je témoigne d'une grande reconnaissance à Madame la Professeure Laurence Vaivre-Douret, ma directrice de thèse, qui a accepté l'encadrement de ce travail. Je lui adresse mes plus sincères remerciements de m'avoir accueillie au sien de son équipe « Neuro-développement et troubles des apprentissages », à l'hôpital Universitaire Necker Enfants Malades. Je la remercie également pour la confiance dont elle m'a témoigné pendant ces trois ans de thèse et de m'avoir soutenue au niveau de l'aide logistique nécessaire à la réalisation de ce travail. Sa supervision, ses connaissances et son approche développementale ainsi que ses travaux de recherche m'inspirent au quotidien dans ma pratique auprès des enfants. Sa démarche clinique, son expertise scientifique et les différents échanges que nous avons eus ont particulièrement enrichi ma pratique et ma recherche. Je tiens à la remercier particulièrement pour sa disponibilité au cours de ce travail de thèse, ses relectures, ses suggestions et son accompagnement. Veuillez trouver ici le signe de mon plus profond respect.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur Bruno Falissard pour m'avoir fait l'honneur d'intégrer son Unité de recherche INSERM UMR 1018-CESP et je remercie toute l'équipe de m'avoir élue membre du conseil de l'unité.

Je remercie sincèrement Mme Nelly Dussausse, directrice de l'école George Gusdorf recevant les enfants à Haut Potentiel, pour l'intérêt qu'elle porte pour mon projet de recherche. Je lui adresse mes plus vifs remerciements pour son soutien à l'obtention d'une bourse de l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT), en lien avec l'équipe du Professeure Vaivre-Douret (INSERM UMR 1018-CESP), ce qui m'a permis de mener mon projet.

Je remercie également les membre du groupe « Psychiatrie du développement et trajectoires » de l'INSERM, en particulier le Professeur Mario Speranza, devant qui j'ai pu présenter les résultats préliminaires de mes travaux de recherche. Veuillez trouver ici mes remerciements pour votre écoute, vos remarques constructives et vos encouragements.

Mes remerciements vont aussi aux différents membres de l'équipe « Neuro-développement et troubles des apprentissages » (dirigée par Pr. Laurence Vaivre-Douret), avec qui j'ai eu de chaleureux échanges, en particulier Mme Hélène Khéroua,

ancienne ingénieur d'étude INSERM, fidèle à l'équipe, qui est malheureusement décédée en juillet dernier. Isabelle Alric, secrétaire du Pr. Vaivre-Douret, Clémence Lopez, ancienne doctorante et les stagiaires que j'ai pu encadrer (Dhia, Solène, Nazia). Je remercie également Aliénor Pastisson et Adriano Cannafarina, vacataires au sein de l'équipe, pour leur aide à la révision du manuscrit, mais aussi pour nos moments d'échanges chaleureux et pour leur soutien. Veuillez trouver ici l'assurance de ma considération pour votre aide apportée à l'élaboration de ce travail.

Je remercie tous mes collègues pour leur compréhension, leurs encouragements et leur soutien.

Je remercie également les membres de l'équipe du service Ophtalmologie de l'hôpital Necker Enfants Malades (Chef du service : Pr. Bremond-Gignac), particulièrement Maxence Rateaux (Orthoptiste, PhD) et Quentin Laborde (Doctorant) pour leur collaboration sur la partie neurovisuelle de ma recherche et leur intérêt pour mon travail de thèse.

Je suis très honorée et je tiens à présenter mes plus vifs remerciements pour les différents membres de mon jury de thèse :

Madame la Professeure Pascale Planche, pour m'avoir orientée vers la Professeure Vaivre-Douret lorsque je lui ai parlé de mon projet de recherche, alors que j'étais encore étudiante en Neuropsychologie. Un grand merci d'avoir accepté de juger ce travail de thèse et d'en être rapporteur.

Madame la Professeure Marie Farmer, pour l'intérêt qu'elle porte à mon travail en ayant accepté d'en être rapporteur.

Monsieur le Professeur Jérôme Clerc, pour l'intérêt qu'il porte à mon travail en ayant accepté d'en être rapporteur.

Monsieur le Professeur Matthieu Robert, d'avoir accepté l'invitation à participer au jury.

Je remercie les différents professionnels de l'Université Paris Cité pour qui ont soutenu de près ou de loin ce projet, particulièrement Madame la directrice de l'École Doctorale, Karine Dore-Mazars et les secrétaires Lucie Alex et Coralie Kot. Je remercie également les chercheurs du laboratoire « La PsyDé » de l'Université Paris Cité, particulièrement Messieurs les Professeurs Mathieu Cassotti, Nicolas Poirel et Arnaud Cachia qui m'ont accordé leur confiance à travers la mission d'enseignement que j'ai pu mener dans le cadre de ma thèse, au sein de leur parcours universitaire de recherche (Licence) et de clinique (Master). Je vous remercie infiniment pour cette expérience incroyablement enrichissante pour moi.

Je remercie également la Fondation pour la Recherche en Psychomotricité et Maladies de Civilisation sous l'égide de la Fondation de France et la Fondation Initiative Autisme pour le prix qu'elles m'ont accordé pour soutenir ma recherche.

Je tiens également à remercier les différents directeurs d'écoles, particulièrement Monsieur Philippe Pearson, pour l'intérêt qu'il porte à mon travail et pour son soutien à l'encouragement de la recherche. Je remercie également tous les enfants et les familles sans qui ce travail n'aurait pas pu se faire.

Mes plus sincères remerciements vont aussi à Monsieur le Professeur Saïd Lotfi, qui était mon Professeur de méthodologie et statistiques et mon directeur de mémoire lorsque j'étais étudiante en Psychomotricité, à l'Université Internationale de Casablanca. Nos échanges tout au long de mon parcours académique m'ont donné goût à la recherche. Ses conseils méthodologiques m'ont beaucoup aidé à progresser dans mon travail de recherche et m'ont aidé à acquérir une rigueur scientifique. Je suis extrêmement reconnaissante pour son aide précieuse apportée au niveau du traitement des données (dont la machine learning).

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des personnes qui m'ont encouragée dans mes projets professionnels et qui veillent toujours à me soutenir. Je pense particulièrement à Monsieur le Professeur Jaâfar Heikel, PH-PU et ancien doyen de la Faculté des Science de la Santé, Université Internationale de Casablanca.

Pour finir je remercie ma famille et mes amis pour leurs encouragements. Ahmed, Mathilde, Adriano, Marine, Aliénor pour leur amitié. Frédéric qui même de loin s'est toujours montré enthousiaste et encourageant. Ayed pour son amitié, son soutien, ses encouragements et son écoute.

Je remercie tout particulièrement mes parents, mes sœurs, Houria, Oumaima et Doha, et mon frère Nabil, qui n'ont cessé de m'exprimer leur amour, leur soutien inconditionnel et leur confiance.

Liste des principales abréviations

- ADI-R:** Autism diagnostic interview revised
- ADOS :** Autism diagnostic observation schedule
- ANPEIP :** Association nationale pour les enfants intellectuellement précoces
- APA:** American psychiatric association
- AQ:** Autism quotient
- ASEBA:** Achenbach system of empirically based assessment
- ASQ :** Ages and stages questionnaire
- AUAQ :** Adolescent unresolved attachment questionnaire
- AUDIPOG :** Association des utilisateurs de dossiers informatisés en pédiatrie, obstétrique et gynécologie
- AVP :** Arginine vasopressine
- AVQ :** Activité de la vie quotidienne
- BOTMP:** Bruininks-Oseretsky test motor proficiency
- CBCL:** Child behavior checklist
- CCC:** Children's communication checklist
- CHAID** algorithm: Chi-squared automatic interaction detector algorithm
- CHC :** Modèle de Cattell-Horn-Carroll
- CIM-10 :** Classification internationale des maladies- *Dixième révision*
- CNAHP :** Centre national d'aide pour enfants et adolescents HP
- DF-MOT :** Échelle du développement fonctionnel moteur du jeune enfant
- DPGV :** Dépistage de la perception et des gnosies visuelles
- DSM-5:** Diagnostic and statistical manual of mental disorders- Fifth edition
- DSM-IV-TR:** Diagnostic and statistical manual of mental disorders- Fourth edition
- EEG :** Électroencéphalogramme
- EHP :** Élève à haut potentiel
- EIP :** Élève intellectuellement précoce
- EMG :** Évaluation de la motricité gnosopraxique distale
- EPL :** Échelle de développement de la Pensée Logique
- EQ :** Empathy quotient
- FCR-A :** Figure complexe A de Rey
- GMR :** Glucose metabolic rate
- HAS :** Haute autorité de santé

HP : Haut potentiel

IAG : Indice d'aptitude générale

ICC : Indice de compétence Cognitive

ICV : Indice de compréhension verbale

IM : Sous-type de dyspraxie idéomotrice

IMT : Indice de mémoire de travail

IMTA : Indice de mémoire de travail auditive

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

INV : Indice non verbal

IPPA: Inventory of parent and peer attachment

IRF : Indice de raisonnement fluide

IRMf : Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

IRQ : Indice de raisonnement quantitatif

IVS : Indice visuospatial

IVT : Indice de vitesse de traitement

KABC-II: Kaufman Assessment Battery for Children-Second edition

KCST: Kids card sorting test

M-ABC: Movement assessment battery for child

MAI : Metacognitive awarness inventory

MDAM : Modélisation des données de l'apprentissage machine

MDDT : Modèle différenciateur de la douance et du talent

MDI-C: Multiscore depression inventory-for children

MMHP : Modèle multifactoriel du haut potentiel

MSHPI : Modèle synthétique du haut potentiel intellectuel

MX : Sous-type de dyspraxie mixte

NEMI : Nouvelle échelle métrique de l'intelligence

NEPSY : Bilan Neuropsychologique de l'enfant

NP-MOT : Batterie d'évaluation des fonctions neuro-psychomotrices de l'enfant

OEQ : Overexcitabilities questionnaire

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OXT : Ocytocine

PAE_M : Potentiel auditif évoqué moyen

PMA : Primary mental abilities

PVE : Potentiel visuel évoqué

QANRA : Questionnaire de l'attachement non-résolu chez l'adolescent
QI : Quotient intellectuel
QST : Quotient social total
R-CMAS: Revised children's manifest anxiety scale
ROC: Receiver operating characteristic
SAT: Scholastic assessment test
SB5: Standfort-Binet- Firth edition
SNC : Système nerveux central
SNM : Signes neurologiques mineurs
TDAAH : Trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité
TDC : Trouble développemental de la coordination
TEA-CH : Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant
TED : Trouble envahissant du développement
TEIQue : Trait emotional intelligence questionnaire
TEP : Tomographie par émission de positons
TPB : Trouble de personnalité borderline
TSA : Trouble du spectre de l'autisme
TTD : Tractographie en tenseur de diffusion
VCN : Vitesse de conduction nerveuse
VSC : Visuospatial/ ou visuo-constructif
WAIS: Wechsler adult intelligence scale
WIAT: Wechsler individual achievement test
WISC-VFR: Wechsler intelligent scale for children-Fifth edition, version française
WPPSI-IV: Wechsler preschool and primary scale of intelligence- Fourth edition

Liste des tableaux

TABLEAU 1:COMPARAISON ENTRE LES ITEMS DU DEVELOPPEMENT LANGAGIER DES ENFANTS HP (SUIVIS EN LONGITUDINAL : N = 60) ET LES NORMES DEVELOPPEMENTALES FRANÇAISES SUR LES QUATRE PREMIERES ANNEES DE VIE (VAIVRE-DOURET, 2004).	101
TABLEAU 2:CARACTERISTIQUES SOCIO-EMOTIONNELLES ET PSYCHO-AFFECTIVES DES ENFANTS HP	149
TABLEAU 3:RECAPITULATIF DES DIFFERENTS OUTILS D’EVALUATION NEUROPSYCHOLOGIQUE HABITUELLEMENT UTILISES EN FRANCE, DANS LES ETUDES CLINIQUES ET EN RECHERCHES S’INTERESSANT AU HAUT POTENTIEL.....	153
TABLEAU 4:COMPARAISON ENTRE LES ITEMS DU DEVELOPPEMENT MOTEUR DES ENFANTS HP (SUIVIS EN LONGITUDINAL : N = 60) ET LES NORMES DEVELOPPEMENTALES FRANÇAISES SUR LES DEUX PREMIERES ANNEES DE VIE (VAIVRE-DOURET, 2004).	182
TABLEAU 5: ANALYSE DES ETUDES PORTANT SUR LES CARACTERISTIQUES D’ANXIETE TRAIT CHEZ LES ENFANTS HP	221
TABLEAU 6:REPARTITION DE L’ECHANTILLON D’ETUDE (GROUPE D’ENFANTS HP ET NON-HP) EN FONCTION DU SEXE ET DE L’AGE. .	246
TABLEAU 7:DOMAINES D’EVALUATION DE LA BATTERIE DES FONCTIONS NEURO-PSYCHOMOTRICES (NP-MOT).	279
TABLEAU 8:RECAPITULATIF DU PROTOCOLE SCIENTIFIQUE DE NOTRE PREMIERE ETUDE.	280
TABLEAU 9:DONNEES SCOLAIRES (CATEGORIELLES) DES ENFANTS HP ET NON-HP EN FONCTION DU PROFIL INTELLECTUEL (HOMOGENE/HETEROGENE).....	294
TABLEAU 10:DONNEES SCOLAIRES (NUMERIQUES) DES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP	295
TABLEAU 11:CARACTERISTIQUES DE L’ECHANTILLON CONCERNANT LA GROSSESSE ET L’ACCOUCHEMENT.	297
TABLEAU 12:DONNEES MEDICALES CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.....	299
TABLEAU 13:CARACTERISTIQUES LIEES AU SOMMEIL CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.	301
TABLEAU 14: CARACTERISTIQUES LIEES A L’ALIMENTATION CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.....	302
TABLEAU 15: COMPARAISON ENTRE LES INDICES DU QI DE NOTRE GROUPE D’ENFANTS HP ET LES NORMES NATIONALES HP (WISC-VFR ; WECHSLER, 2016).....	305
TABLEAU 16: SCORES D’INDICES DU QI (WISC-VFR) DES ENFANTS HP ET NON-HP.	305
TABLEAU 17: ÂGE D’ACQUISITION DES STADES DU DEVELOPPEMENT PSYCHOMOTEUR ET LANGAGIER CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.	311
TABLEAU 18: PRAGMATIQUE DU LANGAGE CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.	313
TABLEAU 19: MOTRICITE GLOBALE (NP-MOT) CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX NON-HP.....	315
TABLEAU 20: PERFORMANCES MOTRICES CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP (M-ABC).	316
TABLEAU 21:CORRELATIONS ENTRE LES ACTIVITES MOTRICES DE LA VIE QUOTIDIENNE (AVQ : HABILLAGE, REPAS) ET LES PROFILS DE QI (HOMOGENE/HETEROGENE).....	320
TABLEAU 22: CORRELATIONS ENTRE ACTIVITES SCOLAIRES/JEUX ET PROFILS DE QI (HOMOGENE/HETEROGENE).	320
TABLEAU 23: RESULTATS DES TESTS NEUROPSYCHOLOGIQUES DES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.....	322
TABLEAU 24: RESULTATS AUX EPREUVES DE LA NEPSY-II CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.	325
TABLEAU 25: DONNEES ANAMNESTIQUES LIEES AU DEVELOPPEMENT PSYCHO-AFFECTIF CHEZ LES ENFANTS HP ET NON-HP.	331
TABLEAU 26: RESULTATS AU QUESTIONNAIRE D’ATTACHEMENT CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP	333
TABLEAU 27: RESULTATS AUX TESTS DE LA COGNITION SOCIALE CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.....	335
TABLEAU 28: RESULTATS A L’ECHELLE DE DEPRESSION POUR ENFANTS CHEZ LE GROUPE HP COMPARE AU GROUPE NON-HP.	336
TABLEAU 29: COMPARAISON DES PARAMETRES STATISTIQUES DU HP PREDICTIF DANS LA PARTITION APPRENTISSAGE ET LA PARTITION TEST (CHAID ALGORITHM).	342
TABLEAU 30: COMPARAISON DE MODELES DE L’ANALYSE FACTORIELLE CONFIRMATOIRE.	344
TABLEAU 31:CARACTERISTIQUES SOCIODEMOGRAPHIQUES, COGNITIVES ET MEDICALES DES PARTICIPANTS (ETUDE 2).	347
TABLEAU 32: LES SIGNES CLINIQUES NP-MOT CHEZ LES ENFANTS TDC.....	348

Liste des figures

FIGURE 1. LES FACTEURS PRINCIPAUX DU MODELE CHC SELON L'EXTENSION DES GRANDES FONCTIONS COGNITIVES (MCGREW, 1997)	39
FIGURE 2 :LE MDDT (GAGNE, 2009)	41
FIGURE 3 : MODELE SYNTHETIQUE DU HAUT POTENTIEL (MSHPI) DE CUCHE (2014)	45
FIGURE 4:STRUCTURE METRIQUE DE L'ECHELLE WISC-VFR (WECHSLER, 2016).	50
FIGURE 5:COURBE GAUSSIENNE DE NORMALITE (WECHSLER, 2016)	51
FIGURE 6:CORRESPONDANCE ENTRE LES 5 INDICES PRINCIPAUX DE LA WISC-V ET LES FACTEURS DU MODELE CHC (TERRIOT & OZENNE, 2015).	52
FIGURE 7:ÉPREUVE DES TROIS MONTAGNES (PIAGET & INHELDER, 1947).	74
FIGURE 8:MODELE HIERARCHIQUE DE L'INTELLIGENCE ET L'ATTENTION (SCHWEIZER ET AL., 2005).	97
FIGURE 9:PROTOCOLE EXPERIMENTAL DE L'ÉTUDE D'AUBRY ET BOURDIN (2021).	100
FIGURE 10:EXEMPLE DE SIMULACRES D'ÉCRITURE CHEZ UN ENFANT HP AUTOUR DE 33-34 MOIS, OBTENUS SPONTANEMENT SUR UN PAPIER LIBRE (VAIVRE-DOURET, 2004).	102
FIGURE 11:PRESENTATION 3D DES MATRICES DE CONNECTIVITE MOYENNEES SUR LES 79 SUJETS (LI ET AL., 2009).	112
FIGURE 12:CONNECTIVITE CEREBRALE OBSERVEE BILATERALEMENT DANS LES LOBES PREFRONTAUX, CORTICO-STRIATAL ET LE FAISCEAU FRONTO-PARIETAL CHEZ LES ENFANTS HP (NAVAS-SANCHEZ ET AL., 2014).	113
FIGURE 13:ANALYSE DE CONNECTIVITE : RENDU DES RESULTATS SUR LA SURFACE CEREBRALE MOYENNE (WILKE ET AL., 2003).	119
FIGURE 14:CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ET POSITIVES ENTRE MATIERE GRISE ET BLANCHE ET QI (HAIER ET AL., 2004).	119
FIGURE 15:PARADIGME EXPERIMENTAL DE L'ÉTUDE ZHANG ET AL. (2006).	121
FIGURE 16:MODELE DEVELOPPEMENTAL DE L'EXPRESSION DES CELLULES OXT ET AVP DANS LE CERVEAU DES SOURIS (SOUMIER ET AL., 2022).	131
FIGURE 17:MODELE DU DEVELOPPEMENT COGNITIF (E.G. LANGAGE) RENDANT COMPTE DE L'INTERACTION GENETIQUE/ENVIRONNEMENTALE (THOMAS ET AL., 2013).	137
FIGURE 18:MODELE DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION SOCIALE (LEMERISE & ARSENIO, 2000).	145
FIGURE 19:LE SYSTEME NERVEUX CENTRAL HUMAIN HTTPS://SLIDEPLAYER.FR/SLIDE/3328101/	162
FIGURE 20:LES AIRES FONCTIONNELLES DU CORTEX MOTEUR IMPLIQUEES DANS MOVEMENT HTTP://BHPICARD.FREE.FR/FILES/SN_3_VOIES_MOTRICES	164
FIGURE 21:VOIE PYRAMIDALE ET EXTRA-PYRAMIDALE IMPLIQUEES DANS LE MOUVEMENT HTTP://WWW.DILINGCO.COM/DILINGCOPRO/CONTENTTF/PHYSIO1_2.HTM	165
FIGURE 22:UNITE MOTRICE ET SYNAPSE NEUROMUSCULAIRE (HTTPS://ELEVÉS-TPE.SKYROCK.COM/2975190745-B-LA-TRANSMISSION-NEUROMUSCULAIRE.HTML/) (HTTPS://WWW.NAGWA.COM/FR/EXPLAINERS/676192534258/)	166
FIGURE 23:STRUCTURES SOUS-CORTICALES HTTPS://INSTITUTDUCERVEAU-ICM.ORG/FR/PARALYSIE-SUPRANUCLEAIRE-PROGRESSIVE/CAUSES/	168
FIGURE 24:ANATOMIE DU CRANE METTANT EN EVIDENCE LA GLABELLE IMPLIQUEE DANS LE REFLEXE PRIMITIF GLABELLAIRE HTTPS://SLIDETODOC.COM/LE-SQUELETTE-AXIAL-PRSENT-PAR-DR-MAKHLOUF-ALLA/ - HTTPS://WWW.SLIDESHARE.NET/AMRITAAS/NEWBORN-ASSESSMENT-72328207	173
FIGURE 25:MODELE INTEGRATIF DE L'ACTION IMPLIQUE DANS LE TDC (VAIVRE-DOURET, 2007).	195
FIGURE 26:MODELE INTEGRATIF DE L'ACTION IMPLIQUE DANS LE TDC (VAIVRE-DOURET ET AL., 2011B)	197
FIGURE 27:MARQUEUR NEUROBIOLOGIQUE (AMPLITUDE MMN) CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS TSA ET NEUROTYPQUES (RICCIONI ET AL., 2021).	214
FIGURE 28:EXCITABILITE ACCRUE DU RESEAU NEURAL PRINCIPALEMENT AU NIVEAU DU NOYAU AMYGDALOÏDE LATERAL (A) ET TRACE DE L'ENREGISTREMENT ELECTROPHYSIOLOGIQUE CORRESPONDANT (B) (MARKMAN ET AL., 2008).	216
FIGURE 29:MODELE INTEGRE DES MECANISMES DE LA DEPRESSION CHEZ L'ENFANT HP (MUELLER & WINSOR, 2018)	232
FIGURE 30:THEORIE D'HYPER-CERVEAU/ HYPER-CORPS (KARPINSKI ET AL., 2018).	234
FIGURE 31:SCHEMAS DE RECRUTEMENT DES PARTICIPANTS DE L'ÉTUDE DU PHENOTYPAGE ET PROPOSITION DE MODELE NEURODEVELOPPEMENTAL DU HAUT POTENTIEL	249
FIGURE 32:DISPOSITIF DE RESOLUTION DE PROBLEMES EVALUANT LES CAPACITES DE PLANIFICATION ET DE MEMOIRE DE TRAVAIL VISUO-SPATIALE (SHALLICE, 1982).	259
FIGURE 33: DISPOSITIF DU STYLO ELECTRIQUE PERMETTANT LE RECUEIL DE DONNEES DE L'ORGANISATION SPATIO-TEMPORELLE DU GESTE GRAPHOMOTEUR	261
FIGURE 34:ILLUSTRATION DE LA TACHE DE THEORIE DE L'ESPRIT DE LA NEPSY-II PROPOSEE AUX PARTICIPANTS INCLUS DANS LE PROTOCOLE DE RECHERCHE	262
FIGURE 35:TACHE DE RECONNAISSANCE D'AFFECTS DE LA NEPSY-II	262

FIGURE 36:TACHES DE RECONNAISSANCE D’AFFECTS DE LA NEPSY-II	263
FIGURE 37:DISPOSITIF D’ENREGISTREMENT OCULOMETRIQUE DU NYSTAGMUS OPTOCINETIQUE BINOCULAIRE.	266
FIGURE 38:DISPOSITIF D’ENREGISTREMENT OCULOMETRIQUE DES POURSUITES VISUELLES ET DES SACCADÉS.....	267
FIGURE 39:EXEMPLE DE CARTES COULEURS DES NAFX ET FREQUENCES DES ENREGISTREMENTS ELECTROPHYSIOLOGIQUE D’OCULOMETRIE.	268
FIGURE 40:EXEMPLE DE RE-PROCESSING D’ENREGISTREMENT OCULO-PHOTOGRAPHIQUE D’UN PARTICIPANT.	270
FIGURE 41:EXEMPLE DE PROFIL DU BILAN NUMERIQUE GENERE A PARTIR DE LA SAISIE DE COTATION DE L’EXAMEN CLINIQUE DES FONCTIONS NEUROPSYCHOMOTRICES (NP-MOT ; VAIVRE-DOURET, 2021A).	277
FIGURE 42:PROFIL SCOLAIRE DES PARENTS D’ENFANTS HP ET NON-HP.	292
FIGURE 43:PROFIL PROFESSIONNEL DES PARENTS D’ENFANTS HP ET NON-HP.	293
FIGURE 44:DIFFICULTES SCOLAIRES EN FONCTION DES PROFILS INTELLECTUELS DES ENFANTS HP ET NON-HP.....	295
FIGURE 45:MOYENNES DU POIDS ET DE LA TAILLE DES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP AU REGARD DU PROFIL INTELLECTUEL (HOMOGENE/HETEROGENE)	298
FIGURE 46:MOYENNES DU POIDS DES ENFANTS HP PAR RAPPORT AUX COURBES AUDIPOG POUR LES FILLES ET LES GARÇONS.	298
FIGURE 47:MOYENNES DE LA TAILLE DES ENFANTS HP PAR RAPPORT AUX COURBES AUDIPOG POUR LES FILLES ET LES GARÇONS.	299
FIGURE 48:DISTRIBUTION DES SCORES D’INDICES ET DE SUBTESTS PAR GROUPE, EN FONCTION DE LA REFERENCE DE MAHALANOBIS.	304
FIGURE 49: DISTRIBUTION DES SCORES D’INDICES (WISC-VFR) DES ENFANTS HP ET NON-HP.	306
FIGURE 50:DISTRIBUTION DES SCORES DE SUBTESTS (WISC-VFR) DES ENFANTS HP ET NON-HP	306
FIGURE 51: DISTRIBUTION DES SCORES D’INDICES (WISC-VFR) DES ENFANTS HP ET NON-HP AU REGARD DU PROFIL DE QI (HOMOGENE/HETEROGENE).....	307
FIGURE 52: DISTRIBUTION DES SCORES DE SUBTESTS (WISC-VFR) DES ENFANTS HP ET NON-HP AU REGARD DU PROFIL DE QI (HOMOGENE/HETEROGENE).....	307
FIGURE 53: IMPORTANCE DES SUBTESTS PREDICTEURS DU WISC-VFR DANS L’IDENTIFICATION DU HP.....	309
FIGURE 54: CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ET NEGATIVES ENTRE LE QIT ET LE DEVELOPPEMENT DE LA MARCHÉ AUTONOME AINSI QUE LE DEVELOPPEMENT DE L’EXPRESSION DES PREMIERES PHRASES (HAMDIQUI & VAIVRE-DOURET, 2021).....	310
FIGURE 55: COMPARAISON DES TAUX DU DEVELOPPEMENT MOTEUR ET LANGAGIER PRECOCE CHEZ LES ENFANTS HP AVEC UN PROFIL HOMOGENE COMPARES AUX ENFANTS HP AVEC UN QI HETEROGENE CONFORMEMENT AUX NORMES DEVELOPPEMENTALES (HAMDIQUI & VAIVRE-DOURET, 2021, 2022).	312
FIGURE 56: LES SCORES AUX ITEMS DU M-ABC CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP, AU REGARD DU PROFIL DE QI (HOMOGENE/HETEROGENE).	318
FIGURE 57: FIGURES ILLUSTRANT LES DIFFERENCES LIEES AUX CARACTERISTIQUES COGNITIVES ENTRE LES ENFANTS HP ET NON-HP EU REGARD DU PROFIL DE QI (HOMOGENE/HETEROGENE).	324
FIGURE 58: LES CARACTERISTIQUES OCULOMOTRICES EN FONCTION DE LA DIRECTION DANS LES DEUX GROUPES (ENFANTS HP ET NEUROTYPQUES)	326
FIGURE 59: LA PRECISION DE LA POURSUITE VISUELLE LISSE DES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP LORS DE LA 1ERE 2EME ET LA 3EME EXPERIENCE.....	327
FIGURE 60: LA DUREE DE LA POURSUITE VISUELLE LISSE DES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP LORS DE LA 1ERE 2EME ET LA 3EME EXPERIENCE.	328
FIGURE 61: COURBE DE ROC OBTENUE AVEC DES CLASSIFICATEURS DE FORET ALEATOIRE UTILISANT LES CARACTERISTIQUES OCULOMOTRICES.	329
FIGURE 62: LA CARTE DES CORRELATIONS CROISEES CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP.	329
FIGURE 63: SOMME DES SCORES AU QUESTIONNAIRE DE L’ATTACHEMENT CHEZ LES ENFANTS HP COMPARES AUX ENFANTS NON-HP EN FONCTION DE L’AGE.....	333
FIGURE 64: PREDICTEURS ET QUALITE DE LA PRECISION DU MODELE PREDICTIF DE TOUS LES INDICES PRINCIPAUX DU QI.....	341
FIGURE 65: MODELE PREDICTIF DU HAUT POTENTIEL A L’AIDE DU « CHAID ALGORITHM » EN SE BASANT SUR LE PHENOTYPAGE MULTIDIMENSIONNEL.	343
FIGURE 66: CORRELATION VALIDE ENTRE LES VALEURS DE GAIN ET D’APPRENTISSAGE VALIDANT NOTRE MODELE	343
FIGURE 67: META-ANALYSE TESTEE PAR « PATHWAY ANALYSIS : MODELE MIXTE ».	344
FIGURE 68: META-ANALYSE AMELIORE ET VALIDEE PAR « PATHWAY ANALYSIS : MODELE MIXTE AMELIORE ».	345
FIGURE 69: MODELE MULTIFACTORIEL DE L’IDENTIFICATION DU HAUT POTENTIEL QUEL QUE SOIT LE PROFIL PSYCHOMETRIQUE (HOMOGENE/HETEROGENE), DE HAMDIQUI & VAIVRE-DOURET.	431

Sommaire

Table des matières

Dédicaces.....	7
Remerciements.....	8
Liste des principales abréviations.....	11
Liste des tableaux.....	14
Liste des figures.....	15
Préambule.....	22
Introduction.....	25
Revue de la littérature.....	27
Chapitre 1 : De la terminologie à la définition du Haut Potentiel.....	28
1. Historique de la terminologie et définition du Haut Potentiel.....	28
1.1 La terminologie du Haut Potentiel dans le champ de l'Éducation nationale.....	31
2. Principaux modèles définissant l'intelligence.....	34
2.1. Modèle basé sur la théorie factorielle de Spearman.....	34
2.2. Théorie multifactorielle de l'intelligence de Thurstone.....	36
2.3. Modèle des intelligences multiples de Gardner.....	36
2.4. Modèle de Cattell-Horn-Carroll (CHC).....	38
3. Principaux modèles du Haut Potentiel.....	40
3.1. Modèle différenciateur de la douance et du talent (MDDT) de Gagné.....	40
3.2. Modèle des trois anneaux de Renzulli.....	42
3.3. Modèle du HP Triarchique de Sternberg.....	42
3.4. Modèle de Munich du don et du talent.....	43
3.5. Modèle synthétique du Haut Potentiel Intellectuel (MSHPI) de Cuhe.....	44
Chapitre 2 : Caractéristiques cognitives du Haut Potentiel.....	47
1. Caractéristiques psychométriques du Haut Potentiel.....	47
1.1. Instruments de mesure de l'intelligence.....	47
1.2. La norme du Haut Potentiel selon l'approche psychométrique.....	52
1.3. Comment interpréter le profil du QI au WISC-V : hétérogénéité ou dysharmonie.....	56
2. Théorie de l'intelligence sous l'angle de la psychologie cognitive développementale.....	63
3. Développement cognitif de l'enfant HP.....	67
3.1. Vitesse de traitement de l'information chez les enfants HP.....	68
3.2. Tâches de raisonnement et de résolution de problèmes.....	71
3.3. Métacognition & style de pensée.....	85
3.4. Des fonctions exécutives (mémoire de travail et attention) aux fonctions instrumentales (langage oral et écrit).....	90
Chapitre 3 : Caractéristiques physiologiques et neurobiologiques du Haut Potentiel.....	105
1. Caractéristiques physiologiques du Haut Potentiel.....	105
2. Caractéristiques neurobiologiques du Haut Potentiel.....	107

Chapitre 4 : Caractéristiques socio-émotionnelles et psycho-affectives des enfants à Haut Potentiel	124
1. Théorie de l'attachement et développement psycho-affectif de l'enfant en général et de l'enfant HP en particulier.....	124
1.1. Bases neurologiques et cognitifs impliqués dans l'attachement	129
1.2. Impact de l'environnement sur le développement de l'enfant en général et de l'enfant HP en particulier.....	132
2. Caractéristiques socio-émotionnelles et psycho-affectives de l'enfant HP	138
2.1. L'hypersensibilité est-elle une caractéristique développementale spécifique du HP ?.....	138
2.2. L'intelligence émotionnelle et le Haut Potentiel	143
3. Outils d'évaluation neuropsychologique dans les études cliniques et recherche qui s'intéressent au Haut Potentiel	153
Chapitre 5 : Caractéristiques neuromotrices du Haut Potentiel.....	157
1. Maturation neuromotrice physiologique du développement chez l'enfant	157
1.1. Contrôle cérébral de la motricité.....	158
1.1.1. Structures corticales	163
1.1.2. Structures sous-corticales.....	167
2. Signes neurologiques mineurs.....	172
3. Caractéristiques du développement neuro-posturo-locomoteur chez l'enfant à Haut Potentiel par rapport aux échelles du développement	175
3.1. Outils d'évaluation neuropsychomotrice auprès d'enfants et intérêt d'une telle évaluation.....	175
3.2. Lien entre le développement moteur et le profil du Quotient Intellectuel (homogène/hétérogène).....	183
Chapitre 6 : Haut Potentiel et troubles	188
1. Troubles neurodéveloppementaux chez l'enfant HP	188
1.1. Troubles spécifiques des apprentissages chez l'enfant HP.....	188
1.1.1. La dyslexie chez l'enfant HP.....	190
1.1.2. La dysgraphie chez l'enfant HP.....	191
1.2. Le trouble développemental de la coordination (TDC) chez l'enfant HP.....	193
1.2.1. Terminologie et définition du TDC.....	193
1.2.2. Diagnostic et marqueurs cliniques du TDC	197
1.3. Le trouble déficitaire d'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) chez l'enfant HP	201
1.4. Le trouble du spectre de l'autisme (TSA) chez l'enfant HP	206
2. Troubles psychopathologiques chez l'enfant HP	216
2.1. L'anxiété chez l'enfant HP.....	216
2.2. La dépression chez l'enfant HP	225
Problématique et objectifs	236
1. Problématique.....	237
2. Hypothèses.....	240
2.1. Hypothèses théoriques.....	240
2.2. Hypothèses opérationnelles de recherche	240
3. Objectifs.....	241
3.1. Objectif principal	241
3.2. Objectifs secondaires.....	242
Méthodologie scientifique	244

Étude 1 : Phénotypage et proposition de modèle neurodéveloppemental du Haut Potentiel
.....245

1. Population	245
1.1. Lieux et modalités de recrutement	246
1.2. Considérations éthiques : Anonymat, respect et confidentialités des données	250
1.3. Critères d'inclusion/ exclusion pour chaque groupe	250
2. Bénéfices/ risques	252
3. Impact de la situation COVID	253
4. Conflits d'intérêts	253
5. Matériel et procédure	253
5.1. Données d'anamnèse	254
5.2. Évaluation psychométrique de l'intelligence.....	255
5.3. Évaluation neuropsychologique standardisée et normée	256
5.4. Évaluation oculométrique et neurovisuelle	266
5.5. Évaluation développementale standardisée et normée des fonctions neuropsychomotrices et des performances motrices	274
6. Synthèse du protocole de recherche pour la première étude : Phénotypage et proposition de modèle neurodéveloppemental du Haut Potentiel	280

Étude 2 : Tableau clinique du trouble développemental de la coordination (TDC) chez les enfants HP comparés aux enfants à Haut QI vs non-HP avec TDC.285

1. Participants	286
2. Matériel	287
2.1. Évaluation neuropsychologique.....	287
2.2. Évaluation des fonctions neuropsychomotrices et neurovisuelles	287

Méthodes d'analyse des données de la première et la deuxième étude288

1. Analyses descriptives	288
2. Analyses inférentielles	288

Résultats.....290

Étude 1 : Phénotypage et proposition de modèle neurodéveloppemental du Haut Potentiel
.....291

1. Caractéristiques générales de l'échantillon	291
1.1. Caractéristiques sociodémographiques concernant les parents des enfants HP et non-HP	291
1.1.1. Comparaison du niveau d'étude et profession des parents d'enfants HP et non-HP	291
1.1.2. Comparaison du niveau socioprofessionnel des parents d'enfants HP et neurotypiques au regard des données de l'INSEE	292
1.2. Caractéristiques scolaires des enfants HP et non-HP	293
2. Caractéristiques à l'anamnèse et données anthropométriques néonatales des enfants HP comparés aux enfants non-HP	296
2.1. Grossesse et données anthropométriques néonatales	296
2.2. Données médicales des enfants HP et enfants non-HP	299
3. Résultats du profil psychométrique au WISC-V^{FR}	303
4. Caractéristiques neuromotrices chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP	309
4.1. Caractéristiques développementales liées aux stades du développement psychomoteur.....	310
4.2. Caractéristiques développementales liées au langage écrit et oral	312

4.3. Caractéristiques développementales cliniques des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT) et des performances motrices (M-ABC)	314
4.3.1. Tonus de fond	314
4.3.2. Tonus d'action et de soutien et d'attitude.....	315
4.3.3. Motricité globale.....	315
4.3.4. Praxies et gnosopraxies (NP-MOT).....	318
4.3.5. Latéralité fonctionnelle et habiletés oculo-manuelles.....	318
4.3.6. Corrélations entre les activités de la vie quotidienne (AVQ) et les profils de QI (homogène/hétérogène)	319
4.3.7. Corrélations entre activités scolaires, AVQ (jeux et loisirs) et profils du QI (homogène/hétérogène)	320
5. Caractéristiques cognitives des enfants HP comparés aux enfants non-HP.....	322
5.1. Fonctions exécutives, performances visuo-spaciales/constructives et attention.....	322
6. Capacités oculométriques et neurovisuelles des enfants HP comparés aux enfants non-HP. 325	
6.1. Caractéristiques de la poursuite visuelle lisse (horizontale et verticale).....	325
6.2. Prédiction du HP à partir des caractéristiques oculomotrices.....	328
7. Caractéristiques psycho-socio-affectives des enfants HP comparés aux enfants non-HP	330
7.1. Données anamnestiques liées au développement psycho-affectif chez les enfants HP et non-HP ...	330
7.2. L'attachement chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP	332
7.3. Cognition sociale chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP	335
8. Régression des différents indices du QI au regard de toutes les variables significatives	338
9. Validation d'un modèle prédictif du Haut Potentiel	341
<i>Étude 2 : Tableau clinique du trouble développemental de la coordination (TDC) chez des enfants HP comparés aux enfants avec un Haut QI et des enfants non-HP avec TDC.....</i>	<i>346</i>
1. Caractéristiques descriptives de l'échantillon d'étude	346
2. Relation entre le QI et le développement neuropsychomoteur dans un échantillon d'enfants TDC.....	347
3. Relation entre les variables cognitives et les sous-types de TDC	348
4. Les signes cliniques du NP-MOT	348
<i>Discussion & Conclusion</i>	<i>351</i>
<i>1. Caractéristiques d'anamnèse des enfants HP tout-venant vs HQ vs enfants non-HP</i>	<i>352</i>
1.1. Qu'en est-il de l'histoire de grossesse et des paramètres néonataux chez les enfants HP tout-venant comparés aux enfants à Haut QI vs non-HP ?	352
1.2. Les enfants HP sont-ils différents des enfants non-HP au niveau du sommeil et de la propreté ?	358
<i>2. Caractéristiques socio-démographiques-professionnelles et scolaires des enfants HP tout-venant comparés aux enfants non-HP</i>	<i>359</i>
2.1. Caractéristiques socio-démographiques-professionnelles des parents	359
2.2. Existe-il une différence significative au niveau des caractéristiques scolaires et extra-scolaires des enfants HP comparés aux enfants non-HP ?	361
<i>3. Qu'en est-il du profil psychométrique au WISC-V^{FR} des enfants HP tout-venant comparés aux enfants non-HP ?</i>	<i>367</i>
3.1. Quelle est la distribution des indices du profil psychométrique au WISC-V ^{FR} chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP ?	367

3.2. Le profil de QI hétérogène est-il spécifique aux enfants HP ?	370
4. Aspects développementaux de l'enfant HP	373
4.1. Existe-t-il un développement moteur et langagier spécifique de l'enfant HP ?	373
4.2. Qu'en est-il de la motricité dans la vie quotidienne (AVQ) au regard du profil de QI	382
5. Qu'en est-il de la maladresse chez les enfants HP (Trouble Développemental de la Coordination).....	387
6. Apport de l'examen des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT)	391
6.1. Existe-t-il des caractéristiques physiologiques spécifiques du tonus de fond chez les enfants HP ?.....	391
6.2. Qu'en est-t-il des syncinésies (tonus d'action) chez les enfants HP ?	396
6.3. De la latéralité proximale à la mise en place de la latéralité distale.....	398
7. Existe-t-il des caractéristiques oculométriques et neurovisuelles spécifiques des enfants HP.....	403
8. Apport des examens neuropsychologiques standardisés et normés	406
8.1. Fonctions exécutives	406
8.2. Capacités visuo-spatiales-constructives	411
8.3. Capacités attentionnelles	412
9. Caractéristiques psycho-socio-affectives des enfants HP comparés aux enfants non-HP	416
9.1. Hypersensibilité et Intelligence émotionnelle	416
9.2. Les enfants HP tout-venant sont-ils caractérisés par une anxiété trait et dépression par rapport aux enfants non-HP ?.....	419
9.3. L'attachement chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP	423
10. Proposition d'un modèle théorique d'identification du Haut Potentiel quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène)	428
11. Conclusion générale	432
12. Limites et perspectives	436
Références	438

Préambule

En premier lieu, je tiens à exprimer l'origine de ma motivation pour mener cette thèse. Après l'obtention de mon baccalauréat de sciences physiques, une première phase de mon parcours académique s'est orientée vers des études de Psychomotricité, à l'Université Internationale de Casablanca. Ma curiosité s'est portée sur la relation entre une affectation mentale et son influence sur le corps humain. De là, mon cursus universitaire m'a amené dès 2014 sur le terrain des différents services des hôpitaux de Paris et des laboratoires de recherche où j'étais stagiaire. Dans ce contexte, je me suis découvert un attrait particulièrement pour l'étude du lien entre les fonctions cognitives de haut niveau et les fonctions motrices, tant sur le plan du développement que des troubles neurodéveloppementaux. Ainsi, mon mémoire de Licence de Psychomotricité a porté sur la validation d'une échelle d'évaluation des signes neurologiques mineurs (Hamdioui & Lotfi, 2016).

Après avoir été diplômée psychomotricienne en 2016, J'ai voulu approfondir mes connaissances scientifiques avant de m'orienter vers une pratique clinique. L'objectif était, d'une part, d'enrichir ma compréhension du développement de l'enfant tant sur le plan psychomoteur que cognitif et psychologique, d'autre part, d'acquérir des connaissances approfondies concernant la sémiologie des troubles. C'est ainsi que je me suis naturellement orientée vers un Master de Neuropsychologie de l'enfant, à l'Université de Grenoble, qui était à double vocation : clinique et recherche. Mon mémoire de Master a porté sur l'impact des signes neurologiques mineurs sur le déficit de la théorie de l'esprit et des fonctions exécutives chez des adolescents souffrants de schizophrénie.

En effet, j'ai toujours veillé à m'inscrire dans une démarche intégrative, qui ne peut se passer de la recherche clinique universitaire. C'est pourquoi, j'assistais régulièrement à différents colloques et congrès internationaux au cours de mes études. Dans ce contexte, j'ai été progressivement sensibilisée à la thématique du Haut Potentiel. J'ai constaté que les recherches existantes tentaient d'apporter un éclairage au sujet des enfants à Haut Potentiel (HP) en étudiant souvent isolément les fonctions cognitives, motrices, et psycho-affectives. Par ailleurs, en tant que clinicienne, j'ai été confrontée à l'enfant HP souvent caractérisé par une dyssynchronie cognitive/psychomotrice et affective. Cependant, cette description se base uniquement

sur des observations empiriques sans aucune validation scientifique. Face à ces constats, il m'est venue l'envie de mener un Doctorat de recherche sur le thème du HP, souhaitant tout d'abord m'intéresser à explorer le profil neuromoteur des enfants HP au regard de leur profil cognitif. Je me suis alors tournée vers la Professeure Laurence Vaivre-Douret, sur les conseils de différents Professeurs que j'ai connus dans le cadre de mon Master de Neuropsychologie. C'est ainsi que la Professeure Vaivre-Douret m'a proposé d'intégrer son équipe de phénotypage pour effectuer mon Doctorat, en me proposant une visée multidimensionnelle. Nos échanges ont permis d'étoffer mon sujet de recherche et d'aboutir à une thématique portant sur « le phénotypage neurodéveloppemental multidimensionnel du Haut Potentiel : Compréhension du profil d'efficience intellectuelle (QI) au regard du profil neuropsychologique, neurovisuel, neuropsychomoteur et psycho-socio-affectif ». Une première étape s'est orientée vers une recherche de collaboration avec les différentes écoles d'île de France, particulièrement l'école George Gusdorf qui a collaboré étroitement avec l'équipe de recherche. Cette école a accepté de participer au financement d'une bourse pour soutenir mon projet de recherche auprès de l'ANRT. À noter, qu'aucun professionnel de cette école n'a été inclus dans la réflexion ni dans le déroulement de notre protocole de recherche, veillant à ne pas s'inscrire dans un conflit d'intérêt.

La réalisation d'une évaluation pluridisciplinaire, bien qu'elle soit complexe et difficile à mettre en place de par la longueur de passations de tests (un jour et demi pour chaque enfant), la gestion des données et la nécessité d'un échantillon tout-venant de taille importante, nous est apparue indispensable. À noter que nous avons dû continuer nos recrutements dans une période sanitaire COVID-19, ce qui n'a rien de facile. Cependant, la confiance accordée avec les partenariats scolaires, le fait que notre équipe de recherche bénéficie de sa propre salle clinique avec un aménagement des moyens pour respecter les conditions sanitaires, et la motivation alliée à la volonté d'adaptation et d'investissement nous ont permis de nous adapter et de continuer l'étude en dépit de la crise sanitaire. En effet, malgré le confinement, nous avons pu maintenir des échanges avec les familles. Ces derniers étant facilement convaincus par l'intérêt de l'étude et la souplesse dont nous avons pu faire preuve pour nous adapter à leurs contraintes de temps et de trajet dans une période COVID extrêmement difficile à gérer. Ainsi, nous avons assuré un présentiel continu tout en respectant les mesures barrières. Ceci nous a permis d'effectuer des passations

pendant le confinement, les vacances et les weekends dans le service de l'hôpital Necker-Enfants Malades. Nous précisons tout de même que les passations ont été effectuées au tout début de la crise sanitaire ce qui ne soulève pas un effet attendu sur le développement des participants au moment de l'étude. Par conséquent, nous ne traitons pas les données au regard de la COVID-19 dans cette thèse.

En effet, ce travail de Doctorat de recherche m'a permis d'appréhender d'autres aspects de l'enfant HP et de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à son fonctionnement. De plus, j'ai eu l'opportunité d'affiner ma démarche clinique dans la conduite du bilan, de me former à la recherche et par la recherche, ainsi qu'à l'enseignement supérieur au sein de l'Université Paris Cité. J'ai parallèlement pu encadrer des stagiaires de psychologie dans l'équipe de l'INSERM (dirigée par la Professeure Vaivre-Douret). J'ai également eu l'opportunité de mieux appréhender la place de la famille, de l'environnement et de l'Éducation nationale dans l'identification du HP. Enfin, j'ai particulièrement appris sur la pertinence d'un bilan neuropsychomoteur et oculomoteur normé, rarement effectué auprès des enfants HP. Ce dernier doit être évidemment étayé par une réflexion clinique. Au total ma démarche pour mettre en place mon projet de recherche a été fructueuse et m'a fait prendre conscience de l'état du terrain.

Introduction

Le Haut Potentiel (HP) a très peu été étudié en tant que tel. En effet, la majorité des études s'intéresse au lien entre HP et troubles, alors que très peu portent sur le fonctionnement physiologique des enfants HP tout-venant. Cela même est lié à la définition très réductrice du HP qui gravite autour du Quotient Intellectuel (QI) égal ou supérieur à 130 (Wechsler, 2014), ainsi qu'au biais de représentativité puisque les échantillons étudiés sont souvent issus de consultations cliniques. Mais, il est à noter que le recrutement des enfants HP tout-venant est extrêmement difficile, puisqu'ils sont souvent repérés suite à une consultation pour des difficultés ou troubles, particulièrement les troubles d'apprentissage (Tordjman et al., 2018). En effet, un certain nombre de difficultés chez l'enfant HP réside dans le désintérêt et l'ennui face à un parcours qui ne correspondrait pas à son niveau de fonctionnement cognitif, pouvant créer un manque de stimulation. Dans ce contexte, il a été rapporté dans la littérature que l'environnement, l'expérience individuelle et les ressources motivationnelles, ainsi que les facteurs éducatifs auraient une influence positive sur l'expression du potentiel de l'enfant et inversement (Feinstein, 2003 ; Schick & Phillipson, 2009 ; Vaivre-Douret, 2002, 2004). C'est ainsi qu'un groupe de travail national, constitué de différents chercheurs, pédopsychiatres cliniciens, psychologues, directeurs d'écoles et associations, ont établi récemment un guide de repérage en 2019 (Vade-mecum). Si cette démarche a permis à l'Éducation nationale de considérer à nouveau ces enfants comme des élèves à besoins éducatifs particuliers, elle a aussi pointé la nécessité de travaux scientifiques pour combler le manque de connaissances sur ce que c'était réellement un Haut Potentiel tout-venant. En France, quelques départements universitaires ont manifesté un intérêt pour la recherche sur le Haut Potentiel, mais le nombre de thèses réalisées sur ce sujet reste très faible et la rareté des travaux scientifiques sur le HP constitue une difficulté majeure. Pourtant, repérer l'enfant HP est un défi pour les praticiens.

Au regard de tous ces éléments, nous avons essayé à travers ce travail de thèse d'éclaircir l'identification du HP. Ainsi, ce manuscrit portera dans un premier temps sur la présentation de l'état de l'art, suivi de notre problématique de recherche. Ensuite, nous présenterons la méthodologie, les résultats et la discussion de ces derniers. Ce travail se constitue de deux études principales. En effet, nous avons d'abord cherché

à comprendre le fonctionnement des enfants HP tout-venant non-consultants (n=50) appariés aux enfants non-HP tout-venant non-consultants (n=30), sur le plan neuropsychologique, neuropsychomoteur, neurovisuel et psycho-socio-affectif (Étude-1). Ceci nous a permis, grâce à des analyses multivariées, de mettre en évidence un certain nombre de marqueurs du HP. Ensuite, nous avons comparé deux groupes d'enfants avec trouble développemental de la coordination-(TDC/dyspraxies), antérieurement évalués par la WISC-IV^{FR} : enfants HP (n=19) et enfants non-HP (n=19) (Étude-2) afin d'éclaircir la question de la maladresse ou la dyssynchronie cognitive/psychomotrice des enfants HP, souvent avancées au sein de la clinique et de l'Éducation nationale. Enfin, l'ensemble des données analysées nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l'enfant HP tout-venant et de proposer un modèle théorique de son identification. Cette méthodologie que nous avons voulue, fine et rigoureuse, nous a permis d'enrichir une discussion sur les différentes caractéristiques du HP.

Revue de la littérature

Chapitre 1 : De la terminologie à la définition du Haut Potentiel

1. Historique de la terminologie et définition du Haut Potentiel

Dans la littérature, la terminologie du « Haut Potentiel » (HP) varie selon les concepts théoriques sous-jacents et n'a cessé d'évoluer depuis la première décennie du 20^e siècle. En effet, il est évoqué dans l'état de l'art différentes terminologies telles que « *surdoué* » (Renzulli, 1978) ; « *doué ou gifted* » (Binet & Simon, 1904 ; Gagné, 1985 ; Passow, 1981 ; Terman, 1925), « *talentueux* » (Gagné, 1985 ; Passow, 1981), *précoce* (Revol, 2011), « *intellectuellement doué ou intellectuellement précoce* » (De Craecker, 1951) , « *aux aptitudes hautement performantes* », « *à haut potentiel ou à hautes potentialités* » (Vaivre-Douret, 2002, 2004), « *à haut potentiel intellectuel* » (Hemptinne, 1979), « *zèbre* » (Siaud-Facchin, 2008), « *philo-cognitif* » (Nusbaum et al., 2019), « *sentinelle* » (Revol & Bléandonu, 2012), ou encore « *personne encombrée de surefficience mentale* » (Petitcollin, 2014). La majorité de ces terminologies fait écho à des limites liées notamment à la réduction du HP à des capacités intellectuelles éventuellement exprimées au niveau académique. Le « Haut potentiel intellectuel », sous-entend l'idée d'un don qui ne serait que génétique et ne prend donc pas en compte la composante environnementale dans le développement des potentialités du « *surdoué* », comme l'ont précisé Liratni et Pry (2012). Le terme « *enfant précoce* » souligne l'idée d'une avance de développement par rapport à une norme. Une idée qui est discutée, car la notion de précocité amène à percevoir le développement comme une ligne continue où la seule distinction serait la vitesse d'acquisition ou de développement (Liratni & Pry, 2012). Aujourd'hui, ces visions tendent à se modifier pour laisser place à une idée davantage pluraliste dans laquelle il existerait plusieurs trajectoires de développement.

L'absence de consensus quant à ces terminologies découle essentiellement de l'absence du phénotypage approfondi du HP, ce qui nous interroge sur la confusion dans laquelle pourraient se trouver les spécialistes lorsqu'il s'agit d'identifier un HP. Historiquement, ce sont des auteurs anglo-saxons qui ont été les pionniers dans ce domaine, s'intéressant pour la première fois à la notion du HP qui a vu le jour avec

Binet et Simon (1904), Hollingworth (1924, 1942) et Terman (1925) sous le néologisme « gifted », ayant pour traduction française « doué ». Terman (1925) mena les premières études longitudinales sur 1528 participants (671 filles et 857 garçons ; âge moyen 11 ans), identifiés comme HP dans les écoles de Californie (la moyenne du quotient intellectuel est de 150). À travers cette étude Terman (1925) a essayé d'investiguer les caractéristiques physiques et mentales des enfants HP afin de mieux entreprendre leur éducation et leur réussite scolaire. Concernant la terminologie française, c'est en 1946 que le neuropsychiatre Ajuriaguerra a employé le terme « surdoué » pour désigner l'enfant « *qui possède des aptitudes supérieures dépassant nettement la moyenne des capacités des enfants de son âge* » (Ajuriaguerra, 1959). Passow (1981) a également apporté un éclairage au champ du HP en utilisant le terme « don et talent » comme synonymes. Il a précisé ainsi que les enfants surdoués et talentueux sont ceux identifiés par des personnes professionnellement qualifiées, et grâce aux capacités exceptionnelles les rendant capables de hautes performances. Ce sont des enfants qui ont besoin de programmes et/ou de services éducatifs différenciés au-delà de ceux normalement fournis par le régulier programme scolaire. Selon lui, les enfants HP comprennent ceux qui montrent des capacités potentielles dans au moins l'un des domaines suivants : 1) capacité intellectuelle générale ; 2) aptitude académique spécifique ; 3) pensée créative ou productive ; 4) capacité de leadership ; 5) arts visuels et du spectacle ; 6) capacité psychomotrice. Il convient de noter que « la capacité psychomotrice » a été supprimée des domaines suggérés, ne laissant que cinq domaines dans la définition.

Au cours de notre analyse de la littérature, nous avons constaté que le terme « don » et « talent » ne sont pas forcément synonymes dans la nomenclature du HP, et qu'il existe une ambiguïté dans la distinction entre ces deux termes. En effet, Gagné (1985) distingue la douance du talent. Selon lui, la douance est associée à des domaines de capacités expliquant des performances exceptionnelles dans des domaines d'activités variés, c'est-à-dire des talents. Il explique que l'on peut être doué sans être nécessairement talentueux, mais pas l'inverse. Pour l'actualisation de la douance dans des talents spécifiques, plusieurs facteurs peuvent agir comme catalyseurs notamment la motivation et la qualité de l'environnement qui jouent un rôle fondamental (Gagné, 1985). Dix ans plus tard, Gagné (1995) précise que le "don" est la possession et l'utilisation d'une habileté dans un domaine et de performer dedans, alors que le talent serait plutôt une maîtrise supérieure et systématique des capacités

que l'on a développées. Ces domaines couvrent le champ « intellectuel », « créatif », « sensorimoteur », « socioaffectif » et « autres ».

Nous avons également constaté que la notion de « créativité » revient régulièrement dans les termes désignant le Haut Potentiel. Bien qu'elle occupe une place très importante dans la thématique du HP, la notion de « créativité » ne fera pas partie de notre protocole de recherche. Cela est essentiellement lié à la complexité et la multitude de nos variables. Historiquement, Binet s'est intéressé à la créativité dans sa quête de compréhension des processus psychologiques de l'être humain dès le début du 20^e siècle. Simon (1911) a défini la créativité comme étant « *un mélange d'imagination, de raisonnement et de bon sens* ». Cette notion a été également abordée par Sternberg et Lubart (1999), qui ont déterminé les trois facteurs de la créativité : 1) les facteurs cognitifs, rassemblant les connaissances et les capacités intellectuelles (pensée divergente, pensée convergente, flexibilité) ; 2) les facteurs conatifs qui correspondent aux traits de personnalité, en particulier la motivation ; 3) les facteurs environnementaux, liés au milieu dans lequel l'enfant évolue. D'autres auteurs ajoutent même le facteur émotionnel : « *avoir des émotions idiosyncrasiques ; être dans un état émotionnel positif par exemple contribue au potentiel créatif* » (Lubart et al., 2019). Ainsi, les enfants HP auraient de bonnes capacités d'adaptation et de flexibilité, c'est-à-dire qu'ils ont une pensée divergente plus développée que les enfants tout-venant. Autrement dit, ces enfants présentent de meilleures capacités à proposer des solutions alternatives face à un problème ou une situation nouvelle (Besançon et al., 2010). À l'inverse, les enfants HP non créatifs présentent de meilleures capacités de stockage en mémoire à long terme, un meilleur accès aux informations encodées (Besançon et al., 2010).

Guilford (1950) a d'ailleurs mis au point des épreuves évaluant la créativité par le biais d'épreuves faisant appel à la pensée divergente. Cela permet de différencier les personnes présentant des aptitudes créatives moyennes de ceux présentant un haut potentiel (créatif) (Torrance, 1974). Nous citons également « Evaluation of Potential Creativity ; EPoC » de Lubart et al. (2011) consistant en l'évaluation de la pensée divergente et convergente. Cette échelle est habituellement utilisée en France. Elle se compose de huit sous-tests permettant de générer quatre scores composites : 1) « *Graphique divergent* » une forme graphique est fournie à l'enfant qui doit faire autant de dessins que possible pour compléter la forme ; 2) « *Graphique Intégratif* » : un ensemble d'images d'objets est fourni à l'enfant qui doit produire un dessin complet

en utilisant au moins quatre des huit objets fournis ; 3) « *Divergent Verbal* » : il est demandé à l'enfant de générer plusieurs fins à une histoire ; 4) « *Verbaux intégratifs* » : générer une histoire complète basée sur des descriptions de plusieurs personnages fictifs fournies (Lubart et al., 2011). Deux autres formulaires sont disponibles (A et B) afin d'utiliser la batterie dans des contextes de test-retest, comme en situation d'avant et après l'intervention. Chaque tâche est standardisée en termes de limitation de temps, instructions et matériel fourni (Lubart et al., 2011). Toutefois, nous nous interrogeons sur la différence conceptuelle entre l'intelligence et la créativité. La littérature scientifique objective des corrélations faibles entre l'intelligence et la créativité (Lubart et al., 2019). À contrario, Fürst (2016) a précisé qu'en contrôlant les erreurs de mesure à travers l'utilisation des variables latentes, des corrélations satisfaisantes entre l'intelligence et la créativité ont été obtenues.

Au regard de tous ces éléments mettant en évidence différentes terminologies et une contradiction dans la littérature, nous nous retrouvons devant la difficulté d'opter pour un terme en particulier. La terminologie « HP » semble la plus appropriée pour notre étude, puisqu'elle sous-entend que le potentiel n'est pas uniquement intellectuel et n'est pas toujours pleinement exprimé. En effet, en dépit de l'évolution des terminologies désignant le HP, il n'existe pas, aujourd'hui, un consensus sur l'utilisation d'un terme précis. Ceci met les spécialistes (chercheurs et praticiens) devant la problématique d'opter pour une définition unanime. Il est alors beaucoup moins aisé qu'il n'y paraît de répondre à la question de définition du HP. Le terme « *à hautes potentialités* » proposé par Vaivre-Douret en 2002 aurait été plus approprié pour représenter l'ensemble des possibilités de potentialités.

1.1 La terminologie du Haut Potentiel dans le champ de l'Éducation nationale

Le champ de l'Éducation nationale en France a adopté d'abord la terminologie « Élève Intellectuellement Précoce (EIP) » puis la terminologie « Élève à Haut Potentiel (EHP) », qui apparaît dans le Code de l'Éducation nationale (Décret n° 2012-222 du 15 février 2012). Cette appellation a été choisie et utilisée jusqu'à aujourd'hui, et est officiellement employée sur le site du *Ministère de l'Éducation Nationale de la Jeunesse et des Sports*. Ainsi, l'Éducation nationale considère désormais les enfants

HP comme des élèves à besoins éducatifs particuliers. Ceci afin de leur permettre de s'épanouir et de développer pleinement leur potentiel selon l'article 63 de la loi n° 2019-791 du 26 juillet 2019, qui a permis à ces dispositions d'entrer en vigueur à la rentrée scolaire 2019. Cela a pu s'appliquer grâce au Vade-mecum ; guide de repérage établi en 2019 par le groupe de travail national (constitué de chercheurs, pédopsychiatres, psychologues cliniciens, directeurs d'écoles et des associations).

Il convient de souligner une évolution dans le champ de l'Éducation nationale durant les vingt dernières années, car ces enfants ont été ignorés jusqu'en 2002. En effet, c'est en Janvier 2002 que le rapport de l'inspecteur général de l'Éducation nationale, Jean-Pierre Delaubier, a été adressé à l'attention du Monsieur le Ministre de l'Éducation nationale. Ce rapport mettait en avant la particularité de ces enfants et leurs besoins éducatifs. Il a permis de déboucher d'abord sur la circulaire du 17 octobre 2007 intitulée « *Parcours scolaires des élèves intellectuellement précoces ou manifestant des aptitudes particulières à l'école et au collège* ». Cette circulaire s'intéressait particulièrement aux enfants HP en échec scolaire, encourageant l'amélioration de « *la détection de la précocité* », de « *l'information des enseignants et des parents sur le sujet* », et de « *l'organisation des systèmes d'information afin de quantifier le HP et de qualifier les situations* ». Ensuite, sur le « *Guide d'aide à la conception de modules de formation pour une prise en compte des élèves intellectuellement précoces* ». C'est en 2012 que le Code de l'Éducation nationale l'a intégré pour l'organisation de la formation au collège (Décret n° 2012-222 du 15 février 2012). Début 2019, dans le cadre du projet de loi pour une école inclusive, l'Éducation nationale publie le Vade-mecum (scolariser un élève à haut potentiel, 2019). C'est ainsi que trois principales mesures d'aménagements scolaires pour ces enfants ont été mises en place en France (Vrignaud, 2006) :

1) l'accélération : ce type d'aménagement est appliqué sur tous les cycles et peut être distingué en deux modalités : La première consiste à suivre le parcours scolaire plus rapidement que ne le prévoient les *curriculums*, appelée habituellement saut de classe. La deuxième encourage la scolarisation avec un *curriculum* typique, mais en un nombre d'années moindre (*programme télescopé*). Ce type d'aménagement reste le plus connu en France, mais plus aisément utilisé dans le privé que dans le public (Vrignaud, 2006). La demande est souvent exprimée par la famille ou par l'équipe pédagogique, mais la décision est prise en se basant sur l'ensemble d'informations sur l'aptitude globale de l'enfant à réussir ce parcours comme l'a bien

rappelé Vrignaud (2006). Ainsi, l'enfant est souvent évalué par le psychologue scolaire et/ou le médecin scolaire. Or, avant de prendre une décision sur un saut de classe chez un enfant HP, il est préférable d'investiguer le profil cognitif de l'enfant au regard de son développement et de son fonctionnement psychologique, en réalisant des évaluations pluridisciplinaires et approfondies qui sont censées s'effectuer par des spécialistes, notamment par un neuropsychologue, psychomotricien, pédopsychiatre, ergothérapeute, pédiatre (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020). En effet, un certain nombre de difficultés chez certains enfants HP réside dans le désintérêt et l'ennui face à un parcours qui ne correspondrait pas à leur niveau de fonctionnement cognitif, pouvant créer un manque de stimulation. Dans ce contexte, il a été rapporté dans la littérature que l'environnement, l'expérience individuelle et les ressources motivationnelles, ainsi que les facteurs éducatifs auraient une influence positive sur l'expression du potentiel de l'enfant et inversement (Feinstein, 2003 ; Schick & Phillipson, 2009 ; Vaivre-Douret, 2002, 2004).

2) Les classes et programmes spéciaux portant essentiellement sur la personnalisation du programme éducatif pour les enfants HP.

3) L'enrichissement : appelé également « *individualisation du parcours* » avec un approfondissement des matières dans lesquelles l'élève est particulièrement brillant. Dans ce contexte, Vrignaud (2006) a fait une comparaison pertinente et a considéré qu'il s'agit d'un aménagement adéquat au même titre que les classes préparatoires aux grandes écoles. Il s'agit d'un programme dédié aux HP qui est basé sur le même principe (sélection de 10% des dossiers de demande d'accès aux sections scientifiques). Il précise par ailleurs qu'il existe une réticence à l'encontre de ces différentes mesures pédagogiques mises en place en France. Cela découle de la complexité du HP et du manque de consensus sur ce qu'est réellement le HP. Ces mesures montrent que les enfants HP ont bien besoin d'un programme scolaire aménagé. Cela apparaît paradoxal avec ce que pourrait représenter le Haut Potentiel, souvent lié à des hautes performances intellectuelles avec un QI très élevé. En effet, bien que le QI soit le meilleur prédicteur de la réussite scolaire et professionnelle (Borghans, et al., 2016), il pourrait cependant masquer des troubles des apprentissages chez les enfants HP (Tordjman et al., 2018 ; Vaivre-Douret et al., 2020 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020). De plus, le QI élevé peut aussi masquer des difficultés émotionnelles et/ou sociales (Boschi et al., 2016 ; De Lassalle et al., 2021 ; Gauvrit & Guez, 2018 ; Guérolé et al., 2015 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020 ;

Weismann-Arcache, 2006). Cependant, le HP n'est aucunement un facteur de risque pour la réussite scolaire selon Gauvrit (2021). L'étude rétrospective de Gauvrit et Guez (2018) souligne une corrélation significative et positive entre le niveau de QI et la réussite aux examens du brevet. Cette étude a utilisé une base de données de la Direction de l'Évaluation, de la Prospective et de la Performance (DEPP) constituée de 26957 élèves HP français. Une autre étude (Guez et al., 2018) atteste aussi du lien significatif et positif entre l'intelligence et la réussite académique chez les enfants HP. Les auteurs affirment que cette corrélation est similaire entre les garçons et les filles, infirmant un effet du genre. Par ailleurs, Tursz et Vaivre-Douret (1999) précisent que les enfants HP peuvent présenter des troubles des apprentissages diminuant leurs QI,

Tous ces éléments nécessitent de porter une attention particulière sur les instruments de mesure de l'intelligence, en passant d'abord par la définition de cette notion qui est au cœur de la thématique du HP.

2. Principaux modèles définissant l'intelligence

2.1. Modèle basé sur la théorie factorielle de Spearman

La notion de « l'intelligence » a rendu curieux différents acteurs, autant des philosophes que des psychologues praticiens, mais aussi des physiciens et des chercheurs. Spearman (1904), psychologue anglais, a présenté aux enfants six épreuves différentes recouvrant le domaine du vocabulaire, de la représentation spatiale, des mathématiques, de la reconnaissance des couleurs, des sons, et des capacités à suivre des instructions. Il s'est ensuite basé sur une procédure analytique faisant appel à l'analyse factorielle pour analyser les résultats obtenus à ces différentes épreuves. En ayant obtenu des corrélations significatives entre toutes ces épreuves, il a avancé l'idée d'un « facteur G » faisant écho à une dimension générale fondamentale de l'intelligence, ce qui s'inscrit dans une théorie factorielle de l'intelligence. Plus précisément, malgré la spécialité dans l'un ou l'autre de ces domaines (e.g. verbal, spatial), l'enfant aurait davantage de bons résultats dans les autres domaines et inversement selon Spearman (1904).

Toutefois, si l'analyse factorielle met en exergue des liens entre toutes les épreuves, ces corrélations ne sont pas parfaites, et chaque épreuve reste néanmoins indépendante des autres. Il parlera alors des facteurs spécifiques. Ainsi, l'intelligence apparaît plutôt comme une notion inscrite dans une approche unitaire avec une

caractéristique générale qui déterminerait des performances s'exprimant dans tous les domaines. Cette approche, jugée très réductrice et unitaire, considère l'intelligence comme la capacité cognitive à établir des liens logiques avec un raisonnement déductif et inductif et les appliquer indépendamment des connaissances. C'est pourquoi l'épreuve des matrices de Raven (Raven, 1941) a été pendant longtemps utilisée pour quantifier ce facteur G reflétant l'intelligence. Cette épreuve ne fait pas appel aux connaissances, mais fait intervenir la logique et le raisonnement sur du matériel visuel faisant appel aux aptitudes visuospatiales qui sont particulièrement corrélées au facteur G (Spearman, 1904). Bien que ce modèle fut le pionnier permettant l'émergence d'autres théories de l'intelligence, il soulève néanmoins quelques biais méthodologiques pouvant entraver la possibilité de généraliser ce modèle à nos jours. Tout d'abord, ce modèle ne prend pas en compte les éventuels moyens de compensations que pouvaient avoir ces enfants, ce qui pourrait tout à fait contribuer à un facteur G corrélé aux autres domaines. De plus, la conception de ce modèle a été faite en se basant essentiellement et de façon exclusive sur des épreuves globales qui n'expliquent pas toutes les sphères du fonctionnement sous-jacent notamment la sphère socio-psycho-affective, neurovisuelle, oculomotrice, ou encore neuromotrice.

2.2. Théorie multifactorielle de l'intelligence de Thurstone

Thurstone (1973), psychologue américain, dans la même quête de compréhension de la conception de l'intelligence, a créé une batterie de soixante épreuves différentes pour les faire passer à deux cent étudiants. À l'aide de l'analyse factorielle, il générera également un modèle de l'intelligence, mais qui sera complètement différent de celui de Spearman, causant un grand débat entre Anglais et Américains. En effet, Thurstone a rendu compte de sept facteurs principaux indépendants : 1) Vitesse perspective ; 2) Numérique ; 3) Fluidité verbale ; 4) Verbal ; 5) Spatial ; 6) Mémoire ; 7) Raisonnement. L'ensemble de ces facteurs donnera alors naissance à la théorie multifactorielle de l'intelligence. Thurstone affinera son modèle en approfondissant ses analyses et montrera vingt aptitudes mentales, qu'il nommera « Primary Mental Abilities (PMA) ». Cela donnera par la suite cinq scores, car il s'apercevra que les épreuves des PMA mesurent en réalité 5 PMA différentes. Il apparaît que ce modèle inscrit la notion de « l'intelligence » plutôt dans une approche multidimensionnelle contestant complètement le modèle de Spearman (1904).

Tous ces travaux ont eu un réel impact sur l'évolution de la notion de « l'intelligence », mais les innovations de Thurstone (1973) ont été à la base de l'émergence d'autres modèles hiérarchiques, postulant sur le principe de l'intelligence pluraliste et multiple. Cette théorie fait consensus entre les chercheurs et les praticiens jusqu'à aujourd'hui. Néanmoins, quelques limites sont à discuter pour chaque modèle, ce que nous ferons au fur et à mesure de la présentation de ces derniers. En France, Zazzo (1945) a utilisé la notion « des intelligences » à la place de « l'intelligence » suite à ses travaux auprès de sa patiente âgée de 12 ans. Cette dernière avait des difficultés de lecture à cause d'un trouble touchant le domaine visuospatial, alors qu'elle avait un QI de 120. Zazzo (1945) a commencé alors à inscrire sa pratique dans une approche pluraliste de l'intelligence.

2.3. Modèle des intelligences multiples de Gardner

Gardner (1993), psychologue du développement, proposa pour la première fois la théorie des intelligences multiples en 1983, qu'il enrichira en 1993. Selon Gardner, l'intelligence est « *une capacité ou un ensemble d'aptitudes qui permet à une personne de résoudre des problèmes ou de concevoir un produit* ». Gardner a défini ainsi neuf

types d'intelligence : 1) l'intelligence verbo-linguistique ; 2) l'intelligence spatiale ; 3) l'intelligence logicomathématique ; 4) l'intelligence corporelle kinesthésique ; 5) l'intelligence musicale-rythmique ; 6) l'intelligence inter-personnelle ; 7) l'intelligence intra-personnelle ; 8) l'intelligence naturaliste écologiste ; 9) l'intelligence existentielle-spirituelle. En effet, Gardner (1993) ne parlera plus de l'intelligence, mais des intelligences puisqu'il considère que ces dernières peuvent être indépendantes les unes des autres. Toutefois, ce modèle est fondé essentiellement sur la base de ses propres observations empiriques sans validation scientifique, elles n'ont pas été soumises au principe de la réfutabilité ni d'examen par les pairs, soulignant des limites quant à l'application de cette théorie. Bien que Gardner (1993) ait été conscient des limites de sa théorie, il a avancé néanmoins des arguments défendant la conception de son modèle. D'un côté, il s'est basé sur les courants neurologiques postulant qu'il existe des patients cérébrolésés ayant des capacités cérébrales préservées. Selon lui, si l'intelligence était un facteur général unitaire, alors ces patients auraient perdu toutes leurs capacités cognitives, même si la lésion concerne uniquement une région en particulier.

D'un autre côté, Gardner (1993) a précisé qu'il existe des sujets qui se distinguent par des performances excellentes dans un domaine spécifique, rendant compte de l'indépendance des domaines d'intelligence. Cela nous fait penser aux footballeurs, acteurs, scientifiques, ou encore les musiciens. Cependant, se spécialiser dans un domaine donné n'est peut-être pas forcément synonyme d'une indépendance entre les domaines de l'intelligence. En effet, être excellent dans le domaine de la musique par exemple, demanderait d'excellentes fonctions sous-jacentes (exemple : planification, flexibilité cognitive, créativité, prise d'initiative, motivation, des traits de personnalité, etc.) (Gagné, 2009). Enfin, il s'est basé sur ses observations relevant de la psychologie développementale pour expliquer qu'il existe des individus ayant un retard de développement global, mais avec certaines capacités préservées, voire très performantes. Ce constat pourrait également être vu dans le sens inverse ; c'est-à-dire qu'il n'est pas impossible que ces individus soient au même niveau d'intelligence dans tous les domaines, mais qu'à cause de ce retard qui touche le développement en particulier, ils ont finalement un profil dissocié avec des capacités excellentes d'un côté et un trouble de l'autre côté (retard de développement). De plus, il est possible que ces sujets compensent justement grâce à leur intelligence générale.

2.4. Modèle de Cattell-Horn-Carroll (CHC)

Le modèle de Cattell-Horn-Carroll, appelé également le modèle CHC des aptitudes cognitives, est le modèle le plus dominant actuellement dans les théories de l'intelligence. Il décrit l'intelligence sous forme d'une structure hiérarchique avec des facteurs étroits prédisant des facteurs cognitifs plus globaux, qui eux-mêmes prédisent le facteur général d'intelligence. Ce modèle tient son nom d'une combinaison du modèle de Cattell et Horn sur l'intelligence fluide (Gf) et l'intelligence cristallisée (Gc) (Cattell, 1941 ; Horn & Cattell, 1966), et du modèle hiérarchique à trois strates de l'intelligence (Carroll, 1993). Ce dernier est le fruit de 460 méta-analyses factorielles (Carroll, 1993). Depuis sa création, le modèle CHC a été étayé par différents auteurs (McGrew & Wendling, 2010 ; Schneider & McGrew, 2012) (figure 1). En effet, ce modèle a tenté de réconcilier les théories unitaires et multifactorielles de l'intelligence ; Carroll (1993) a mis en exergue, grâce à l'analyse factorielle, une construction sous forme de pyramide rendant compte de la distribution des aptitudes cognitives. À la base de cette pyramide se trouve une quarantaine de facteurs très spécifiques. Une deuxième strate de la pyramide est constituée d'une génération de huit facteurs inter-corrélés (capacités cognitives larges) et une troisième strate, au sommet de la pyramide, correspond à un facteur général qui fait référence aux capacités générales.

Plusieurs années après les travaux de Carroll (1993), Flanagan et ses collaborateurs ont tenté d'enrichir ce modèle (Flanagan et al. 2013). Ils identifient ainsi 10 facteurs généraux et plus de 70 facteurs spécifiques (Flanagan et al. 2013). Ces 10 facteurs généraux sont : 1) intelligence cristallisée (Gc) ; 2) intelligence fluide (Gf) ; 3) Traitement visuel (Gv) ; 4) Mémoire à court terme (Gsm) ; 5) Vitesse de traitement (Gs) ; 6) Traitement auditif (Ga) ; 7) Vitesse de réaction (Cds) ; 8) Aptitudes à récupérer des informations à long terme (Glr) ; 9) Connaissances quantitatives (Gq) ; 10) Capacités de lecture et d'écriture (Grw). McGrew (1997) a également essayé d'améliorer ce modèle en y considérant les capacités de traitement sensoriel, tactile, kinesthésique, et olfactif. Il a également porté une attention particulière à la connaissance du domaine psychomoteur (Gp) et la vitesse psychomotrice (Gps) (figure 1).

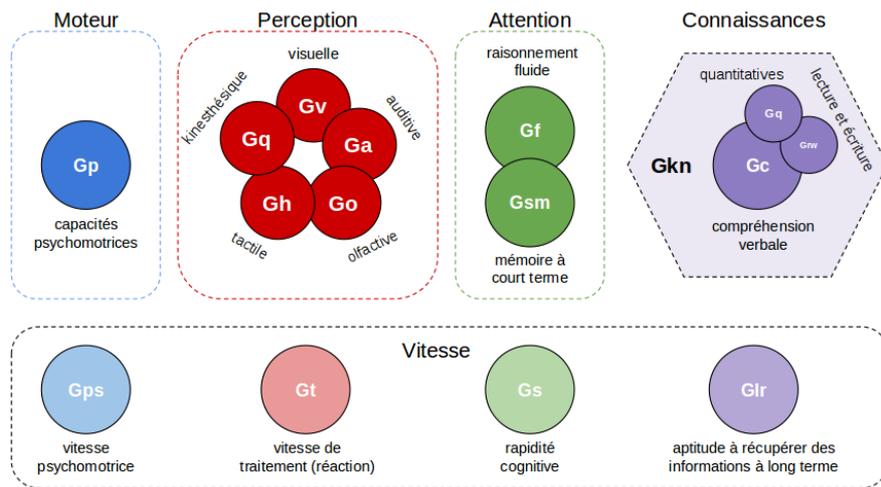


Figure 1. Les facteurs principaux du modèle CHC selon l'extension des grandes fonctions cognitives (McGrew, 1997)

Bien que le modèle CHC soit considéré comme étant « *la théorie psychométrique la plus complète et la plus empiriquement étayée de la structure des capacités cognitives* » (McGrew, 2005, p. 185), l'interprétation du facteur g reste néanmoins discutée. De plus, bien que le modèle CHC fasse consensus chez les spécialistes, l'approche psychométrique reste l'objet de débats scientifiques et divise les chercheurs encore aujourd'hui. En effet, quelques limites ont été soulignées notamment au niveau méthodologique : le modèle CHC a été initialement utilisé pour développer le test d'habiletés cognitives (Woodcock Johnson Test ; Woodcock, 1997), ce dernier même a été utilisé comme argument pour enrichir le modèle CHC. De plus, bien que l'analyse factorielle soit considérée comme une méthode adéquate pour l'élaboration d'une théorie telle que celle du modèle CHC, elle présente toutefois des limites statistiques importantes suscitant des inquiétudes quant aux fondements empiriques de ce modèle (McGill & Dombrowski, 2019). Ceux-ci incluent l'utilisation de petits échantillons non représentatifs entraînant une puissance insuffisante, la généralisation du modèle en dépit des problèmes d'ajustement global, l'absence d'examen des modèles concurrents plausibles, l'intérêt restreint uniquement pour les différences interindividuelles (McGill & Dombrowski, 2019).

En dépit de ces limitations, le modèle CHC reste le relatif consensus faisant l'unanimité entre les cliniciens. Il a d'ailleurs fortement influencé l'élaboration des dernières éditions des tests psychométriques, notamment les dernières échelles de Wechsler (que nous détaillerons plus loin) et la 4^{ème} version du K-ABC II (Kaufman & Kaufman, 1983). Si les recherches scientifiques commencent de plus en plus à

s'intéresser au domaine de l'intelligence et plus particulièrement au HP, il reste toutefois un champ d'investigation scientifique relativement pauvre et la littérature est relativement récente dans ce domaine. En trente-neuf ans, elle a donné naissance à cinq principaux modèles théoriques : le modèle de Gagné (1985), le modèle de Renzulli (1978), le modèle triarchique de Sternberg et al. (1996), le modèle de Munich (Heller & Perleth, 2008), et le modèle synthétique de Cuche (2014).

3. Principaux modèles du Haut Potentiel

3.1. Modèle différenciateur de la douance et du talent (MDDT) de Gagné

Gagné (1985) a porté une attention particulière sur la confusion sémantique entre « don » et « talent » et a considéré que la définition du haut potentiel nécessite d'abord une meilleure compréhension de ces deux termes. Il définit ainsi la douance comme étant « *la possession et l'utilisation d'habiletés naturelles remarquables, appelées aptitudes, dans au moins un domaine d'habileté, à un degré tel qu'elles situent l'individu au moins parmi les 10% supérieurs de ses pairs en âge* ». Ainsi, le « don » correspond à un potentiel naturellement élevé (haut potentiel). Le talent serait « *la maîtrise remarquable d'habiletés systématiquement développées, appelées compétences (connaissances et habiletés pratiques), dans au moins un champ de l'activité humaine, à un niveau tel que l'individu se situe parmi les 10% supérieurs de ses pairs en âge, actifs ou ayant été actifs dans ce champ* ».

On constate que les deux définitions reprennent le seuil de 10% supérieur d'une population, ce qui nous questionne sur les arguments de ce choix adopté par l'auteur dans l'identification de ces enfants. En effet, Gagné (1985, 2008) s'est posé la question « *Combien de personnes sont douées et/ou talentueuses ?* », mais il s'est vite rendu compte que cette question ne comporte pas de réponse et que l'identification d'un seuil approprié exige un consensus entre les professionnels. Néanmoins, il avance l'idée que les personnes qui appartiennent au 10% supérieur d'un groupe de pairs du même âge sont considérées comme « douées » dans le cadre du MDDT. Ce choix qu'il considère « *génereux* » n'est pas basé sur une analyse psychométrique mais simplement un choix de l'auteur sans validation (Gagné, 2008). Il a ainsi proposé cinq niveaux hiérarchiques, composés chacun du 10% supérieur du niveau précédent, qui

se nommeront respectivement douance (ou talent) léger (10% supérieur), modéré (1% supérieur), élevé (1 000), exceptionnel (10 000), et extrême ou profond (100 000) (Gagné, 2008). Le modèle de Gagné s'inscrit dans une approche développementale puisqu'il définit le « doué » ou « surdoué » comme un individu possédant les capacités de transformation progressive des dons en talents. Ainsi, son modèle est composé de trois composants : 1) douance (G), 2) talent (T), et processus développementaux (D), constituent la base du MDDT (figure 2). Deux composants additionnels viennent compléter la structure de ce modèle : 1) catalyseurs intra-personnels (I), 2) catalyseurs environnementaux (E). Il existe donc des facteurs personnels et environnementaux modérant le passage du « don » au « talent ». Le modèle de Gagné (2009) inclut deux domaines dans la définition du « don » lié à des habiletés naturelles intrinsèques au HP : le domaine mental (intellectuel, créatif, social et perceptuel) et le domaine physique (musculaire et contrôle moteur) (figure 2). Cette composante suggère une harmonie entre le développement cognitif/affectif et moteur (Gagné, 2009), contrairement à la théorie de Terrassier (1979, 2002, 2005, 2018, 2020), psychologue clinicien, suggérant une dyssynchronie entre le développement cognitif et le développement affectif et moteur. Nous analyserons plus loin de façon plus détaillée les études de Terrassier.

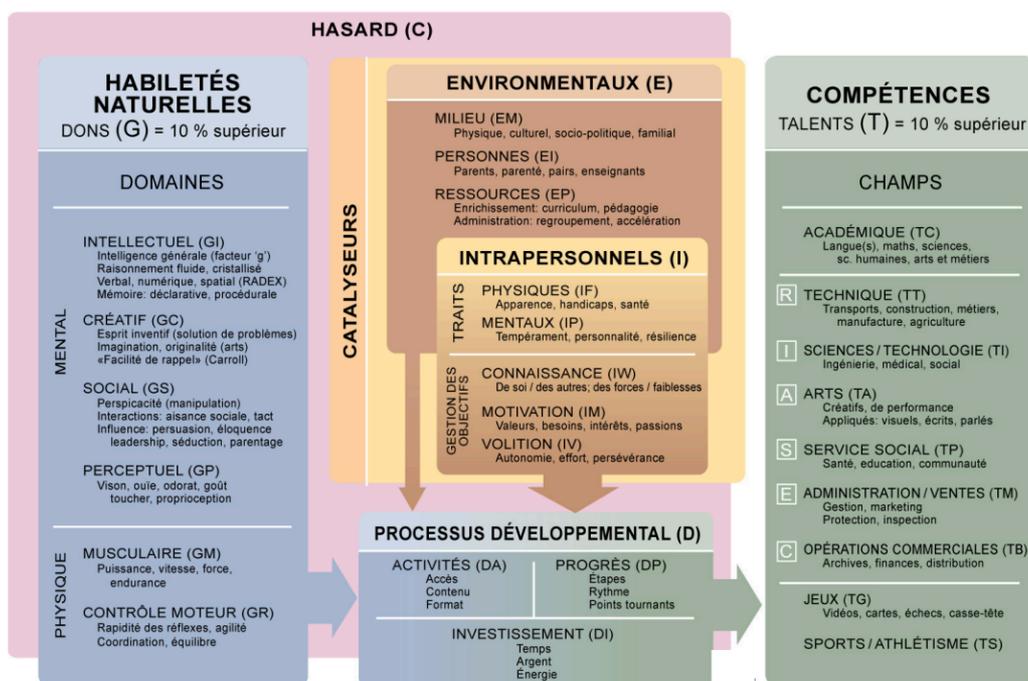


Figure 2 : Le MDDT (Gagné, 2009)

3.2. Modèle des trois anneaux de Renzulli

Renzulli (1978, 2002, 2011) a proposé le modèle « *Three Rings Model* » qui s'inscrit dans une approche pluraliste de l'intelligence. Renzulli a fait évoluer le concept du HP par ses travaux qui ont commencé à voir le jour en 1978, il a mis en exergue les trois composantes déterminant le HP : 1) des aptitudes intellectuelles au-dessus de la moyenne ; 2) un engagement dans la tâche évoquant des traits de personnalité tels que la volition, la persévérance, et la motivation ; 3) la créativité. Il précise que le HP serait le résultat d'une interaction entre ces trois composantes. Il différencie ainsi deux types d'intelligences : l'intelligence académique qui s'appuie sur les bonnes capacités de stockage et les facteurs de personnalité cités précédemment. Il a précisé que les enfants qui développent une interaction entre ces composantes ont besoin d'un plus large panel d'opportunités et de services qui ne leur sont pas encore fournis par les programmes communs. Ceci évoque que le HP nécessite un programme d'éducation adapté. D'ailleurs, c'est depuis les années soixante-dix, qu'une étude menée en réponse à un mandat du Congrès aux États-Unis, a montré que l'éducation différenciée pour ces enfants est perçue comme une faible priorité au niveau fédéral et au niveau des gouvernements locaux, alors que les services d'une éducation nationale adaptée pour les enfants HP peuvent produire des résultats significatifs (Marland, 1971). Ainsi, des programmes éducatifs spéciaux pour les enfants HP au-delà de ceux normalement fournis par le système régulier ont été fortement recommandés.

3.3. Modèle du HP Triarchique de Sternberg

Sternberg, psychologue cognitiviste américain, aura également beaucoup apporté à cette quête de compréhension de l'intelligence en général et à la compréhension du phénomène du HP plus précisément. Initialement, le modèle théorique de Sternberg a vu le jour dans le cadre de compréhension de l'intelligence chez l'être humain, mais il sera utilisé plus précisément plus tard dans le champ du HP (Sternberg et al., 1996). Ce modèle se base sur des approches multidimensionnelles notamment la psychologie cognitive pour les processus cognitifs impliqués dans le traitement de l'information, en passant par la psychologie clinique interculturelle,

mettant en lumière l'automatisation des conceptions implicites de l'intelligence. Le modèle triarchique de Sternberg a eu une attention particulière sur le QI relevant de la psychologie psychométrique, en rendant compte du développement des opérations logiques permettant de résoudre des problèmes, ce que nous devons à la psychologie cognitive développementale proposée par Piaget (1847). Ainsi, il a mis en évidence trois domaines principaux de l'intelligence : 1) Intelligence dite composantelle faisant appel au raisonnement analytique ; 2) Intelligence contextuelle ; 3) Intelligence créative. Le premier type d'intelligence, selon ce modèle, reflète un aspect plutôt interne et se subdivise en trois composantes principales : a) les métacomposantes faisant référence à la métacognition et la capacité de conscientiser ses propres processus cognitifs ; b) les composantes de rendement faisant référence aux opérations du traitement de l'information ; c) les composantes d'acquisition de compétences faisant référence aux capacités de codage et d'analogie.

Sternberg a précisé dans son modèle qu'uniquement cette composante est mise en évidence lorsque l'on parle de QI et reflète une intelligence académique. Le deuxième type d'intelligence reflète, selon le modèle triarchique, un aspect plutôt externe correspondant aux capacités d'adaptation avec l'environnement. Le troisième type d'intelligence, lui, s'inscrit plutôt dans un aspect expérientiel selon Sternberg et al. (1996) faisant le lien entre les apprentissages assimilés par un individu et la capacité de traitement de l'information lors d'une nouvelle situation. Nous constatons que ces trois types d'intelligence, censés être indépendants, sont finalement liés car l'aspect interne module très fortement les deux autres aspects. De plus, ce que ce modèle considère comme intelligence créative emprunte finalement à la neuropsychologie faisant référence aux fonctions exécutives gérées par un réseau neuronal, ce dernier est connu pour sa complexité rendant l'indépendance des fonctions difficile. Néanmoins, ce modèle a permis de considérer le HP dans une approche pluridisciplinaire et de ne plus le réduire à la valeur du QI uniquement. L'originalité de son approche a suscité l'intérêt des scientifiques, mais la validation de sa théorie n'a pu être étayée par des données empiriques.

3.4. Modèle de Munich du don et du talent

Le modèle de Munich du don et du talent (Heller & Perleth, 2008) est un modèle développemental se basant sur l'intelligence multifactorielle. Ce modèle met en

évidence sept aptitudes s'inscrivant dans un réseau de relations qui est modulé par la personnalité et l'environnement : 1) les aptitudes intellectuelles, 2) les aptitudes créatives, 3) les aptitudes artistiques, 4) les aptitudes musicales, 5) l'intelligence pratique, 6) les compétences sociales, 7) les aptitudes kinesthésiques. Heller & Perleth (2008) précisent qu'un haut niveau de fonctionnement dans une ou plusieurs de ces aptitudes est un facteur prédictif du talent dans un des huit domaines de performances suivants : 1) mathématiques, 2) sciences naturelles, 3) informatique, 4) langues, 5) arts, 6) technologies, 7) relations sociales, 8) sport. Ainsi, ce modèle fait la différence entre le « Don » qui est considéré ici comme les sept aptitudes fondamentales du fonctionnement, et le « talent » faisant référence aux 8 domaines d'expression des dons. Un haut fonctionnement dans une ou dans plusieurs de ces aptitudes à caractère inné « don » est donc optimisé par les caractéristiques de personnalité et de l'environnement, ce qui permet l'expression du haut potentiel dans l'un ou l'autre des domaines cités ci-dessus « talent ». Nous pouvons constater que ce modèle n'est pas très différent du modèle de Gagné (détaillé ci-dessus) ; étant donné que les deux théories insistent sur l'importance de l'environnement et des caractères personnels dans le développement du haut potentiel qui aurait une base biologique innée.

3.5. Modèle synthétique du Haut Potentiel Intellectuel (MSHPI) de Cuche

Le modèle de Cuche intègre les deux modèles précédents (modèle de Munich et de Gagné), et tente de synthétiser la compréhension du HP en proposant une théorie qui n'associe pas le HP au caractère inné, mais plutôt à des habiletés qui se développent et que l'on mesure (Cuche, 2014). Ces habiletés seraient basées sur les fonctions cognitives sous-jacentes telles que l'attention, la mémoire de travail, la mémoire à long terme, le contrôle inhibiteur, la planification, la flexibilité cognitive, la vitesse de traitement, la perception, le langage. Ces fonctions qui sous-tendent des capacités se transforment en réalisations grâce à deux facteurs modérateurs : 1) environnementaux notamment le contexte d'apprentissage, contexte éducatif et scolaire, environnement familial ; 2) individuels tels que les traits de personnalité, motivation, implication, sentiment personnel d'efficacité (Cuche, 2014).

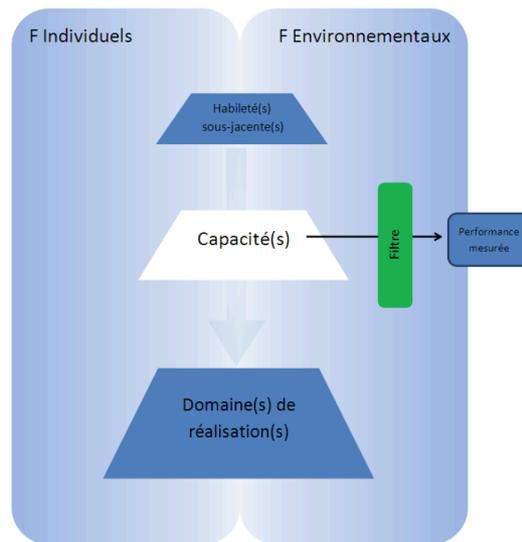


Figure 3 : Modèle synthétique du Haut Potentiel (MSHPI) de Cuche (2014)

La motivation est d'ailleurs considérée comme un type de Haut Potentiel à part entière par certains auteurs (Gottfried & Gottfried, 2004). Dans le modèle de Renzulli (1978, 2002, 2011), la motivation prend même une place centrale. Selon Renzulli, réaliser des productions exceptionnelles est le fruit du Haut Potentiel, qui est lui-même le fruit de l'interaction entre les capacités intellectuelles supérieures à la norme, la créativité et l'engagement dans la tâche. Celle-ci sous-tend divers aspects motivationnels tels que la persévérance, les exigences vis-vis de soi-même, l'intérêt, l'autonomie, l'ambition, l'enthousiasme, la capacité de travail et le besoin d'accomplissement. De plus, les perspectives développementales tiennent également compte des dimensions cognitives et motivationnelles (Gagné, 2009 ; Heller & Perleth, 2008 ; Ziegler, 2005). En revanche, la fonction neuromotrice a occupé peu de place dans ces modèles théoriques, alors que les résultats des études issues principalement de neurosciences et de recherche clinique appliquée montrent l'intérêt de mener des investigations dans le domaine moteur chez l'enfant HP (Biswas et al., 2007 ; Navas-Sánchez et al., 2014 ; Stoeger & Ziegler, 2013 ; Vaivre-Douret, 2004, 2011 ; Ziegler & Stoeger, 2010).

Résumé du chapitre 1 : De la terminologie à la définition du Haut Potentiel :

En dépit des différents modèles théoriques, il existe une absence de consensus quant à la terminologie du HP. De plus, la question de définition reste encore non résolue à ce jour. Néanmoins, la quasi-totalité de ces modèles s'accorde sur l'idée que le QI, reflétant les aptitudes intellectuelles supérieures, serait au cœur de la définition du HP. Or, l'ensemble des définitions existantes et des modèles affirment le caractère insuffisant de l'évaluation psychométrique basée uniquement sur le QI lorsqu'il s'agit d'identification du HP. L'environnement et les liens entre des facteurs intrinsèques (physiques, traits de personnalités, motivation, volition, persévérance, etc.) et d'autres facteurs dits extrinsèques (milieu favorable, éducation nationale adaptée, etc.) sont également des éléments récurrents dans la littérature lorsqu'il est question de Haut Potentiel. Bien que les recherches scientifiques commencent de plus en plus à s'intéresser au domaine du HP, il reste un champ d'investigation scientifique relativement pauvre. Les modèles existants qui sont principalement cognitifs apportent des informations importantes quant à la compréhension du HP. Néanmoins, ils méritent d'être enrichis par des analyses transversales/cliniques et par l'étude des corrélats cérébraux et des bases neurophysiologiques impliquées dans le développement cognitif, moteur et psycho-affectif du HP.

Chapitre 2 : Caractéristiques cognitives du Haut Potentiel

1. Caractéristiques psychométriques du Haut Potentiel

1.1. Instruments de mesure de l'intelligence

Étant donné l'importance de la notion d'intelligence dans le HP, il s'avère essentiel d'en identifier les instruments de mesure afin de mieux comprendre le HP et de mieux l'identifier. En effet, selon l'approche psychométrique, l'intelligence est quantifiable donnant lieu à un seuil de référence, ce qui renvoie à la notion de la norme. Selon cette approche rigoureuse, explicite et objective, les cliniciens peuvent calculer mathématiquement un quotient intellectuel (QI). Binet (1903) est le pionnier dans la mesure de l'intelligence et la mesure des fonctions supérieures. L'application de son échelle métrique s'est concrétisée dans le test Binet et Simon (1904), avec le calcul d'un QI global faisant référence à un indice unique du développement mental où l'âge mental est corrélé à l'âge chronologique : $[QI = \text{âge mental} / \text{âge chronologique} * 100]$. Cette échelle avait initialement pour objectif principal d'identifier les enfants avec déficience intellectuelle. Cela lui a permis de constater qu'il existait des enfants neurotypiques, des enfants avec un déficit intellectuel, mais aussi des enfants avec une intelligence supérieure (Binet & Simon, 1904). C'est à la suite de cela que « la douance » fut liée au QI chez les enfants au même titre que les adultes.

Wechsler, peu satisfait de cette évaluation de l'intelligence et étant en accord avec Terman, a montré que la notion d'âge mental ne pouvait s'appliquer à des individus âgés de plus de 16 ans en raison des biais liés au « vieillissement ». Il a ainsi proposé une nouvelle échelle adaptée qu'il appellera Wechsler-Bellevue en 1939 (Watson, 1946) et qui deviendra la « *Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS)* » (Wechsler, 1955). Ainsi, depuis le début du 20^e siècle, le développement des outils de mesure de l'intelligence n'a cessé d'intéresser les chercheurs. Il existe ainsi des centaines d'instruments permettant la mesure de l'intelligence en fonction de l'âge, nous avons sélectionné les plus utilisés tels que le K-ABC II (Kaufman & Kaufman, 1983), WPPSI-IV (Wechsler, 2012), NEMI-2 (Cognet, 2007), SB5 (Roid, 2003), WISC-

V (Wechsler, 2014). Nous détaillerons uniquement les deux dernières batteries étant les plus communément utilisées (SB5 dans les pays anglo-saxons et WISC-V en France).

1.1.1. L'échelle de l'intelligence de Standfort-Binet-5ème

L'échelle de l'intelligence de Standfort-Binet-5^{ème} édition a été élaborée à l'origine par Terman, puis a été développée et normée sur un échantillon aléatoire de 4800 sujets aux États-Unis. Ainsi, la distribution des scores de cette échelle suit une loi normale, et le seuil d'identification du HP est à 130 (Roid, 2003). Elle est constituée de 5 indices : 1) raisonnement fluide ; 2) connaissance ; 3) raisonnement quantitatif ; 4) traitement visuo-spatial ; 5) mémoire de travail. Elle est basée sur le modèle CHC (Carroll, 1993). Chacun de ces cinq indices est constitué de deux sous-tests (verbal et non-verbal), qui sont eux-mêmes constitués de cinq ou six subtests. L'ensemble permet de générer un QI total (QIT) correspondant au facteur G du modèle CHC. La batterie complète prend entre 45 et 75 minutes à administrer, la batterie abrégée peut prendre entre 15-20 minutes en moyenne. L'échelle présente une fiabilité interne très élevée pour le QIT à tous les âges ($r=0.97-0.98$), la fiabilité du QI verbal ($r=0.95$) et non-verbal ($r=0.96$) est également élevée (Roid, 2003). La validation de l'échelle a pris 7 ans en se basant sur le modèle CHC, les conseils des experts tels que Carroll et Horn, des analyses factorielles, et la modélisation des éditions d'essai (Roid, 2003). La standardisation est basée sur l'échantillon cité ci-dessus, mais également sur 1365 sujets avec des diagnostics cliniques notamment difficultés d'apprentissage, troubles moteurs, trouble du spectre de l'autisme (TSA), trouble déficitaire d'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), et sujets HP (Roid, 2003).

1.1.2. Les échelles de Wechsler

Les échelles les plus utilisées aujourd'hui pour déterminer le QI notamment en France sont les échelles de Wechsler. Elles sont développées en fonction de l'âge, par exemple l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants (Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-4th Edition) (WPPSI-IV) pour les enfants âgés de 2 ans et demi à 7 ans 7 mois (Wechsler, 2012) ; (Wechsler Intelligence Scale for Children-5th edition) (WISC-V) pour les sujets âgés de 6 à 16 ans 11 mois (Wechsler,

2014) ; et l'échelle d'intelligence de Wechsler pour adulte (Wechsler Adult Intelligence Scale-4th Edition) (WAIS-IV) pour les sujets âgés de plus de 16 ans (Wechsler, 2008). Depuis la création de ces échelles en 1939, elles ont évolué d'une version à une autre, mais il est à noter une continuité dans la nature des tâches et leur difficulté, permettant une stabilité plus ou moins relative. Cela permet de comparer les scores de performances dans des cohortes au cours du temps (Grégoire, 2020). Étant donné que notre étude est basée sur les enfants d'âge scolaire, nous détaillerons uniquement la WISC-V. Cette échelle a été traduite et adaptée en France (WISC-V^{FR}) en 2016 (Wechsler, 2016), sur un échantillon d'étalonnage de 1100 sujets. Les indicateurs de consistance interne attestent d'une fiabilité élevée ($r=0.80-0.91$), la fidélité test-retest est également élevée ($r=0.87-0.93$) (Wechsler, 2016). Elle est constituée de cinq indices principaux : Indice de compréhension verbale (ICV) ; Indice Visuospatial (IVS) ; Indice de Raisonnement Fluide (IRF) ; Indice de Mémoire de Travail (IMT) ; Indice de Vitesse de Traitement (IVT ; à différencier de la vitesse de traitement de l'information cognitive que nous détaillerons dans la partie du développement cognitif chez l'enfant HP). En effet, l'IVT, contrairement à son appellation, n'implique pas uniquement la vitesse de traitement, mais aussi la mémoire visuelle à court terme, la capacité d'apprentissage, la vitesse psychomotrice, la coordination visuomotrice, la perception visuelle, la motivation, et l'attention/concentration (Code). De plus, l'IVT prend en compte le contrôle inhibiteur, la discrimination visuelle, la vitesse psychomotrice, l'attention visuelle soutenue et la concentration (Symboles) (Wechsler, 2016). Chacun de ces indices est constitué de deux subtests principaux que nous avons résumé dans la figure 4 ci-dessous. Le praticien peut également générer cinq indices complémentaires : Raisonnement Quantitatif (IRQ) ; Mémoire de Travail Auditive (IMTA) ; Non Verbal (INV) ; Aptitude Générale (IAG) ; Compétence Cognitive (ICC) (Wechsler, 2016).

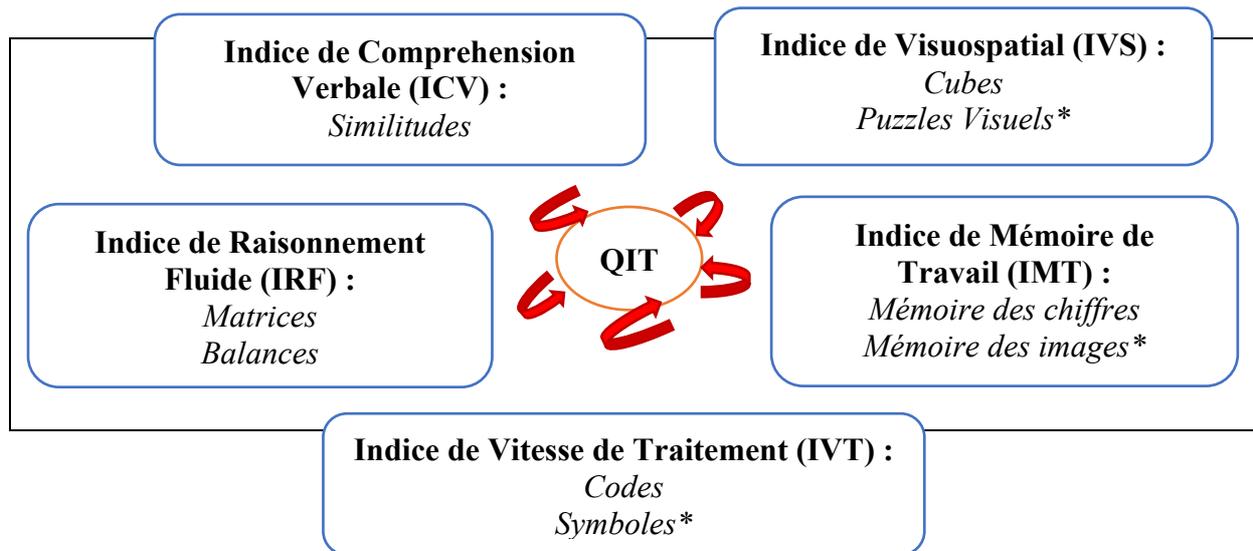


Figure 4: Structure métrique de l'échelle WISC-VFR (Wechsler, 2016).

La cotation de l'échelle est sous forme de scores standards avec une moyenne = 100 et un écart-type = 15 pour les indices, une moyenne = 10 et un écart-type = 3 en intra-scalaire, la distribution des scores suit une loi normale (Wechsler, 2016). On distingue ainsi différents niveaux de QI selon la courbe de Gauss (figure 5) : la norme : $80 \leq \text{QIT} \leq 119$; la moyenne : $90 \leq \text{QIT} \leq 109$; la déficience intellectuelle : $\text{QIT} \leq 69$ (-2 écarts-types) ; et le HP ≥ 130 (+ 2 écarts-types). Le QIT au WISC-V^{FR} se situe entre 40 et 160. Le calcul du QIT doit prendre en compte l'erreur type de mesure (=3.29 points), nécessitant la prise en compte de l'intervalle de confiance de part et d'autre de la moyenne. À un intervalle de confiance de 90%, la marge d'erreur est de 5.4 points de QI. Ainsi, si le score calculé par le praticien est de 130, il existe 90% de probabilité que le score noté se situe entre 125 et 135 (Wechsler, 2016). Les normes ont été constituées à partir d'un échantillonnage aléatoire (représenté en courbe de normalité ; figure 5) en tenant compte de l'âge, du sexe et de la zone géographique du domicile. Dans les versions précédentes du WISC (WISC-R, WISC-III et WISC-IV), la catégorie socioprofessionnelle des parents a été prise en compte. Dans la cinquième version du WISC, cette variable a été remplacée par le niveau d'étude des parents. Grégoire (2020) affirme que les échantillons d'étalonnage des différentes versions du WISC garantissent une bonne représentativité de la population française de 6 à 16 ans.

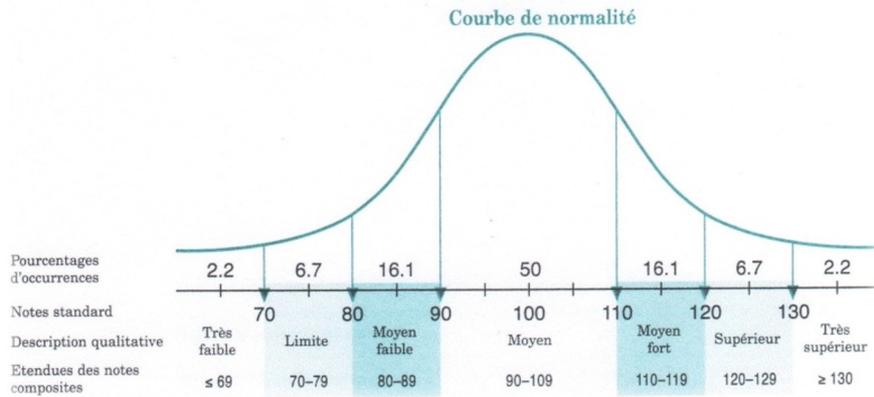


Figure 5: Courbe gaussienne de normalité (Wechsler, 2016)

La nouveauté majeure de cette 5^{ème} version du WISC réside dans deux éléments pertinents. Premièrement, contrairement à la WISC-IV qui était validée sans modèle théorique, la WISC-V s'ancre dans le modèle CHC (Terriot & Ozenne, 2015). Deuxièmement, en lien avec cette base théorique, la 5^{ème} version propose une évaluation plus spécifique de l'intelligence fluide (Gf), étant différenciée de l'intelligence visuospatiale (Gv) (Grégoire, 2017). Ainsi, l'Indice de Raisonnement Perceptif (IRP) est supprimé donnant lieu à deux indices distincts (IVS et IRF). Cette nouvelle structure rend compte d'une meilleure correspondance entre les cinq indices principaux de la WISC-V et les facteurs de première strate du modèle CHC (figure 6) (Terriot & Ozenne, 2015). Cependant, Lecerf et Canivez (2018) ont suggéré une dominance de l'intelligence générale reflétée par la QIT, qui représente l'aptitude intellectuelle générale et qui est corrélée au facteur G du modèle théorique CHC (Carroll, 1993 ; Wechsler, 2016). Ainsi, ils conseillent aux psychologues de mettre l'accent sur ce facteur pour interpréter le WISC-V^{FR}. De plus, une récente étude d'analyse factorielle sur l'échelle WISC-V^{FR} a révélé que les scores IVS et IRF sont trompeurs, car leur analyse ne supporte pas la distinction entre ces deux facteurs (Lecerf & Canivez, 2021). Ces auteurs précisent que leurs résultats ne rejettent pas la distinction théorique entre IVS et IRF, mais qu'une telle distinction n'est pas fournie par WISC-V^{FR}. De plus, il est important de préciser que le WISC-V rend essentiellement compte de l'intelligence fluide et cristallisée ainsi que des capacités visuospatiales, mais moins des capacités praxiques, car uniquement le subtest « Cubes » fait appel à

la manipulation visuo-spatio-constructive (Hamdioui et al., 2022 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2022 ; Vaivre-Douret, 2019, 2020 ; Wechsler, 2016).

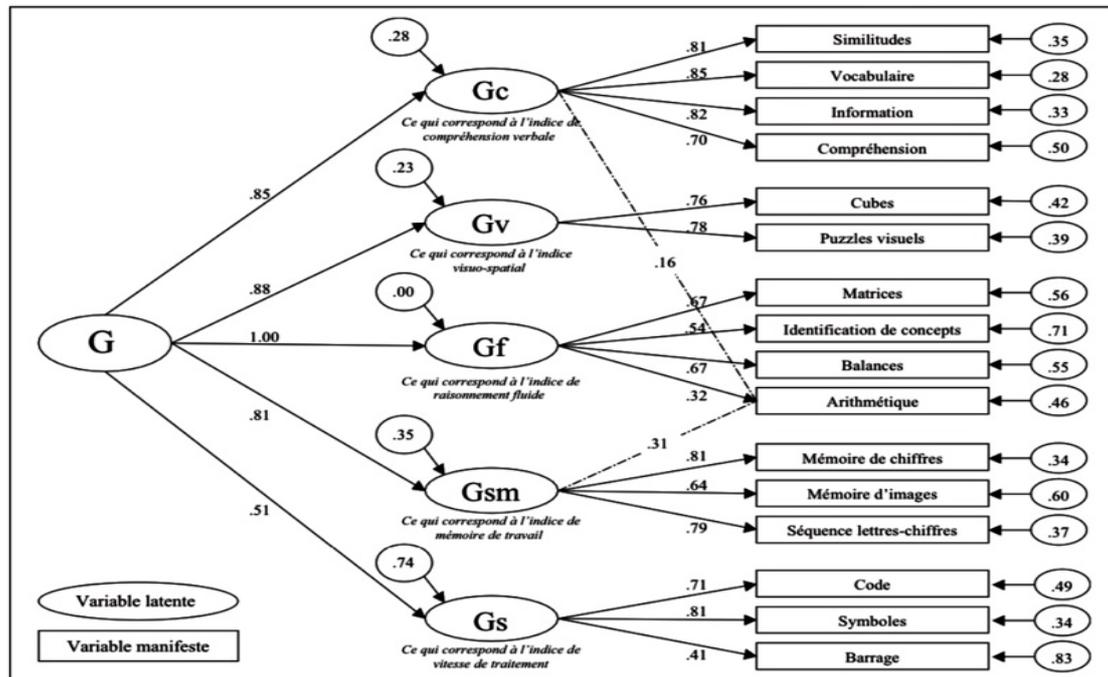


Figure 6: Correspondance entre les 5 indices principaux de la WISC-V et les facteurs du modèle CHC (Terriot & Ozenne, 2015).

1.2. La norme du Haut Potentiel selon l'approche psychométrique

Bien qu'il soit réducteur, le quotient intellectuel (QI) est au cœur de la définition officielle utilisée au niveau national et international pour identifier les enfants HP. Le seuil de QI requis dans les études varie entre 120 (Cook et al., 2020 ; Rost & Czeschlik, 1994 ; Wellisch et al., 2011), 125 (Loureiro et al., 2009 ; Suprano et al., 2019), 130 (Bucaille et al., 2020 ; Caroff, 2004 ; Swanson, 1992 ; Webb, 1974 ; Willerman et al., 1991). Une étude rétrospective suisse a montré récemment que dans les services de consultations universitaires le nombre d'enfants HP varie entre 18% et 46% selon le seuil de QI pris en considération (120-135) (Quartier et al., 2019). Gross (2000), quant à lui, distingue six niveaux de Haut Potentiel : léger ($115 \leq QI \leq 129$) ; modéré ($130 \leq QI \leq 144$) ; élevé ($145 \leq QI \leq 159$) ; exceptionnel ($160 \leq QI \leq 179$) ; profond ($QI \geq 180$). Cette classification rencontre sa limite avec l'échelle de WISC-V^{FR} puisque le QIT maximal à cette version est de 160. Tordjman et Kermarrec (2019) évoquent que certains professionnels tiennent compte de l'intervalle de confiance à 90% (probabilité

que le score noté se situe entre 125 et 135 avec la prise en compte d'erreur type) considérant ainsi le HP à partir d'un $QI \geq 125$. De plus, ces auteurs rappellent que d'autres professionnels considèrent que le QI doit être au moins à 135 voire même >140 pour parler du HP « *comme c'est le cas en Chine où le nombre d'enfants ayant un QI de 130-140 est si élevé que le seuil retenu a dû être monté au-dessus de 140 afin de garantir la faisabilité de la mise en place de programmes adaptés aux enfants HP* » (Tordjman & Kermarrec, 2019). Ici, force est de constater d'ores et déjà que les facteurs environnementaux et culturels (que nous détaillerons plus loin) ont un impact dans la considération du QI représentant le HP. Généralement la définition qui fait consensus dans la littérature internationale aujourd'hui est celle qui se base sur l'utilisation du QI total (QIT) ≥ 130 (+2 écarts-types) à tout âge. Cette définition se base sur le test psychométrique de Wechsler (Wechsler, 2016). Cela représente 2,2% de la population générale selon la courbe de Gauss (Wechsler, 2016). Cette définition gravite autour de celle de Wechsler qui définit l'intelligence comme étant « *la capacité complexe ou globale de l'individu d'agir dans un but déterminé, de penser rationnellement et d'avoir des rapports efficaces avec son environnement* » (Wechsler, 1944). Face à ces constats, il apparaît important de mener des investigations plus fines permettant de définir le seuil réel du HP en analysant les différents profils, en prenant en compte l'ensemble des fonctions neurologiques, et en considérant les enfants HP avec des troubles pouvant interférer avec les indices du QI et par conséquent diminuer le QIT.

De plus, différentes études longitudinales basées sur le suivi du développement des enfants ont montré une grande variation du QI à l'âge préscolaire. Par exemple, Cahan et Gejman (1993) ont essayé d'étudier la constance du QI (un nouveau test administré après un à quatre ans du premier test) chez 161 enfants israéliens, identifiés HP au WISC-R (Wechsler, 1974), recrutés dans un programme de jeunes talents, âgés entre 4-5 et 14 ans, sans troubles avérés. Ils ont confirmé que 86% des enfants HP suivis de la maternelle à la quatrième ont été identifiés comme HP également lors du nouveau test de QI (les différences absolues moyennes = 5 à 8 points) mais à partir de l'âge de 7 ans. Une autre étude (Klonoff, 1972) sur 173 enfants typiques avec 2% d'enfants HP, âgés de 5 à 13 ans, basée sur une évaluation au WISC-R (Wechsler, 1974), à trois reprises consécutives à un an d'intervalle, a montré que généralement le QI était stable (différence mineure et non significative de cinq points environ) à partir de l'âge de 7 ans environ sans différence significative entre les

garçons et les filles. Cette étude a d'ailleurs insisté sur l'importance de la prise en compte de la maturation et des différences individuelles dans l'évaluation du QI. L'âge de 7 ans apparaît alors comme seuil important pour l'évaluation des fonctions cognitives. Il fait d'ailleurs référence au début du stade des opérations mentales selon Piaget (1947, 1952), ce que nous détaillons plus loin. Par ailleurs, Vaivre-Douret (2004) a expliqué que l'éducation de certains enfants (identifiés HP à l'âge de 2 ans environ) a déjà été orientée vers des apprentissages essentiellement cognitifs. Ceci les a conduits à une renonciation au jeu, provoquant une angoisse considérable voire un développement disharmonieux. Elle rappelle d'ailleurs l'importance du jeu dans le développement harmonieux des enfants, qu'ils soient HP ou non ; « *Faire corps avec sa tête ; il ne faut pas sauter l'enfance de ces enfants-là* » (Vaivre-Douret, 2004). Étant donné que la différence entre les tests de QI est très importante et n'est stable qu'à partir de l'âge de 7 ans, étant donné l'importance de l'environnement et du jeu dans le développement de l'enfant, il ne serait donc pas judicieux de mener des évaluations de QI avant cet âge pour identifier le HP. Il est aussi moins pertinent d'annoncer cela aux parents, car cela pourrait déclencher des attentes pouvant influencer négativement le développement de l'enfant.

Par ailleurs, cette définition du HP basée essentiellement sur le seuil requis de 130, elle prend le risque de laisser de côté des enfants HP pour différentes raisons. Premièrement, depuis 1999, Tursz et Vaivre-Douret attirent l'attention des pouvoirs publics sur le HP, en affirmant que ces enfants peuvent présenter des troubles des apprentissages diminuant leur QI (Tursz & Vaivre-Douret, 1999). D'autres études font le constat de difficulté à considérer le seuil requis de 130 notamment chez des enfants HP ayant des troubles d'apprentissage ou psychologiques (Boschi et al., 2016 ; Guérolé et al., 2015 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020, 2021, 2022 ; Loureiro et al., 2009, 2013 ; Tordjman & Kermarrec, 2019 ; Tordjman et al., 2018 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020 ; Vaivre-Douret, 2019, 2020). Terriot (2018), psychologue français de l'Éducation nationale et chercheur, évoque également la difficulté de considérer cette définition basée sur le QI (≥ 130), notamment dans le cas de profil hétérogène avec un seul indice supérieur à 130. Il avance, à partir d'une revue de littérature, l'idée que dans le cas de troubles, cette considération du HP reste valable même si un seul indice est égal ou supérieur à 130. En revanche, lorsque l'enfant ne présente pas de troubles pouvant diminuer un ou des indices et par conséquent le QIT, la définition du HP exclut l'idée d'obtenir un seul indice (souvent l'ICV) supérieur à 130. Dans ce sens, il attire

l'attention des praticiens qui tentent selon lui de « *contourner cette difficulté* » d'interprétation en évoquant « *Haut Potentiel Verbal* », car cela mène à une confusion autant pour l'enfant que pour sa famille, mais aussi pour les écoles (Terriot, 2018). Tordjman et al. (2018) ont également évoqué « *le haut potentiel verbal* » dans leur étude faisant référence aux enfants HP avec un $ICV \geq 130$. Cette étude s'est appuyée sur un échantillon de 611 enfants HP français en difficulté, recrutés dans le centre national d'aide pour enfants et adolescents HP (CNAHP), et ayant profité de différentes évaluations notamment cognitives, psychoaffectives et comportementales. Les auteurs ont montré des scores significativement plus élevés à l'auto-questionnaire d'anxiété (Revised Children's Manifest Anxiety Scale : R-CMAS) chez ces enfants HP avec un $ICV \geq 130$. Ceci affirme un lien significatif entre ce qu'ils ont appelé « *Haut Potentiel Verbal* » et les troubles anxieux. Ils ont apporté une explication à cette relation significative portant sur le fait qu'un « *Haut Potentiel Verbal peut susciter des représentations anxiogènes, tout comme des troubles anxieux pouvant entraîner un surinvestissement défensif du langage verbal* » (Tordjman et al., 2018). Toutefois, les auteurs recommandent des investigations approfondies afin d'éviter toutes relations de causalités linéaires.

Deuxièmement, le QIT minimal de 130 soulève quelques limites psychométriques. En effet, les échelles d'évaluations qui mesurent le QI (particulièrement l'échelle de Wechsler) présentent des limites à l'identification des enfants à HP ; son usage étant destiné à une population dite « tout venant », on peut observer un manque de fidélité et de validité du test, car les qualités psychométriques sont peu connues pour les sous-groupes (Pereira-Fradin et al., 2010). De plus, les tâches proposées dans les tests de QI se rapprochent de la pensée convergente et donc mesurent la capacité à produire une seule bonne réponse. Or dans la vie quotidienne, nous sommes amenés à essayer plusieurs solutions pour parvenir au bon résultat, c'est la créativité selon Besançon et al. (2010). D'après Sternberg et Lubart (1999) ce sont les fonctions exécutives en interaction avec les facteurs conatifs (traits de personnalités, motivation, etc.) et environnementaux comme nous l'avons déjà précisé dans le premier chapitre. Troisièmement, on peut s'attendre à un manque de sensibilité du test, en ce qui concerne les notes extrêmes (Caroff, 2004). Quatrièmement, nous constatons que la moyenne du QI de l'échantillon des enfants HP inclus dans cette version ne respecte pas le critère d'inclusion, à savoir $QI \geq 130$, et qu'aucun des indices n'est à ce seuil consensuel de 130. Cependant, cette 5^{ème}

version a une utilité clinique renforcée dans l'évaluation du fonctionnement cognitif général de l'enfant, notamment dans le cadre de particularité de profil avec des difficultés ou des troubles des apprentissages, ou encore dans l'identification de l'impact des lésions cérébrales sur les processus cognitifs (Grégoire, 2019). Par exemple, la moyenne de l'échelle totale (QIT_M) dans l'échantillon ($n=95$) est de 127.5 ; $ICV_M = 127.7$; $IVS_M = 121.2$; $IRF_M = 120.3$; $IMT_M = 117.9$; $IVT_M = 112.9$ (Wechsler, 2016). Pourtant, les critères d'inclusion de ce groupe dans le manuel d'interprétation du WISC-V^{FR} (Wechsler, 2016, p. 136), indiquent les critères suivants : *être âgé de 6-16 ans, avoir obtenu une note d'Échelle Totale ≥ 2 écarts-types au-dessus de la moyenne à une mesure standardisée administrée individuellement des aptitudes cognitives (ce qui correspond à un $QI \geq 130$) ; recevoir une aide sur le plan scolaire pour personne à Haut Potentiel*. Cela nous interroge sur des éventuels troubles d'apprentissage nécessitant la mise en place de ces aides. Il n'est donc pas surprenant de trouver des subtests plus ou moins effondrés engendrant un profil hétérogène.

Tous ces éléments nous amènent à nous questionner sur l'interprétation du QI en fonction de la distribution des indices. À quel point le critère du $QI=130$ est-il sensible pour repérer les enfants HP ? Qu'en est-il des profils hétérogènes avec un seul indice atteignant le seuil 130 ? Il apparaît important de mener des investigations plus fines permettant de définir le seuil réel du HP en analysant les différents profils, en prenant en compte l'ensemble des fonctions neurologiques, et en considérant les enfants HP avec des troubles pouvant interférer avec les indices du QI et par conséquent diminuer le QIT.

1.3. Comment interpréter le profil du QI au WISC-V : hétérogénéité ou dysharmonie

Rappelons que le QI (échelles WISC-III et WISC-IV) était considéré comme hétérogène à partir de 15 points de différence entre l'indice le plus élevé et le plus faible (Wechsler, 1974). Grégoire (1998) considérait 12 points comme seuil significatif de l'hétérogénéité, ce qui restait un phénomène fréquent (40 % de la population générale) contre un tiers de la population générale avec un écart de 15 points. Une différence de 20 points était rare puisqu'elle n'apparaissait que pour un sixième de la population. Le profil au WISC-V^{FR} en vigueur (Wechsler, 2016) est considéré comme hétérogène à partir de 23 points lorsque l'on considère la différence maximale entre

l'indice le plus élevé et l'indice le plus faible selon Labouret et Grégoire (2018). Ces auteurs expliquent qu'une différence de 23 points n'est atteinte que par 8 à 18 % de la population, selon les scores des indices. Néanmoins, lorsque tous les indices sont pris en compte, 52.8% de la population atteint la différence de 23 points. Ainsi, ces auteurs défendent l'idée que l'écart des scores d'indice dans la population française, sans trouble, est fréquent. Cependant, cette population n'a été testée que par le WISC-V^{FR} sans aucun test supplémentaire pouvant attester de l'absence ou de la présence de particularités ou de troubles associés. Kaufman et al. (2015) attestent également qu'une dissociation de 23 points entre les indices est courante aussi bien dans la population normative que dans la population clinique incluant les enfants HP, ce qui est d'ailleurs très étonnant puisque le HP n'est pas une maladie ni un trouble (Tordjman et al., 2018). Par ailleurs, Grégoire (2017) affirme que dans la majorité des cas, les profils de QI sont hétérogènes et qu'il existe des écarts importants entre les indices et entre les subtests. L'auteur a précisé que certains de ces écarts méritent de retenir notre attention et d'être interprétés, mais pas d'autres. Grégoire (2017) a ainsi proposé la méthode suivante concernant la WISC-V^{FR} pour vérifier l'hétérogénéité de profil de QI : calculer la moyenne des scores aux cinq indices du WISC-V^{FR}, puis la différence entre les scores de chaque indice et cette moyenne. De plus, l'erreur de mesure est prise en compte en se référant au manuel du WISC-V^{FR}, qui fournit les valeurs seuils à partir desquelles il est pertinent de prendre en compte les différences observées et de les interpréter (forces/faiblesses). Selon Grégoire (2017), entre un cinquième et un quart des enfants de l'échantillon présentent des scores qui s'écartent significativement de la moyenne des cinq indices. Parmi eux, seulement 34.8% ne présentent aucun écart significatif entre chaque indice et la moyenne des cinq indices (Grégoire, 2017). Ce n'est qu'à partir de trois dissociations significatives (trois scores s'écartant significativement de la moyenne) que les profils deviennent plus rares (7%) (Grégoire, 2009).

La question du degré d'homogénéité requis pour prendre en compte le QI total comme étant une mesure pertinente reste encore discutée (Labouret & Grégoire, 2018 ; Lynne et al., 2015). Chez les enfants HP, une dissociation significative entre les scores d'indices apparaît plus fréquemment observée (Silverman & Gilman, 2020 ; Benbow & Minor, 1990, Watkins et al., 2002 ; Winner, 2000), mais il apparaît nécessaire de mener des investigations pour mieux comprendre cette hétérogénéité. Selon Sweetland et al. (2006), ces enfants réussissent significativement mieux tous

les subtests de l'échelle du WISC, mais certains d'entre eux montrent une dissociation significative entre les scores verbaux et les autres scores (Sweetland et al., 2006). Les résultats des enfants HP pour les scores d'indice ICV, IVS et IRF sont élevés avec un IMT et un IVT inférieurs, bien que ces derniers scores d'indices soient généralement plus élevés que ceux des enfants neurotypiques sans HP (Rowe et al., 2010 ; Wechsler, 2016). Da Costa et Lubart (2016) ainsi que Pereira-Fradin et al. (2010) attestent également que les enfants HP présentent des scores supérieurs à l'ICV et des scores un peu moins élevés aux autres indices. Terrassier (1979, 2002, 2005) a toujours évoqué une « *dyssynchronie verbale-performance* » comme étant une caractéristique des enfants HP. Cette dyssynchronie, qui est considérée comme la norme chez les enfants HP, selon Terrassier, serait le reflet d'un écart moyen de QI verbal-QI performance, aux versions antérieures de la WISC, autour de 14 points en faveur du QI verbal, ce qui était considéré comme hétérogénéité.

Globalement, si nous considérons la disparité d'indices et les capacités cognitives élevées, jugées plus présentes dans la population des enfants HP, il serait plus judicieux selon Newman et al. (2008), Pariera-Fradin (2010) et Watkins et al. (2002) de considérer l'Indice d'Aptitude Générale (IAG) pour identifier ces enfants au WISC-V. Cet indice présente une bonne stabilité et fiabilité (Wechsler, 2016 ; Pierson et al., 2012). Rappelons qu'il se calcule sur la base des cinq subtests suivants : Cubes + Similitudes + Matrices + Vocabulaire + Balances, excluant Mémoire des chiffres et Codes par rapport au QIT (Wechsler, 2016). Ainsi, nous déduisons que les processus attentionnels et graphomoteurs, qui sous-tendent les subtests Mémoire des chiffres et Codes (Wechsler, 2016), pourraient constituer une particularité influençant l'homogénéité du profil de QI, et par conséquent la représentativité des capacités cognitives des enfants HP par le QIT. D'autres auteurs ont essayé de pallier à ces difficultés d'interprétation du QI en cas d'hétérogénéité des profils en affirmant que l'IAG est plus adapté dans l'identification du HP (Caroff, 2004 ; Prifitera et al., 1998). Toutefois, si l'IAG est apprécié dans la littérature comme un indice plus représentatif que le QIT en cas d'hétérogénéité, ce dernier ne doit pas être considéré comme ininterprétable ou incalculable, mais seulement insuffisant pour refléter les capacités cognitives globales de l'enfant (Flanagan & Alfonso, 2017).

Dans cette quête tentant de mieux comprendre le HP et mieux l'identifier, une étude française récente (Aubry & Bourdin, 2018), basée sur un échantillon de 117 enfants HP (âge moyen = 10 ans ; écart-type = 1.03 ; 74% de garçons) et 52 enfants

neurotypiques (âge moyen = 10 ans ; écart-type = 2.66 ; 79% de garçons), a essayé d'analyser les données du WISC-V afin de déterminer les meilleurs subtests prédictifs du HP. Les auteurs n'ont pas explicité les lieux de recrutement de leur échantillon. Aubry et Bourdin (2018) ont proposé, grâce à la méthode validation d'échelle, une version abrégée du WISC-IV permettant de mieux identifier les enfants HP selon les auteurs. Ils ont montré qu'une version à deux subtests (similitudes + matrices) et une version à quatre subtests (similitudes + vocabulaire + matrices + cubes) sont les plus efficaces pour identifier les enfants HP au WISC-IV (Wechsler, 2005). Si des scores supérieurs à ces subtests s'avèrent être les plus prédictifs du Haut Potentiel, il ne s'agit néanmoins pas des mêmes composantes puisqu'il ne s'agit pas des mêmes processus cognitifs et neurologiques impliqués. De plus, cette méthode risque d'ignorer d'autres fonctions cognitives qui mériteraient, dans certains cas, une interprétation clinique. Au niveau méthodologique, cette étude relève quelques limites notamment au niveau des critères d'inclusion : le seuil de QI requis ($QIT_M=125$) ne respecte pas le seuil consensuel de 130 et les données sont issues, de manière anonyme, des archives de différents psychologues cliniciens (Aubry & Bourdin, 2018). Les enfants de la cohorte d'Aubry et Bourdin (2018) étant initialement consultants, les résultats ne peuvent être généralisés sur la population générale d'enfants HP puisqu'il s'agit d'un biais de représentativité.

Grégoire (2009) a également proposé une version abrégée du WISC basée sur quatre subtests (*similitudes + matrices + séquence lettres/chiffres, symboles*) qui sont les plus fidèles et les mieux corrélés avec le QIT selon Grégoire (2009). De la même façon que dans la version abrégée d'Aubry et Bourdin (2018), si cette version permet sans doute de gagner plus de temps en termes de passation du test, elle laisserait certainement de côté plusieurs informations cliniques qui permettraient peut-être une interprétation sur les points forts et les points faibles du profil cognitif de l'enfant. Par ailleurs, dans le cadre du questionnement sur l'intérêt d'un saut classe pour un enfant HP, Terrassier (1976, 2005, 2012, 2018) a proposé « *le QI compensé* ». Il consiste à évaluer le niveau des réponses de l'enfant en fonction de l'âge moyen des élèves qu'il va rejoindre dans la classe supérieure en prenant une avance scolaire, et non pas en fonction de son âge réel. Terrassier se base sur sa théorie de « *la dyssynchronie intellectuelle/psychomotrice et affective* » qu'il considère systématique chez tous les enfants HP pour créer ce « *QI compensé* ». Terrassier (2002, 2005) atteste que le QI compensé est généralement inférieur de 10 à 15 points au QI standard. L'auteur

estime qu'un QI compensé ≥ 115 est le meilleur indicateur dans le cas de HP notamment lorsqu'il est question de saut de classe, car ce seuil permet selon l'auteur de renseigner sur une aisance de l'enfant à l'école (Terrassier, 2002, 2005).

Labouret et Grégoire (2018) précisent que la caractéristique d'hétérogénéité de profil psychométrique (WISC-V^{FR}) plus prononcée et récurrente chez les enfants HP, n'est pas propre à ces enfants, mais plutôt à l'outil d'évaluation destiné aux enfants tout-venant, non spécifique aux enfants HP. Il est étonnant cependant de constater que dans l'adaptation française de l'outil réalisée sous la houlette de Grégoire (Wechsler, 2016) n'inclut pas un échantillon représentatif des enfants HP puisqu'aucun des indices n'est au seuil consensuel de 130 (QIT_M=127.5) (comme déjà mentionné plus haut). Ainsi, il serait souhaitable d'envisager un nouvel étalonnage sur un échantillon représentatif des enfants HP afin d'investiguer cette hétérogénéité au WISV^{FR}. Par ailleurs, Labouret et Grégoire (2018) nuancent ce constat d'hétérogénéité de profil qui serait fréquente chez les enfants HP, en précisant qu'il n'est pas retrouvé à un seuil de 130 au QI, mais qu'il existe une corrélation significative et positive entre le QI élevé et l'hétérogénéité ; plus le QI est élevé plus l'hétérogénéité est significativement importante (Labouret & Grégoire, 2018).

Nous pouvons constater que cette explication inscrit le HP dans une approche continue et non catégorielle. Si nous défendons cette idée, il serait plus pertinent de ne pas se contenter du QIT, peut-être trop réducteur, et de considérer la variabilité des indices du profil, notamment l'intervalle de confiance, les indices complémentaires, la courbe de Gauss, les éléments d'anamnèse, ainsi que d'autres tests et questionnaires complémentaires (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020, 2022). Dans ce sens, il est évoqué par Goldschmidt (2017) le concept de « zone à hautes Potentialités » permettant de nuancer l'identification du HP et rend mieux compte des sphères où les performances s'écartent significativement de la norme. Cela apparaît congruent avec le terme « à hautes potentialités » proposé par Vaivre-Douret en 2002, définissant le HP dans une approche continue et multidimensionnelle avec différentes possibilités de potentialités. Certains auteurs (Alsop, 2003 ; Jambaqué, 2004 ; Liratni & Pry, 2007 ; Mueller et al., 1984 ; 2012 ; Pereira-Fradin, 2004), depuis la troisième version du WISC, considèrent un profil de QI hétérogène comme une caractéristique développementale typique propre au HP. Selon Gardner (1993), l'hétérogénéité reflète différents types d'intelligences. Terrassier (2005, 2018, 2020), quant à lui, a continué d'affirmer depuis les années 1979 (Terrassier, 1979) une dyssynchronie entre le profil psychomoteur/

psycho-affectif et le profil intellectuel chez ces enfants. Cependant, il existe un biais méthodologique majeur concernant l'échantillon des enfants HP dans ses études : la majorité étant recrutée lors des consultations cliniques avec la probabilité d'avoir des profils de QI principalement hétérogènes. En effet, il semble évident que ces enfants soient plus à risque d'être porteurs d'un trouble puisqu'ils sont consultants. De plus, la plupart d'entre eux consultent pour des problèmes à l'école, il n'est donc pas surprenant de trouver des subtests plus ou moins effondrés engendrant un profil hétérogène, comme cela peut être retrouvé chez un enfant de QI moyen non HP présentant des troubles d'apprentissage. Il apparaît donc essentiel d'avoir un échantillon d'enfants HP tout-venant afin de mieux comprendre leurs trajectoires de développement et d'analyser les données au regard des indices du QI.

À l'inverse, d'autres auteurs ont montré que cette hétérogénéité importante pouvait s'expliquer par certains troubles neuro-développementaux dans le cadre des troubles des apprentissages (Tursz & Vaivre-Douret, 1999 ; Vaivre-Douret, 1999b, 2019, 2021), tels que le trouble déficitaire avec ou sans hyperactivité (Tordjman et al., 2018), le trouble développemental de la coordination (TDC) (Vaivre-Douret et al., 2020), la dyslexie (Brody & Mills, 1997), la dysgraphie (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020), les difficultés socio-cognitives et psycho-affectives (Boschi et al., 2016 ; De Lassalle et al., 2021 ; Guénolé et al., 2015 ; Loureiro et al., 2009 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020 ; Weismann-Arcache, 2006), ou les troubles neuromoteurs (Vaivre-Douret, 2004, 2020 ; Holocher-Ertl & Seistock, 2019 ; Hamdioui et al., 2022). À ceci, s'articule l'étude clinique du Centre National d'Aide aux enfants et adolescents à Haut Potentiel (CNAHP) qui a été menée par Tordjman et Kermarrec (2019) en France. En effet, ces auteurs ont montré que les difficultés scolaires sont fréquentes dans une population de 611 personnes HP (76,6%). La majorité de ces enfants avaient un profil de QI hétérogène, et représentent le premier motif de consultation (Tordjman & Kermarrec, 2019). Ces auteurs précisent que parmi 76,6%, il a été recensé des troubles du comportement à l'école, des troubles d'apprentissage, et 12% de redoublement scolaire (Tordjman & Kermarrec, 2019). En plus des études basées sur un échantillon d'enfants HP, quelques études de cas ont également montré que ces enfants peuvent avoir des difficultés notamment dans le domaine socio-émotionnel impactant les capacités d'apprentissage (Yaman & Sökmez, 2020). En examinant de près la méthodologie de cette étude, nous constatons qu'il s'agissait d'un profil hétérogène à l'échelle WISC-IV avec 128 en verbal, 147 en performance et 141 en

QIT (Yaman & Sökmez, 2020). Une autre étude de cas a démontré qu'un enfant HP au profil de QI très hétérogène, avec un ICV supérieur par rapport à l'IVS et l'IVT, peut avoir une comorbidité d'un trouble moteur peu examiné, impactant les capacités d'apprentissage et donc certains scores d'indices (Vaivre-Douret, 2020). Une autre étude de cas plus récente (Hamdioui et al., 2022) a également montré chez une fille HP de 6 ans, avec un profil très hétérogène au WISC-V (41 points entre l'indice le plus élevé et le plus faible), un trouble développemental de la coordination (dyspraxie) associé à des troubles oculomoteurs engendrant des difficultés à l'école notamment dans le domaine des mathématiques.

L'ensemble de ces éléments montre que chez les enfants HP, il n'existe pas de consensus dans la littérature concernant l'hétérogénéité du profil de QI, ce qui mérite d'être plus finement examiné et analysé. Par ailleurs, certains auteurs (Fumeaux & Revol, 2014 ; Gilloots, 2016 ; Knobloch & Pasamanick, 1963) évoquent le terme de « diagnostic » pour parler de « l'identification du HP ». Or, ce dernier n'est pas une maladie physique ni mentale puisqu'il n'apparaît dans aucune classification internationale, que ce soient le « *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders-5th edition : DSM®-5* » (American Psychiatric Association : APA, 2013), ou la « *Classification Internationale des Maladies-10^{ème} révision (CIM-10)* » (Organisation Mondiale de la Santé : OMS, 1951). Ainsi le terme « identifier » semble être plus adéquat par rapport à « diagnostiquer ». Pour ce faire, Ziegler et Raul (2000) dans leur étude de synthèse, ont montré qu'au-delà du QI, il existe d'autres méthodes d'évaluation qui restent néanmoins à caractère plus subjectif que les épreuves standardisées. Il apparaît dans la littérature six types d'évaluation du HP selon Ziegler et Raul (2000) : 1) l'entretien clinique ; 2) les tests d'intelligence (principalement le WISC) ; 3) « *check-list* » pour évaluer la personnalité ; 4) les échelles standardisées qui sont proposées aux enseignants ; 5) les questionnaires psycho-affectifs ; 6) les productions de l'enfant à partir de ses cahiers d'école et de ses dessins. Lubart (2006), évoque la pertinence de l'utilisation des échelles standardisées et normées du développement pour le repérage du haut potentiel chez les enfants. En effet, pour mieux comprendre le HP, différents auteurs se sont intéressés à l'analyse des performances de ces enfants à travers le profil psychométrique (QI), d'autres ont essayé de déterminer le bon prédicteur de ces performances reflétées par le QI mais en menant des évaluations isolées. Rares sont les études qui se sont intéressées à la maturation neurologique des enfants HP et à la trajectoire du développement couvrant

les différentes fonctions physiologiques, neuromotrices, cognitives, psycho-socio-affectives, neurovisuelles. Seules les études récentes de Hamdioui et Vaivre-Douret (2020, 2021, 2022) ont investigué cette trajectoire que nous détaillerons dans la partie méthodologie, résultats et discussion. Toutefois, différentes études ont essayé d'investiguer et de comprendre le développement de ces différentes fonctions bien qu'elles apparaissent isolées dans les méthodes d'analyse. Nous présentons dans les chapitres qui suivent la revue de littérature existante sur les caractéristiques du développement cognitif des enfants HP, les caractéristiques psycho-socio-affectives ainsi que les caractéristiques neuromotrices et neurobiologiques de l'enfant HP.

2. Théorie de l'intelligence sous l'angle de la psychologie cognitive développementale

Le développement de l'intelligence et de la pensée est l'œuvre du biologiste et psychologue suisse Piaget, qui a avancé l'idée que l'intelligence ne serait pas une faculté mentale spécifique, mais une modalité de fonctionnement général, ce qu'il a appelé « *l'adaptation* ». Il s'agit, selon Piaget, de l'homéostasie entre « *le fonctionnement d'un organisme vivant et le milieu* ». Cela s'inscrit dans une approche cognitivo-développementale, d'abord parce que l'enfant acquiert « *la capacité d'adaptation mentale* » de façon corrélée à « *l'adaptation biologique* » (Piaget, 1947). De plus, le développement de la capacité d'adaptation mentale demande la mise en place progressive des opérations cognitives qui ne s'ajoutent pas les unes après les autres, mais qui s'intègrent dans un système « *interactif et complexe, étant donné que l'émergence d'une nouvelle fonction intègre les précédentes* » selon Piaget (1947). À ceci s'articule deux mécanismes fondamentaux marquant le processus développemental de l'intelligence : 1) *l'assimilation* qui correspond à la capacité de l'individu à intégrer de nouvelles expériences dans les schèmes existants qui sont à lui. 2) *l'accommodation* qui se définit comme la modification des structures existantes par différentes nouvelles expériences. Ainsi, le développement de l'intelligence chez l'enfant serait basé sur deux mécanismes opposés, mais complémentaires. L'adaptation qui sous-entend l'intelligence serait donc l'équilibre entre assimilation et accommodation. Autrement dit « *la régulation entre l'individu et son milieu que ce soit d'ordre neurologique, affectif, mental, ou social* » (Piaget, 1947).

Comme l'a précisé Gainotti (1997), les travaux de Piaget effectués entre 1896 et 1980, basés essentiellement sur l'observation des stades du développement de la perception et de l'acquisition du langage, du chiffre et du symbole, ont permis de mettre en exergue quatre stades spécifiques définissant le développement cognitif chez l'enfant. En effet, Piaget (1983) a distingué quatre stades de développement de l'intelligence : 1) stade de l'intelligence sensori-motrice ; 2) stade pré-opératoire ; 3) stade des opérations concrètes ; 4) stade des opérations formelles. Le premier stade consiste en l'intelligence non conceptuelle du bébé avant l'acquisition du langage (entre 0 et 24 mois), essentiellement basé sur l'exploration corporelle du milieu environnemental. À ce stade, l'enfant passe de l'expérience empirique motrice à la consolidation mentale, ce qui lui permet de généraliser des schèmes grâce au développement sous-jacent des capacités de la représentation mentale. Le deuxième stade concerne la période du développement de 2 à 7 ans, où émerge la pensée symbolique permettant à l'enfant l'imitation. L'enfant comprend alors qu'un objet peut devenir « *le substitut* ». Ainsi, les jeux symboliques refléteront l'intelligence, c'est-à-dire des moyens « *d'adaptation intellectuelle et affective* ». C'est également une période du développement majeur de la communication par le langage, mais selon Piaget ce stade marquera le développement par ce qu'il appelle « *l'égoцентризм intellectuel* », faisant référence à l'incapacité de l'enfant de se détacher de son point de vue. Le troisième et quatrième stade sont les phases où l'enfant commence à raisonner logiquement dans plusieurs domaines logico-mathématiques (e.g. le nombre, la sériation, la catégorisation, etc.). Plus précisément, le troisième stade recouvre la période du développement de 7 à 11 ans et constitue l'étape où la pensée se socialise et l'enfant devient capable de se décentrer au niveau cognitif et moral. La conception des modifications, de la réversibilité, des liens causaux, des comparaisons, et du regroupement deviennent plus matures. L'enfant devient alors perméable au raisonnement concret. Le dernier stade qui va de 11-12 ans à l'âge adulte, l'enfant développe une maturité biologique et intellectuelle, mais reste encore enfant au niveau affectif. Ce stade est à l'image « *des opérations logiques* », « *analogiques* », « *abstraites* » donnant lieu à « *un raisonnement hypothético-déductif* ».

L'ensemble de ces stades de développement cognitif de l'enfant peuvent être évalués par différentes tâches dites piagésiennes. Nous citons ici l'échelle de développement de la pensée logique (EPL), pour les enfants âgés de 9-16 ans. Elle permet de situer l'enfant dans un stade de développement de la pensée à partir du

score total, calculé sur la base de la somme des sous-scores. L'échelle EPL est constituée de cinq sous-épreuves principales : 1) *L'épreuve de permutation* faisant appel aux notions combinatoires, c'est-à-dire la capacité intellectuelle à supposer les différentes formes de combinaison possible entre des objets, cette épreuve renseigne spécialement sur la pensée formelle. Dans l'échelle EPL, il s'agit concrètement de déterminer le nombre de jetons de couleurs selon les places qui lui sont attribuées. 2) *Quantification de probabilité* : il est proposé au sujet, dans une série de problèmes successifs, deux compositions de jetons (une où se trouvent des jetons avec une croix et l'autre avec des jetons blancs en proportion variable). Une fois que l'enfant a pris connaissance des deux compositions, les jetons sont retournés et l'enfant doit désigner la composition dans laquelle il se trouve le plus de chance d'obtenir une croix en ne tirant qu'un seul jeton. 3) *L'épreuve des courbes mécaniques* : Le dispositif d'évaluation est composé d'un cylindre (enroulé d'une feuille de papier) qui peut être mis en rotation par une manivelle, il est surmonté d'une tige horizontale sur laquelle est fixé un crayon qui peut se déplacer d'une extrémité à l'autre. Il est expliqué aux sujets que les rotations du cylindre ou les déplacements du crayon ou les deux en même temps entraînent le dessin d'un tracé sur le papier. L'enfant doit alors dessiner, à chaque situation présentée, le tracé qu'il imagine selon les mouvements décrits du cylindre et du crayon. 4) *L'épreuve de la pendule* : Le sujet doit identifier le facteur qui influence la vitesse des battements d'un pendule (poids fixé à l'extrémité du pendule, la longueur du fil, la poussée, et la hauteur du lancement). 5) Les épreuves d'invariance désignent la conservation de différentes propriétés d'un objet (exemple : poids, volume) malgré le changement, c'est ce qui reflète la capacité à comprendre que deux quantités égales demeurent égales en dépit d'une transformation apparente (rien n'est ajouté ou enlevé). Nous parlons de la tâche de conservation du nombre qui est l'une des tâches les plus célèbres de Piaget (1952), fondée sur la base de l'épreuve d'invariance. Les taux d'échec et de réussite dans l'épreuve d'invariance soulignent deux étapes fondamentales marquant le développement de la pensée et du jugement chez les enfants, qui passeraient de l'intuition heuristique visuospatiale (vers l'âge de 7 ans) à la conservation des nombres selon Piaget (1952).

Dans le cadre conceptuel piagétien, une étude expérimentale française (Houdé et al., 2011) a tenté de traduire les stades comportementaux et cognitifs, formulés par Piaget, au niveau cérébral. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de soixante

enfants en bonne santé regroupés en deux groupes : 38 enfants dits « *non conservateurs* », âgés de 5 à 6 ans et 22 enfants dits « *conservateurs* », âgés de 9 à 10 ans. Tous les enfants ont passé la tâche de conservation du nombre sous imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Les résultats ont montré que le changement cognitif permettant aux enfants d'accéder à la conservation (indicateur d'accès au raisonnement formel) s'est avéré lié à l'implication du réseau pariétofrontal bilatéral impliqué dans les fonctions numériques et exécutives. Si les résultats de cette étude sont très pertinents au niveau neuroanatomique, le niveau de QI ainsi que les données développementales des enfants inclus n'ont pas été recueillis. Alors que Ceci aurait permis d'étoffer la théorie piagétienne et d'effectuer des comparaisons inter-groupes et intra-groupe afin de mieux comprendre la trajectoire cognitive développementale de chaque enfant. Ainsi, selon Piaget (1947, 1952, 1983), les enfants atteignent un stade logique de raisonnement à 12 ans qui serait complètement mature, laissant penser que tous les stades précédents sont acquis comme base permettant d'émerger le stade opérationnel formel. Cependant, contrairement à ce modèle unidirectionnel fondateur du développement cognitif, un certain nombre d'études ont fourni des résultats divergents, postulant sur le fait que les adolescents et les adultes continuent de faire des erreurs dans le raisonnement déductif simple (Evans, 1998 ; Houdé 2000 ; Houdé & Borst, 2015 ; Planche, 2000a, b, 2008, 2014 ; Webb, 1974). Par exemple, dans l'article de perspective théorique de Houdé & Borst (2015), les auteurs se sont appuyés sur la tâche de biais d'appariement perceptuel conçue par Evans (1998) pour avancer l'idée que le développement de l'intelligence dépend de la maturation préfrontale, soutenant elle-même la maturation des fonctions exécutives et plus particulièrement l'inhibition. Pour rappel, la tâche d'Evans (1998), qui s'inscrit dans le « *cadre théorique post-Piagétien* » comme le nomment Houdé & Borst (2015), fait référence à la grande majorité des participants (adolescents et adultes) qui choisissaient un carré rouge à gauche d'un cercle jaune alors que la règle était : « *s'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite* ». Cette erreur a été expliquée par Evans (1998) comme un biais d'appariement perceptuel empêchant l'accès à l'algorithme logique analytique (choisir un losange bleu à gauche d'un carré vert). Ainsi, le développement de la capacité à inhiber les heuristiques constituant des biais cognitifs (système cognitif 1) qui interfèrent avec l'activation des procédures analytiques (système cognitif 2) permettrait d'accéder au raisonnement logique et ce au rythme de chacun (Houdé, 2000). Ces études ont apporté un réel

éclairage aux sciences du développement cognitif mais nous constatons l'existence de biais méthodologiques. Par exemple, il aurait été plus pertinent de prendre en compte le niveau et le profil intellectuel de chacun, les éventuels troubles mineurs pouvant être associés et donc interférer avec les tâches proposées, plus particulièrement dans le domaine perceptuel et visuo-spatial.

Par ailleurs, contrairement aux postulats de Piaget, dépendant d'un processus séquentiel linéaire basé sur l'âge chronologique, celle de Dabrowski (1996) ne considère pas le développement comme étant linéaire-séquentiel, mais plutôt multidimensionnel. Selon cette théorie, le développement dépend de trois ensembles de facteurs principaux : Le premier facteur représente les potentialités constitutionnelles et biologiques innées de l'organisme, le deuxième facteur représente toutes les influences sociales et environnementales, et le troisième facteur représente les processus autonomes, tels que les conflits internes, la conscience de soi, les choix et les décisions en relation avec la croissance personnelle et la transformation psychique intérieure. Ainsi, le potentiel de développement peut être particulièrement fort lorsque, en plus de ces facteurs, il existe des capacités et des talents spéciaux et des capacités particulières de conscience de soi et d'autodétermination (Dabrowski, 1996). Ainsi, si nous nous basons sur l'évolution du cadre théorique, le développement cognitif des enfants HP ne serait donc pas caractérisé uniquement par une vitesse de développement plus avancée (Corbin et al., 2012 ; Dabrowski, 1996 ; Houdé, 2000 ; Houdé & Borst, 2014 ; Liratni & Pry, 2011 ; Webb, 1974 ; Planche, 1996). En effet, la théorie du développement cognitif ordonné par des stades (Piaget, 1947, 1952, 1983), et l'idée d'un développement linéaire et unique amenant tous les enfants d'un stade à un autre, a largement évolué laissant place aux modèles théoriques pluralistes. Ces derniers défendent l'idée que le développement est une multitude de trajectoires et de stratégies par lesquelles les enfants peuvent passer pour arriver au même résultat (Gagné, 1985 ; Lautrey, 2003 ; Planche, 2008 ; Sternberg et al., 2003). Nous illustrons cette évolution du cadre théorique à travers les études analysées dans cette revue de littérature en commençant par présenter les travaux axés sur la vitesse de traitement.

3. Développement cognitif de l'enfant HP

3.1. Vitesse de traitement de l'information chez les enfants HP

Une des questions qui a toujours préoccupé les chercheurs du domaine de la psychologie cognitive est celle des performances généralement supérieures des enfants HP. S'expliquent-elles uniquement par des différences quantitatives (une plus grande vitesse de traitement) ou sont-elles mieux expliquées par un développement qualitativement différent ? En effet, il a longtemps été question de différenciation de vitesse de développement entre enfants HP et non-HP, mais cette interrogation correspond principalement à des modèles théoriques du développement cognitif. Comme nous l'avons expliqué plus haut, la théorie piagétienne a pendant longtemps considéré le développement de la pensée comme étant un modèle unidimensionnel. Ce dernier gravite autour d'une certaine continuité fonctionnelle, selon laquelle les enfants ne peuvent différer les uns des autres que par des variations au niveau de la vitesse d'acquisition qui s'inscrit dans un processus unique. Elle exclut cependant la possibilité des trajectoires développementales différentes.

Dans ce cadre, Cohn et al. (1985) ont défendu l'idée que les enfants HP ne se différencieraient pas des non-HP par des stratégies de traitement de l'information différentes, mais uniquement par une vitesse de traitement plus rapide. Les auteurs s'étaient basés sur un échantillon d'enfants HP (n=60 ; QI équivalent à 130 via l'échelle d'aptitude scolaire : SAT et les matrices de Raven), recrutés dans un programme d'étude dit de précocité académique, âgés de 13 ans en moyenne. Ils ont été comparés à des enfants neurotypiques non HP (n=70) du même âge chronologique. Tous les enfants ont passé une batterie de tests qui s'effectue en temps limité et qui met en jeu des processus cognitifs élémentaires (mémoire, conceptualisation, compréhension, lecture, etc.). Les résultats n'ont montré aucune différence significative au niveau des performances, mais les enfants HP montraient un temps de réaction significativement plus court, soulignant un traitement plus rapide que les enfants non HP (Cohn et al., 1985). Au-delà de cette conclusion, les auteurs ont interprété les résultats en postulant sur le fait que la différence d'intelligence entre les groupes d'enfants HP et non HP serait attribuée aux différences d'intelligence élémentaire sous-jacents aux processus cognitifs plutôt qu'aux stratégies de résolution de problèmes de niveau supérieur (planification, contrôle exécutif ou aux autres types de métacognition). Celles-ci jouent néanmoins un rôle important dans le développement à long terme de l'intelligence selon Cohn et al. (1985). D'autres études

ont montré des résultats similaires comme celle de Bjorklund et al. (1994). En effet, les auteurs se sont basés sur un échantillon d'enfants âgés entre 9 et 10 ans (n=143), recrutés dans des écoles publiques. Cette étude américaine avait constitué deux groupes : le premier d'enfants ayant un QI dit faible ($QIT_M=87.2$; WISC-R) et le second d'enfants ayant un QI dit élevé ($QIT_M=111.8$; WISC-R). On peut d'emblée constater que nous ne sommes pas au seuil du Haut Potentiel et qu'une moyenne de $QI=111$ est une valeur de QI qui se situe dans la moyenne forte et donc dans la norme plutôt que dans la zone élevée selon la courbe de Gauss (Wechsler, 2016). Face à cette limite, nous devons prendre les résultats de Bjorklund et al. (1994) avec prudence quant à leur généralisation sur la population d'enfants HP. Les auteurs ont comparé des performances de mémorisation lors d'une procédure de classement catégoriel dans une tâche de « *tri-rappel* ». Les résultats ont montré que les deux groupes d'enfants utilisaient des stratégies équivalentes, mais les scores de rappel étaient significativement meilleurs chez les enfants ayant un QI autour de 111. Cette différence significative a été attribuée selon les auteurs aux facteurs non stratégiques tels que la vitesse de traitement. De plus, cette vitesse de traitement supérieure qui aurait donc permis d'obtenir des meilleurs résultats, serait elle-même influencée par les bases de connaissances qui serait plus riches chez les enfants du deuxième groupe.

Par ailleurs, Webb (1974) a présenté des épreuves piagétienne caractéristiques du stade opératoire concret (stade 3) et du stade opératoire formel (stade 4) à vingt-cinq enfants âgés de 6 à 11 ans dont le QI dépassait 160 à l'échelle d'intelligence de Slosson (1961), corrélée à 0.9 avec l'échelle de Stanford-Binet. Tous les enfants ont réussi tous les problèmes d'opérations concrètes, mais uniquement les quatre enfants les plus âgés (10 ans et 7 mois) ont réussi les tâches d'opérations formelles. Cette étude à elle seule remet en question la théorie piagétienne postulant sur un modèle unidimensionnel et les résultats de Cohn, et al. (1985). Bien que ces enfants aient accès au stade 3 (stade des opérations concrètes), ils n'ont pas eu tous accès au stade 4 (stade des opérations formelles), ce qui ne s'inscrit donc pas forcément dans une continuité. En effet, aucun enfant, même très précoce ayant un âge mental très supérieur à celui requis pour accéder au niveau formel, ne résout correctement les deux problèmes de niveau formel. Ainsi, selon Webb (1974), la vitesse d'acquisition varie dans le même sens que le QI. Ces résultats pionniers montrent que le développement de l'intelligence notamment chez les enfants HP n'est

peut-être pas obligatoirement et seulement accéléré, mais plutôt caractérisé par des spécificités, d'où une investigation pluridisciplinaire approfondie s'impose. Dans ce sens, Planche (2008) a proposé un modèle pluridimensionnel remettant en cause le modèle linéaire de Piaget. Ainsi, Planche (2008) soutient l'idée que le développement de l'intelligence chez tous les enfants, et en particulier chez les enfants HP, ne peut s'expliquer que par une avance du rythme développemental, mais éventuellement par d'autres caractéristiques spécifiques notamment cognitives (que nous présenterons plus en détails plus loin).

Plus récemment, Corbin et al. (2012) ont utilisé deux études de cas pour tester une hypothèse suggérant que les enfants HP disposent de meilleures performances lors des tâches de mémoire de travail, puisque ces dernières résultent d'un gain au niveau de la vitesse de traitement. En effet, les deux études de cas correspondaient se basaient respectivement sur deux garçons HP, l'un âgé de 4 ans et 2 mois (âge mental =5 ans et 6 mois) et l'autre âgé de 4 ans et 9 mois (âge mental =5 ans et 9 mois). L'âge mental des enfants HP a été calculé sur la base du score obtenu au subtest information de la WPPSI-R (Wechsler, 1989 ; cité par Corbin et al., 2012), étant considéré comme le subtest le plus corrélé au QI total. Les deux enfants ont été recrutés dans un centre français d'action médico-sociale précoce (CAMSP). Les auteurs ont également utilisé des données de dix-sept garçons neurotypiques d'âge préscolaire (âge moyen =5 ans et 3 mois) pour le groupe contrôle. Chaque enfant HP a été apparié à des enfants du même âge chronologique et des enfants du même âge mental (Corbin et al., 2012). Pour évaluer la vitesse de traitement, les auteurs ont utilisé le test des cloches de Gauthier, Dehaut et Joannette (1989), cité par Corbin et al. (2012). Pour évaluer les performances de mémoire de travail, l'empan de comptage a été utilisé, ainsi que l'empan auditivo-verbal qui consistait en l'écoute d'une série de phrases sans lien entre elles, et à la fin l'enfant devait rappeler le dernier mot de chaque phrase dans l'ordre de présentation. Les résultats ont montré que les deux enfants HP étaient significativement plus rapides, montrant aussi de meilleures performances en mémoire de travail par rapport au groupe contrôle. Cependant, lorsque les auteurs comparent ces résultats avec les groupes contrôles appariés sur l'âge mental, ils s'aperçoivent que les deux enfants HP ne présentent pas des performances similaires à celles des enfants neurotypiques ayant le même âge mental dans toutes les épreuves (Corbin et al., 2012). De plus, l'analyse clinique des profils fait ressortir deux profils distincts. Le premier enfant a montré des performances

significativement supérieures à celles des enfants du même âge mental en termes de vitesse de traitement de l'information, mais il ne différait pas d'eux au niveau des performances (tâches de mémoire de travail). A l'inverse, le second enfant ne s'avérait pas plus rapide que ses pairs du même âge mental, mais ses performances de mémoire de travail étaient significativement meilleures par rapport à celles des enfants du même âge mental, voire même par rapport aux enfants plus âgés (Corbin et al., 2012). Bien que nous soyons prudents par rapport au critère du calcul d'âge mental qui a été fondé seulement sur un seul subtest verbal (information), cette étude montre des résultats pertinents. Elle apporte un éclairage clinique important aux différences intra et inter-individuelles au niveau de la trajectoire développementale des enfants en général et des HP en particulier. En effet, les deux enfants HP de cette étude de cas présentent des caractéristiques différentes. Si tous les deux montrent de meilleurs résultats que les enfants neurotypiques (non-HP) du même âge chronologique dans toutes les épreuves, leur performances supérieures par rapport aux enfants du même âge mental dépendent du type de la tâche proposée (Corbin et al., 2012). D'autres études (que nous détaillerons au fur et à mesure dans la partie suivante), amenant au même résultat, se sont intéressées aux caractéristiques du développement des enfants HP à travers l'étude des fonctions exécutives et du comportement lors des tâches de résolution de problème et de raisonnement.

3.2. Tâches de raisonnement et de résolution de problèmes

Depuis environ cinq décennies les travaux issus de la psychologie cognitive expérimentale et la psychologie du développement font carrefour avec les travaux issus de la neuroscience pour essayer de comprendre le fonctionnement cognitif chez les enfants HP. Dans le cadre conceptuel piagétien, différentes études comparatives comme celles de Brown (1973), DeVries (1974), Planche (1997,1998), Planche & Gicquel (2000) ont particulièrement adoptée la méthode de dissociation de l'âge mental de l'âge chronologique pour étudier l'acquisition des notions logiques chez les enfants HP. D'autres auteurs ont essayé d'étudier le lien entre le QI et les performances intellectuelles sous formes de variables continues (Little, 1972). L'ensemble de ces travaux, que nous détaillerons au fur et à mesure de ce chapitre, ont montré des irrégularités de développement cognitif chez les enfants HP et une dysharmonie entre les niveaux atteints dans chaque tâche présentée, particulièrement

au seuil du stade des opérations concrètes et formelles. Cependant, il est primordial de ne pas confondre la dysharmonie évoquée ici, qui concerne uniquement le développement cognitif et la dyssynchronie attestée par Terrassier (1979, 2002, 2018 ; que nous avons développée plus haut) et qui font référence à un développement intellectuel avancé chez les enfants HP comparés aux enfants neurotypiques, alors que le développement moteur et psycho-affectif seraient immatures selon Terrassier.

Concernant le raisonnement et les capacités de résolution de problèmes, nous présentons en premier lieu les travaux de Planche (1997, 2000a, b) qui s'inscrivent dans le cadre théorique piagétien. Ils ont apporté de réels éclairages sur la compréhension du fonctionnement cognitif des enfants HP. En effet, au cours de ses études comparatives longitudinales présentées ici (sur une période de 20 ans), Planche (1985) s'est appuyée sur un échantillon de douze enfants HP, avec le critère d'inclusion basé sur le $QI \geq 130$ à l'échelle NEMI de Gilly et al. (1966) cité par Planche (1985). Ils ont été recrutés en maternelle ordinaire sans difficultés et sans troubles, tirés d'un groupe global de quatre-vingt enfants HP (parfois non identifiés avant l'inclusion dans l'étude) et dix enfants neurotypiques, avec un appariement sur l'âge mental plutôt que l'âge chronologique. Deux groupes ont été constitués : les enfants HP étaient âgés de 5 ans en moyenne, avec un niveau de fonctionnement cognitif de 6 ans 6 mois. Le groupe d'enfants neurotypiques avait un âge mental équivalent aux enfants HP, donc plus âgés chronologiquement. L'épreuve de résolution de problème de Kilcher et Robert « *construction de ponts* » a été présentée aux deux groupes. L'épreuve consistait en la recherche d'une solution pour que la poupée puisse traverser de l'autre côté d'une rivière qui était présentée devant les enfants sous forme d'une bande bleue cartonnée. Tous les enfants disposaient des mêmes matériaux qu'ils doivent utiliser pour construire un moyen pour traverser (Légos, pâte à modeler, etc.). La consigne explicitait la nécessité de construire quelque chose et non pas seulement poser un ou des éléments sur la rivière (bateau). Les enfants ont fourni différentes solutions : route (*alignement d'objets reliant les deux berges*), pont à piliers (*les piliers et la traverse*), bateau, etc. Les résultats ont montré que les enfants HP sont significativement plus nombreux à trouver la solution la plus adaptée au problème énoncé et la plus pertinente au regard de la consigne (*construction de pont*).

L'auteur a également analysé le comportement et les stratégies cognitives adoptés par les enfants de l'étude, elle a noté chez les enfants HP plus de prise en compte des caractéristiques de chaque type de matériaux, avec en plus des

constructions « *originales* » en utilisant la pâte à modeler plutôt que les bâtonnets par. Ainsi, Planche (1985) a relevé une certaine créativité avec une pensée plus originale et un accès plus facile à la créativité. De plus, il a été observé de façon plus importante chez les enfants HP que les enfants neurotypiques, un ajustement entre les anticipations et les réalisations des constructions, qui s'améliore au cours des situations, à chaque nouvelle situation, ils adoptaient de nouvelles stratégies en tirant profit des constructions antérieures pour réaliser les nouvelles constructions soulignant « *l'intervention d'un processus d'intégration temporelle dans la résolution du problème* » et de meilleures capacités de flexibilité cognitive et d'inhibition. Nous constatons que ceci pourrait également souligner de meilleures capacités de métacognition (que nous détaillerons plus loin). Planche (1985) a expliqué que ce comportement met en évidence de bonnes capacités d'apprentissage et de transfert chez les enfants HP.

La réflexion autour du développement cognitif de l'enfant HP a été étendue avec des enfants plus âgés. En effet, Planche (1998) a mis en place une autre étude expérimentale pour mieux comprendre le développement du fonctionnement cognitif des enfants HP lors de la situation de résolution de problèmes et la construction des notions spatiales après l'âge de 5 ans. Dans cette étude comparative et longitudinale (deux ans : de 1995 à 1997), Planche (1998) a procédé de la même façon que l'étude précédente pour recruter vingt-deux enfants distribués en deux groupes de comparaison : 12 enfants HP ($QI \geq 130$ à l'aide de la NEMI et WISC-III ; âge chronologique moyen=6 ans et âge mental moyen=8 ans) appariés sur l'âge mental avec 10 enfants neurotypiques ($QI_M=101$; âge chronologique moyen=7 ans et 11 mois et âge mental moyen=8 ans). Planche (1998) s'est basée sur trois épreuves piagésiennes pour la mise en place de ce protocole expérimental (Piaget & Inhelder, 1947) : 1) *L'épreuve des bords ou de l'horizontalité* qui consiste à évaluer l'invariance à partir de la construction de la permanence de l'horizontalité du niveau de l'eau, quelles que soient les formes du contenant (bouteille en forme carrée ou ronde) ou les inclinaisons (renversée, couchée ou inclinée). Pour ce faire, il est demandé à l'enfant de dessiner le niveau de l'eau dans les bords et de colorier ce qui représente le liquide. 2) *l'épreuve de la voie ferrée* consiste en l'évaluation de la capacité à construire une représentation spatiale d'objets en fonction de leur éloignement par rapport à soi-même. Pour ce faire, il est présenté à l'enfant deux gares dessinées (une proche et l'autre représente une gare plus lointaine étant dessinée dans la partie haute

de la feuille avec une taille plus petite), l'enfant doit « *dessiner des rails et des travées passant devant les deux gares en partant de deux points dessinés au bas de la feuille, à proximité de la première gare déterminant l'écartement de départ des rails* ». 3) *L'épreuve des trois montagnes* consistant en l'évaluation du développement de la représentation spatiale chez l'enfant. Le matériel utilisé (figure 7) se constitue d'une maquette de trois montagnes de tailles différentes, de couleurs différentes et d'autres indices tels qu'une maison, un chemin, une cascade, etc. L'enfant voit devant lui au premier plan, sur la droite, une montagne verte. Une montagne de taille moyenne et de couleur brune située à gauche, un peu plus haute que la première, avec une croix rouge au sommet et une grande montagne grise à l'arrière-plan surmontée de la neige. L'expérimentateur utilise dix tableaux avec trois cônes représentant les trois montagnes vues depuis l'une ou l'autre des quatre perspectives (A, B, C, D,) et une poupée que l'on peut déplacer. Deux parmi les dix tableaux représentant des perspectives impossibles jouent le rôle de « piège ». Deux étapes successives de passation sont distinguées : Dans la première (tâche plus facile), on demande à l'enfant de trouver la position de la poupée correspondante à la perspective désignée par le tableau présenté. Dans la seconde (tâche plus difficile), il est demandé à l'enfant de choisir le tableau qui représente la perspective de la poupée placée à un endroit sur la maquette.

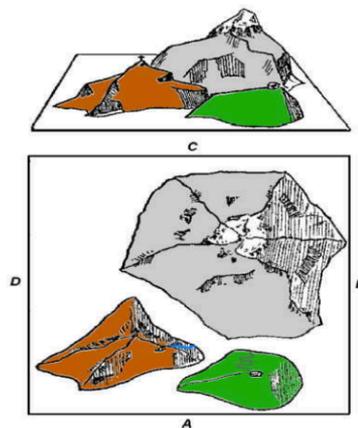


Figure 7:Épreuve des trois montagnes (Piaget & Inhelder, 1947).

Les résultats ont montré que dans la première épreuve, les enfants HP âgés de 6 ans ont obtenu des scores significativement inférieurs aux scores des enfants neurotypiques ayant le même âge mental (âge chronologique=7 ans et 11 mois). En effet, les enfants HP de 6 ans, avaient tendance à dessiner le niveau de l'eau parallèle avec la base du bocal, sans prendre en compte l'orientation du bocal, alors que les

enfants neurotypiques, avaient tendance à dessiner l'eau en fonction des coins du bocal. Deux ans plus tard, aucune différence significative n'a été notée entre les enfants HP et neurotypiques, la plupart des enfants des deux groupes avaient les mêmes résultats, c'est-à-dire qu'il dessinait l'eau en prenant en compte la notion de l'horizontalité. Dans la seconde expérience, les enfants HP âgés de 6 ans ont obtenu également des résultats significativement inférieurs par rapport aux enfants neurotypiques. En effet, il est difficile pour les enfants HP âgés de 6 ans (âge mental de 8 ans) de tenir compte des perspectives en dessinant les rails entre les deux gares (0%) contrairement aux enfants neurotypiques (10%) de 7 ans et 11 mois d'âge chronique (âge mental de 8 ans). Deux ans plus tard, les résultats ne sont plus significativement différents. Les enfants HP ont fait des progrès considérables par rapport aux enfants neurotypiques. Leur résultat sont alors très proches. La majorité des enfants présents dans les deux groupes prennent en compte les perspectives en dessinant (HP : 30% ; neurotypiques : 33%). Dans la première étape de la troisième expérience des montagnes, les enfants HP ayant 6 ans d'âge chronologique, ont donné un nombre de bonne réponses significativement inférieures par rapport aux enfants neurotypiques. Dans la seconde étape de l'épreuve, l'écart du taux de bonne réponse entre les deux groupes est moins important et non significatif. L'auteur (Planche, 1998) a expliqué que dans la première étape de l'expérience des trois montagnes, les enfants HP avaient tendance à utiliser des stratégies « *plus égocentriques* » que les enfants neurotypiques. Dans la seconde étape, qui est censée être plus difficile, la majorité des enfants HP montraient un raisonnement plus complexe, mais ils ne différencient pas et ne coordonnent pas l'ensemble des points de vue. Ainsi, Les résultats de cette étude mettent en avant, que les enfants HP âgés de 6 ans (âge mental de 8 ans) semblent avoir des compétences d'élaboration spatiale moins développées que les enfants neurotypiques du même âge mental. Cependant, il convient de noter que les enfants HP semblent avoir d'excellente capacités d'apprentissage et sont les seuls à utiliser l'organisation temporelle à l'épreuves des trois montagnes selon Planche (1998). Lorsque les situations se succèdent, les enfants HP améliorent rapidement leurs stratégies montrant ainsi de meilleures capacités d'apprentissage, de métacognition et de transfert, ce que nous retrouvons dans l'expérience décrite plus haut auprès des enfants HP âgés de 5 ans (âge chronologique). De ce fait, lorsque les enfants HP accèdent partiellement à la notion des concepts, ils évoluent alors très rapidement dans les domaines spatiaux. Entre 7

et 8 ans, ils atteignent alors le niveau des enfants neurotypiques du même âge mental et surpassent leurs pairs qui ont le même âge chronologique. Autrement dit, « *ils apprennent en deux ans, ce que les enfants neurotypiques apprennent en quatre ans* » (Planche, 1998).

L'ensemble de ces travaux mettent en exergue un développement cognitif atypique chez l'enfant HP, qui serait donc caractérisé par des irrégularités (Planche, 1985, 1998, 2000a, b). La vitesse d'acquisition de la conservation et du contrôle cognitif serait plus rapide et plus efficace chez les enfants HP. De plus, il existerait des meilleures capacités d'adaptation, d'apprentissage et de transfert chez l'enfant HP, une forte motivation intrinsèque, un haut niveau d'exigence personnelle, un besoin spécifique de précision chez l'enfant HP comparé à l'enfant neurotypique. L'auteur a également précisé que lorsque la tâche est facile, les enfants HP se distinguent par la vitesse de traitement de l'information, alors que lorsque la tâche est complexe, les enfants HP se distinguent par la qualité du traitement de l'information soulignant des stratégies plus adaptées, plus organisées, et plus mobiles. Sur le même échantillon et dans le même contexte conceptuel piagétien, Planche (1998) a montré à l'aide de l'épreuve de l'horizontalité et de la voie ferrée (Piaget & Inhelder, 1947), que les enfants HP mobilisent spontanément des stratégies plus efficaces pour traiter l'information infra-logique (notions spatiales) que pour l'information logico-mathématique (classifications et sériations).

Les travaux de recherche de Lautrey et al. (1986) qui s'inscrivent dans le cadre conceptuel piagétien et portant sur l'étude du développement cognitif, ont montré que certains sujets qui présentent une avance développementale au niveau de l'acquisition et de la maîtrise des notions spatiales, infra-logique, ont tendance à privilégier un traitement analogique. Ce dernier consiste à utiliser une solution connue antérieurement d'un problème ou des connaissances dont on dispose pour résoudre un nouveau problème ou face à un nouveau domaine de connaissance. Ce mode de traitement de l'information demande des bonnes capacités de transfert. Au niveau de la qualité du traitement de l'information et les capacités de maintenance et de transfert lors des apprentissages, nous citons l'étude américaine de Ferretti et Butterfield (1992). Cette dernière avait pour objectif d'examiner l'existence de différences liées à la capacité de transfert de stratégies lors d'une tâche de raisonnement analogique et hypothético-déductif, à l'aide d'un protocole expérimental d'équilibre de balances.

L'échantillon était constitué de cent-trente-trois enfants HP ($QI \geq 125$; WISC-R), cent-deux enfants ayant un QI moyen et cinquante-un ayant un déficit intellectuel. Tous les enfants étaient âgés de 9 ans en moyenne. Ils ont appris des stratégies sur une version du problème de l'échelle d'équilibre des balances, puis ont reçu une formation supplémentaire jusqu'à ce qu'ils aient pu transférer ces stratégies à une autre version du problème. La maintenance a été évaluée deux semaines après la fin de la formation à la stratégie. Les comparaisons de moyenne ont révélé des effets principaux significatifs pour l'intelligence, le niveau de difficulté de la tâche, et une interaction significative entre les deux facteurs. Autrement dit, les enfants ayant une déficience intellectuelle avaient besoin de plus d'instruction et de formation pour apprendre et transférer les stratégies d'équilibre des balances, et étaient significativement moins susceptibles de maintenir les stratégies que les enfants HP ou moyens. En revanche, aucune différence significative n'a été relevée entre ces deux derniers groupes. En résumé selon Ferretti et Butterfield (1992), les enfants HP ($QI \geq 125$) montraient de meilleures capacités de transfert et de maintenance que les enfants ayant une déficience intellectuelle mais ils ne montrent pas de différence significative par rapport aux enfants ayant un QI moyen.

D'autres résultats d'une des plus anciennes études américaines (Little, 1972) a également apporté des résultats similaires quant au développement atypique et irrégulier des fonctions cognitives chez les enfants HP. Il s'agit d'une étude longitudinale, comparative s'intéressant aux relations existantes entre le QI et les performances aux tâches piagétienne. Quarante-deux enfants âgés entre 4 et 5 ans ont participé à cette étude. Les enfants étaient réparties en 3 groupes selon leur QI au test de Binet : un groupe comportait les enfants ayant une intelligence moyenne ($95 \leq QI \leq 104$; $n = 25$), un groupe d'enfants ayant une intelligence dite intermédiaire selon les auteurs ($105 \leq QI \leq 114$; $n = 28$), et un groupe d'enfants ayant une intelligence dite supérieure selon les auteurs ($QI > 115$; $n = 27$). Vingt-trois d'enfants du premier groupe et vingt-quatre du groupe d'enfants avec un $QI > 115$ ont été revu deux ans plus tard. Ils avaient alors entre 6 et 7 ans. Il leur était proposé d'effectuer 9 épreuves piagétienne afin d'observer trois domaines : la conservation, la sériation et l'inclusion des classes. Les résultats lorsque les enfants avaient entre 4 et 5 ans, ont montré des variations significatives de bonnes réponses selon les groupes en faveur des enfants ayant un QI supérieur, montrant des réponses plus matures que les enfants ayant un QI moyen. Alors que les enfants au QI « moyen » s'aidaient des configurations

perceptuelles, les enfants ayant un QI supérieur avaient tendance à verbaliser davantage leur raisonnement et à expliquer leur réponse, même dans le cas de mauvaises réponses (Little, 1972). Cependant, l'auteur a affirmé qu'à 4-5 ans, la corrélation était significative et plus forte entre l'âge chronique et les résultats aux épreuves de Piaget, qu'entre l'âge mental et les résultats aux tests. Deux ans plus tard, les enfants ayant un QI moyen et ceux avec un QI intermédiaire montraient de meilleurs résultats que précédemment et répondaient en verbalisant davantage. Le groupe ayant un QI supérieur donnait significativement plus de bonnes réponses et expliquaient verbalement davantage les réponses. A 6-7 ans, l'âge mental est alors significativement et plus fortement corrélé avec le résultat au test de raisonnement de Piaget (Little, 1972). L'auteur a conclu sur une maturité mentale évidente chez les enfants HP, mais qui ne serait pas caractérisée uniquement en termes de vitesse. Elle serait plutôt caractérisée par de meilleures stratégies d'apprentissage et une variation du comportement cognitif en fonction de la tâche proposée.

Par ailleurs, l'âge de la pensée formelle apparaît une fois de plus une étape sensible et importante dans le développement cognitif chez les enfants, particulièrement chez l'enfant HP. Dans ce sens, en se basant sur les travaux de Webb (1974) qui s'inscrivent dans le cadre conceptuel piagétien, L'étude comparative française de Planche et Gicquel (2000) s'est fondée sur trois groupes d'enfants : un groupe d'enfants HP (NEMI ; $QI \geq 130$), âgés entre 9 ans et 12 ans et 7 mois (âge mental), un deuxième groupe d'enfants non HP dont l'âge chronologique était de 12 ans et 2 mois, en accord avec leur âge mental et avec l'âge mental du premier groupe (12 ans et 6 mois), et un troisième groupe d'enfants HP (WISC-R ; $QI \geq 130$) du même âge chronologique que le groupe témoins (12 ans et 2 mois), avec un âge mental > 14 ans. Tous les enfants ont été évalués à l'aide de l'échelle de développement de la pensée logique de Longeot (EPL ; Longeot, 1979), constituée de cinq subtests logico-mathématiques. Les scores s'obtiennent sur cinq niveaux : concret A, concret B, pré-formel, formel A, formel B. Les résultats ont montré que les enfants HP les plus jeunes (groupe 1) et leurs pairs ayant le même âge mental (groupe 2) se situent au niveau pré-formel alors que les enfants HP plus âgés (groupe 3) qui ont le même âge chronologique que le groupe 2, ont obtenu des scores les situant au seuil du stade formel B. Les auteurs ont précisé néanmoins que les enfants du groupe 1 restent moins avancés dans le stade pré-formel. De plus, les résultats sont variables en fonction des épreuves ; à l'épreuve de quantification des probabilités, il a été repéré

23.5% des enfants du groupe 1 qui ont atteint le niveau pré-formel alors qu'il a été déterminé 80% des enfants du groupe 2. A l'inverse, les épreuves de conservassions sont bien réussies par les deux groupes. Rappelons que cette épreuve demande des capacités d'inhibition très matures pour faire preuve d'un raisonnement perceptif efficace. Les épreuves d'invariance chez les enfants HP étant acquises à l'âge chronologique de 5 ans et 6 mois comme nous l'avons expliqué plus haut (Planche, 2008), les enfants HP ont fait preuve d'un transfert très efficaces qui leur a permis d'utiliser les connaissances acquises pour résoudre des tâches analogues plus complexes. À l'épreuve de permutation, aucune différence significative n'a été notée entre le premier et le deuxième groupe, 60% des enfants HP du premier groupe ont atteint le niveau formel A. L'épreuve des courbes mécaniques, faisant appel aux notions spatiales est également réussie sans différence significative entre le premier et le deuxième groupe. Toutefois, il convient de noter que cette réussite a été notée sans différence significative en dépit de la maturité faible des structures perceptives chez les enfants HP plus jeunes en termes d'âge chronologique. Ainsi, il est tout à fait possible que ces enfants s'appuient sur des stratégies de compensation telles que la représentation mentale et/ou leurs ressources d'effort cognitif soutenu. A l'épreuve d'oscillation du pendule demandant un niveau de raisonnement formel B (réussie habituellement à 15 ans d'âge chronologique), a été échouée par le premier et le deuxième groupe. Les auteurs ont conclu sur une hétérogénéité inter-individuelle à ce stade du développement cognitif des enfants HP, au même titre que ce qu'il a été retrouvé au seuil de l'opérativité concrète (Planche, 2000b) et dans l'acquisition des notions de structurations spatiales (Planche, 1998) comme nous l'avons expliqué plus haut. Planche et Gicquel (2000) ont alors confirmé qu'au stade opératoire formel, il existerait des écarts de performance chez les enfants HP, dès que le seuil de développement est franchi, les enfants HP maîtriseraient plus rapidement les opérations liées à cette étape du développement cognitif, mais ils n'accèderaient pas nécessairement plus rapidement à l'étape suivante. Ensuite, dans les étapes qui suivent, l'enfant se développe dans différents domaines cognitifs de façon simultanée, à des rythmes différents, avec une certaine disharmonie. L'acquisition des différents domaines notionnels s'homogénéisent progressivement par la suite. Ainsi, Planche (2008) a expliqué que l'enfant HP entrerait dans le stade de l'opérativité concrète par une autre voies que celle prise par les enfants non HP, par la notion d'invariance qui est acquise chez les enfants HP plut tôt, avant même l'acquisition des notions logiques

opératoires. Le même type de développement existerait au niveau de l'opérativité formelle. Ainsi, Planche explicite un modèle de développement qui serait plutôt pluridimensionnel remettant en cause le modèle linéaire de Piaget. Ces différentes voies développementales amèneront à l'acquisition d'une pensée rationnelle et à un équilibre du fonctionnement cognitif qui serait caractérisé par un traitement de l'information plus rapide et plus efficace (Planche, 2008).

De même, Brown (1973) a aussi postulé sur un développement atypique des enfants HP au niveau cognitif et a montré que l'accès au stade opératoire formel serait le déclencheur. L'auteur a expliqué que ceci serait lié à un besoin de minimum d'expérience, qui suffirait aux enfants HP, ayant des capacités d'apprentissage meilleures, pour un démarrer un développement cognitif plus en adéquation avec leur âge mental qu'avec leur âge chronologique. Ces propos ont été mis en exergue grâce à son étude comparative, basée sur la théorie piagétienne. En effet, Brown (1973) s'est intéressé au développement cognitif des enfants HP en comparaison avec les enfants ayant un retard intellectuel et les enfants neurotypiques. Il a alors utilisé l'épreuve de la conservation du nombre, l'auteur a quantifié l'âge mental à l'aide du test de QI de Stanford-Binet pour constituer quatre groupes comprenant chacun 8 filles et 8 garçons, avec un âge mental de 6 ans pour tous les enfants, mais l'âge chronologique variait selon les groupes : Le premier groupe était constitué d'enfants HP âgés chronologiquement de 4 ans, le deuxième groupe comportait des enfants neurotypiques âgés de 6 ans, le troisième groupe était constitué d'enfants ayant un retard intellectuel léger, âgés de 8 ans, le quatrième groupe se composait d'enfants neurotypiques âgés de 4 ans. Brown (1973) a constitué un cinquième groupe de comparaison qui était constitué d'enfants neurotypique, âgé de 8 ans mais avec un âge mental de 6 ans. Tous les enfants ont été recrutés dans des écoles publiques. Ceux ayant un retard intellectuel étaient dans la même école que les enfants neurotypiques, mais dans des classes spécifiques. Il leur était proposé trois épreuves, deux d'entre elles, évaluaient la capacité de conservation du nombre et l'une d'entre elle évaluait la conservation de la quantité continue. Les enfants HP âgés de 4 ans (âge mental = 6), avaient des résultats significativement inférieurs aux autres groupes d'enfants ayant un âge mental similaire (soit de 6 ans), mais ils n'avaient pas de résultats significativement différents que leurs pairs neurotypiques du même âge chronologique (4 ans). Les enfants âgés de 8 ans ayant un retard intellectuel (âge mental = 6), avaient les mêmes scores que les enfants neurotypiques ayant le même âge mental et avaient

significativement moins bien réussi les épreuves que les enfants neurotypiques ayant le même âge chronologique qu'eux (8 ans). Ainsi, l'auteur a expliqué que non seulement les capacités intellectuelles notamment la maturation des fonctions exécutives auront une influence directe dans les performances des tâches de conservation mais également l'expérience. Il a ainsi supposé que pour lors des épreuves de conservation, les enfants ayant un retard intellectuel utiliseraient davantage les expériences vécues (produit d'apprentissage) pour réussir, tandis que les enfant HP étant âgés chronologiquement de 4 ans, ils n'auraient pas l'expérience minimale nécessaire pour développer au mieux leur capacité d'apprentissage (Brown, 1973). Ceci expliquerait cette irrégularité de développement cognitif chez les enfants HP selon Brown (1973).

Paradoxalement, Bornstein et Sigman (1985, 1986) ont défendu l'idée d'une continuité et régularité de développement cognitif chez les enfants en général. En effet, pour étudier le développement cognitif chez ces enfants, les auteurs se sont appuyés sur un protocole longitudinal basé sur le paradigme d'habituation qui est largement étudié en psychologie cognitive et expérimentale, consiste à présenter au bébé un stimulus jusqu'à ce que son intérêt pour ce stimulus décline, en regardons de moins en moins longtemps la cible (phase d'habituation). Deux principales études sont connues dans ce sens, la première concernait quatorze enfants âgés de 4 mois pour qui un stimuli visuel a été présenté pendant 15 secondes, 15 fois consécutives. Les auteurs ont recueilli un indice d'habituation (pourcentage de diminution de l'attention entre les premiers et les derniers essais) comme indice d'évaluation de l'attention. Les mêmes enfants ont passé l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants d'âge préscolaire (WPPSI ; Wechsler, 1967). Les résultats ont montré une corrélation significative et positive entre le pourcentage d'habituation à l'âge de 4 mois ($m=45\%$) et le QI à 4 ans ($m=137$). Les auteurs ont ainsi validé leur hypothèse défendant le postulat de continuité de la trajectoire développementale au niveau cognitif. La seconde étude, concernait quatre-vingt-onze enfants prématurés âgés de 1-2 mois (âge corrigé), pour qui les auteurs ont montré un stimuli visuel pendant 60 secondes et ont enregistré la durée totale de fixation. De la même manière que la première étude, les auteurs ont fait passer à tous les enfants l'échelle d'intelligence pour enfants (Wechsler, 1974). Les résultats ont montré une corrélation significative et positive entre la durée totale de fixation ($m=27.5$ secondes) à 1-2 mois et le niveau de QI à 8

ans ($m=105$, allant de 68 à 141). Les auteurs ont conclu sur continuité de développement au niveau du traitement cognitif de l'information. En revanche, Bornstein et Sigman (1985, 1986) ont précisé qu'il existait tout de même une variabilité interindividuelle très importante. Cette étude était pour but de comprendre le développement cognitif chez l'enfant en général. Par conséquent, des comparaisons entre enfants HP et non HP n'ont pas été étudiées ce qui ne permet pas de généraliser systématiquement les conclusions de cette étude sur le fonctionnement des enfants HP surtout que des différences interindividuelles très grandes ont été soulignées par les auteurs. En effet, les différences interindividuelles couvraient des valeurs allant de l'intelligence faible à l'intelligence très supérieure telle que dans le cas du HP ($68 \leq QI \leq 155$). Il est donc possible que les différences interindividuelles soulignées dans l'étude soient expliquées par des fonctionnements différents. Néanmoins, des résultats similaires ont été montrés dans d'autres études telles que celle de Lewis et al. (1969) qui ont montré une corrélation significative et positive entre performance d'habituation à l'âge d'un an et le QI à 4 ans (à l'aide de l'échelle Stanford-Binet). De même, Miller et al. (1979) ont également montré une corrélation significative et positive entre les performances d'habituation à l'âge de 2-4 mois et les capacités cognitives particulièrement au niveau de la compréhension du langage à l'âge de 3 ans et demi. Plus précisément, les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de vingt-neuf enfants qui ont été exposés à une phase d'habituation face à un stimuli visuel, permettant de mesurer le temps de fixation comme mesure quantitative standard d'habituation. La compréhension du langage a été évaluée par un linguiste expérimenté selon Miller et al. (1979).

Plus récemment, les travaux de recherche récents de Bucaille et al. (2020) se sont particulièrement intéressés à l'étude des fonctions exécutives chez les enfants HP, à l'aide des évaluations standardisées et normées. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de vingt-huit enfants HP (WISC-V, $QI \geq 130$), âgés de 8 ans en moyenne, recrutés dans des écoles, dans des associations d'enfant HP et dans des réseaux de psychologues. Il a été utilisé des batteries standardisées et normées : la batterie FÉE, STROOP, huit Labyrinthes, figure de Rey, et KCST (Kids Card Sorting Test). Les auteurs ont montré un fonctionnement exécutif normatif chez ces enfants et défendent l'idée d'absence de trouble dyséxécutif dans le Haut Potentiel. Les résultats n'ont pas montré de meilleurs scores chez les enfants HP, ce qui pourrait être lié à la

petite taille de l'échantillon étudié. De plus, il aurait été pertinent d'analyser les résultats au regard du profil de QI (homogène/ hétérogène) en prenant en compte le lieu de recrutement. En effet, étant donné les lieux de recrutement, nous pouvons s'attendre à des profils majoritairement très hétérogènes. Ainsi, l'absence de différences significative pourrait être également lié au biais de représentativité qui réside dans le recrutement des enfants HP consultants. Paradoxalement, la méta-analyse de Bucaille et al. (2021) portant sur l'analyse de 658 articles a montré que les enfants HP disposeraient significativement de meilleures capacités que les enfants non HP au niveau de l'attention, la mémoire de travail verbale et dans les tâches de résolution de problèmes faisant appel à la flexibilité cognitive et la représentation mentale. Cependant, les deux groupes ne montraient aucune différence significative au niveau des compétences du traitement visuospatial, de la planification, l'inhibition et la mémoire de travail visuelle et la reconnaissance faciale. Les auteurs ont néanmoins attiré l'attention sur la difficulté que rencontrent les études pour mettre en avant ces différences en raison des biais méthodologiques. De plus, Bucaille et al. (2021) précisent que, comme tous les autres enfants, les HP peuvent présenter des troubles d'apprentissage, qui peuvent être responsables de sous-performances notamment sur le plan scolaire. Ils soulignent ainsi la nécessité de mener d'autres études afin de mieux comprendre cette hétérogénéité entre les articles existants.

L'étude transversale d'Arffa (2007) s'est appuyée sur un échantillon de quarante-cinq enfants HP ($QIT_M=138$), cinquante-cinq enfants avec un QI élevé ($QIT_M=122$), et quarante-huit enfants neurotypiques ($QIT \text{ moyen} = 107$), âgés de 6 à 15 ans, pour étudier les fonctions exécutives chez l'enfant. Pour évaluer le niveau d'intelligence, la WISC-III (Wechsler, 1991) et WRAT-3 (Wide Range Achievement Test Reading and Math ; Stone et al., 1995 ; cité par Arffa, 2007) ont été utilisés. Pour évaluer les fonctions exécutives chez tous les enfants, l'auteur a utilisé différents tests normés et standardisés tels que le « Wisconsin Card Sorting Test » (Heaton et al., 1993 ; cité par Arffa, 2007), le « Trail Making Test » (Reitan & Davidson, 1974 ; cité par Arffa, 2007), le Stroop Color and Word Test (Golden, 1978 ; cité par Arffa, 2007), le « Controlled Oral Word Fluency Test » (Ruff et al., 1996 ; cité par Arffa, 2007). Pour évaluer les fonctions non exécutives selon l'auteur (Arffa, 2007), d'autres tests standardisés et normés ont été utilisés : la figure complexe de Rey (Knight & Kaplan, 2003 ; cité par Arffa, 2007). Les résultats ont montré des performances

significativement meilleures au niveau exécutif, à savoir la mémoire de travail, la résistance aux interférences pendant les tâches d'attention, la planification et la flexibilité mentale, mais pas au niveau non-exécutives. Arffa (2007) a conclu que les enfants HP présentent significativement de meilleurs scores aux tests des fonctions exécutives mais pas aux tests moteurs ou de planification motrice. Cependant, l'auteur s'est basé sur la figure de Rey qui est en réalité un test évaluant les capacités visuo-spatiales pour conclure de façon plus générale sur les capacités motrices. Il convient donc d'être prudent quant à cette interprétation qui n'est pas fondée sur des évaluations de la fonction motrice.

Vaivre-Douret (2004) a montré dans son étude longitudinale rétrospective sur soixante enfants HP tout-venant, une avance de développement (1-2 ans en moyenne) au niveau des fonctions exécutives, plus précisément la planification mise en évidence dès l'âge de trois ans par le test des Labyrinthes (Porteus, 1952). Par ailleurs, l'étude comparative de Planche (2000a) s'est portée sur la compréhension du fonctionnement cognitif et du traitement de l'information chez les enfants HP, âgés de 7 et 8 ans comparés aux enfants tout-venant non HP à l'aide de la Tour d'Hanoï. Ce dispositif permet l'évaluation des capacités de résolution de problèmes car il s'agit de passer d'un état initial à un état objectif en respectant le passage par des états intermédiaires ; nous parlons du processus de « *transformation* ». Le protocole scientifique de cette étude, constitué de deux expériences, a porté dans la première expérience sur dix enfants HP ($QIT_M=135$ à l'aide de l'échelle NEMI), âgés entre 6 ans et 6 mois et 7 ans et 2 mois d'âge chronologique ; 9 ans et 4 mois d'âge mental) comparés à dix enfants tout-venant non HP ($QIT_M=107$), âgés de 8 ans et 7 mois (âge mental=9 ans et 3 mois). Dans la deuxième expérience, l'auteur s'est basé sur un échantillon de quatorze enfants HP ($QIT_M=133$ à l'aide du WISC-III), âgés de 8 ans (âge mental = 10 ans et 8 mois) comparés à dix enfants non HP ($QIT_M=108$), âgés de 9 ans et 10 mois (âge mental= 10 ans et 8 mois). Tous les enfants devaient résoudre la tâche de la Tour d'Hanoï. Les résultats ont montré que les enfants HP, âgés de 7 ans, se distinguaient significativement de leurs pairs du même âge mental par leurs performances supérieures. Ils ont appris plus rapidement les meilleures stratégies de résolution de problèmes. De plus, l'auteur a précisé que les enfants HP âgés de 7 ans transféraient plus facilement les stratégies apprises à des problèmes similaires. À 8 ans, ils présentaient également des capacités d'apprentissage significativement supérieures

à la moyenne des enfants du même âge mental, alors que ces derniers (âgés de 10 ans d'âge chronologique), mobilisaient une capacité de transfert aussi efficace que celle des enfants HP. L'auteur a conclu sur le fait que les enfants HP privilégient le traitement analogique lorsqu'ils doivent traiter successivement des situations similaires soulignant de meilleures capacités métacognitives et créatives lors des apprentissages (Planche, 2000a).

3.3. Métacognition & style de pensée

Certains auteurs (Larochelle & Lévis-Lauzon, 2012 ; Lubart, 2006 ; Lubart et al., 2019 ; Oksenberg, 2020 ; Save-Pédebos & Florea, 2021), s'appuyant sur l'analyse du comportement auprès des enfants HP, évoquent une meilleure capacité de se rendre compte de son propre style de pensée (ou ce que l'on appelle la métacognition) chez les enfants HP comparés aux neurotypiques. C'est à Flavell (1976) que l'on doit le terme « métacognition », qui se définit selon lui comme un monitoring et une régulation des processus cognitifs (Flavell, 1976). Deux dimensions sont à distinguer dans la métacognition (Flavell, 1985) : 1) L'auto-surveillance (monitoring) incluant les connaissances déclaratives (savoir que) et les connaissances procédurales (savoir comment/stratégies). Cette dimension permet d'anticiper les difficultés et de prévoir les actions possibles afin d'optimiser les apprentissages. 2) l'autorégulation qui permet l'ajustement continu. Selon Glaser et Chi, (1988), la métacognition est une composante essentielle de l'apprentissage. Au niveau développemental, Schneider et Löffler (2016) rappellent que les capacités métacognitives qui amènent l'enfant à réfléchir sur ses propres états mentaux se développent à partir de l'âge de trois ans environ. Gauvrit (2021) définit la métacognition comme « *la capacité de penser la pensée et de réguler la cognition* ou encore comme étant *la connaissance des processus cognitifs utilisés pour contrôler ses apprentissages* ». L'auteur précise que la métacognition est statistiquement liée à l'intelligence et est meilleure chez les enfants HP, mais qu'elle prédit plus fortement l'efficacité des apprentissages et la réussite scolaire que l'intelligence (Gauvrit, 2021). Toutefois, il convient de distinguer deux composantes principales de la métacognition selon Gauvrit (2021) : la capacité à évaluer nos propres compétences cognitives et la capacité à inhiber les biais cognitifs. Dans ce sens, il apparaît paradoxal de constater que les individus HP estiment que leur réussite n'est qu'un fait de chance, et se croient moins intelligents

qu'ils ne le sont réellement faisant écho à un sentiment d'illégitimité ou ce que l'on appelle « *le syndrome de l'imposteur* », contrairement aux individus ayant une intelligence faible qui se surestimeraient (effet de *Dunning-Kruger*) (Gauvrit, 2021). Une étude récente (Hofer et al., 2022) a étudié la précision et les effets *Dunning-Kruger* en se basant sur des questions rapides d'intelligence (raisonnement au test ISA de Fay et al., 2001 ; cité par Hofer et al., 2022) et des auto-estimations de l'intelligence générale, mais aussi dans le domaine verbal, numérique et spatial à l'aide du questionnaire de Neubauer et al. (2018). L'échantillon était constitué de participants montrant une intelligence supérieure à la norme (n=281), recrutés à l'université, âgés de 18 ans en moyenne. Les résultats ont montré une précision corrélacionnelle légèrement supérieure pour l'intelligence numérique et modérée pour l'intelligence verbale. Dans tous les domaines, les participants ont évalué leur intelligence comme supérieure à la moyenne. Comme leur intelligence était en effet supérieure, ce n'était donc pas une surestimation. Ainsi, cette étude remet en question la généralité de l'effet *Dunning-Kruger*. Une autre étude grecque a montré des résultats analogues (Papadopoulos, 2021), en se basant sur l'estime de soi comme capacité métacognitive à s'autoévaluer, l'auteur s'est appuyé sur un échantillon de cent-huit enfants HP, âgés de 5 à 6 ans pour investiguer, à l'aide des auto-questionnaires, les relations entre les capacités cognitives élevées chez ces enfants leur « estime de soi ». Les résultats ont montré des corrélations positives et significatives entre le QI élevé et les compétences scolaires. Les auteurs se sont questionnés sur les prédicteurs de de l'estime de soi dans leur échantillon. Par conséquent, l'analyse de régression hiérarchique a révélé le sexe masculin, la compétence scolaire et l'acceptation maternelle comme prédicteurs significatifs de l'estime de soi. Cette étude a souligné grâce à ces résultats la nécessité pour les praticiens d'adopter un programme d'apprentissage socio-émotionnel complet et adapté dans les écoles.

D'autres études, basées essentiellement sur des questionnaires, se sont intéressées à la métacognition chez l'enfant HP. Par exemple, une étude américaine (Snyder et al., 2011) a examiné les différences des capacités métacognitives entre les enfants HP (Matrices de Raven >85^{ème} Percentile ; n=44 lycéens) et les enfants neurotypiques (n=23). La métacognition a été mesurée à l'aide du questionnaire MAI (*Metacognitive Awareness Inventory* ; Schraw & Dennison, 1994 ; cité par Snyder et al., 2011). Il se constitue de 52 items répartis en deux sous-échelles : la première évaluant les connaissances sur les stratégies métacognitives, comment les utiliser. La seconde

évalue la régulation de la cognition à travers les capacités de planification, de gestion de l'information, de suivi, de débogage et d'évaluation. La cotation est de type Likert à 5 points (1 = fortement en désaccord, 5 = fortement d'accord). Enfin, les performances qu'elles doivent être jugées par les participants concernaient quatre examens de biologie, il a été demandé à chaque participant de juger élément par élément, avant et après le test (pré- et post-test). Autrement dit, une évaluation prédictive globale a été menée en demandant aux participants avant chaque examen de prédire le nombre de questions auxquelles ils pensent répondre correctement, et une mesure de précision immédiatement après l'examen en demandant aux participants d'estimer combien de questions ils croyaient avoir répondu correctement. Les résultats ont montré que les participants à Haut Potentiel montraient significativement de meilleures capacités de métacognition par rapport aux neurotypiques sur les mesures post-examens que ce soit au niveau de chaque élément d'examen ou de manière globale sur les quatre examens. En revanche, aucune différence significative n'a été notée dans les jugements prédictifs globaux (Synder et al., 2011).

D'autres recherches ont montré de meilleures capacités métacognitives chez les enfants HP comparés aux enfants neurotypiques, en particulier les connaissances déclaratives de la dimension « *monitoring cognitif* » qui correspondent à l'estimation ou l'évaluation de l'état du système cognitif (Alexander et al., 1995 ; Alexander & Schwanenflugel, 1996 ; Barfurth et al., 2009 ; Borkowski et al., 1983 ; Carr et al., 1996 ; Schwanenflugel et al., 1997). Ces différences suivent un schéma dit « monotone » de développement au lycée (Alexander et al., 1995 ; Alexander & Schwanenflugel, 1996). Même les enfants HP ayant des troubles d'apprentissage ont montré des capacités de métacognition significativement plus élevées que celles des enfants neurotypiques ayant des troubles d'apprentissage selon Hannah et Shore (1995). Dans ce sens, l'étude descriptive canadienne (Hannah & Shore, 1995) s'est basée sur l'analyse des données de quarante-huit garçons HP, scolarisés à l'école primaire, ayant des troubles d'apprentissage et moyennement performants à l'école. Ces données ont été comparées par rapport aux élèves neurotypiques de la classe, ayant aussi des troubles des apprentissages. Les enfants HP ont été identifiés suite à des bilans antérieurs. La métacognition a été mesurée à travers les connaissances déclaratives et les compétences métacognitives sur une tâche de lecture à voix haute avec détection d'erreurs et questions de compréhension. Les résultats ont montré que les performances de métacognition des enfants HP ayant des troubles d'apprentissage

étaient significativement plus élevées par rapport à celles des enfants neurotypiques ayant des troubles d'apprentissage.

Dans le contexte des apprentissages, Swanson (1992) s'est intéressée à la relation entre la métacognition et les processus de raisonnement sous-jacents aux capacités de résolution de problèmes chez les enfants HP. Vingt-six enfants HP ($QI \geq 130$ au WISC-R ; recrutés dans un programme spécial HP), trente-huit enfants à QI moyen et trente-deux enfants à QI faible ont été recrutés dans des classes régulières de l'école publique. Tous les enfants étaient âgés de 11 ans en moyenne. Tous les enfants ont passé la tâche combinatoire de résolution de problèmes, adaptée de Inhelder et Piaget (1958), qui consistait en la demande suivante : « *découvrez une combinaison de trois liquides clairs et incolores qui donnent une couleur particulière lorsqu'un indicateur est ajouté. Les sujets ont été informés qu'il est possible de produire un jaune à partir de quatre liquides clairs, incolores et sans odeur, étiquetés 1, 2, 3, et G. Le Liquide G est l'indicateur. Les enfants ignoraient quel liquide ou quelle combinaison de liquides donnerait la Couleur. Une solution correcte est celle qui implique les combinaisons des liquides 1, 3 et G. La solution 2 n'altère pas la solution de la couleur.* ». Rappelons que cette tâche permet d'évaluer les processus de la génération d'une représentation mentale d'un problème (extraire des informations afin qu'une représentation intégrée du problème soit correctement formée) et un processus de solution impliquant une recherche de la résolution de problèmes dans l'espace (permettant de noter les différences individuelles dans la génération d'un ensemble coordonné d'étapes permettant de donner le résultat souhaité de manière efficace). La métacognition a été mesurée à l'aide d'un auto-questionnaire adapté (Swanson, 1990 ; cité par Swanson, 1992). Les résultats ont montré que les enfants HP, comparés aux autres groupes, utilisaient moins de mouvements pour résoudre le problème, avec des schémas de coordination plus ciblés et plus efficaces. De plus, ils présentaient des connaissances métacognitives significativement plus élevées notamment sur au niveau du jugement des stratégies adoptées. Un autre résultat très pertinent est celui qui portait sur les schémas inter-corrélationnels qui sont qualitativement et significativement différents entre la résolution de problèmes, la métacognition et les mesures psychométriques, reflétant ainsi des différences qualitatives au sein des groupes. Plus précisément, les enfants HP présentaient un niveau élevé d'indépendance entre les mesures, alors que les schémas de corrélations au sein des autres groupes d'enfants neurotypiques s'avéraient plus interdépendants. Les auteurs

ont conclu sur un style de traitement de l'information spécifique aux enfants HP, qui est efficace et ciblé, réconfortant ainsi les hypothèses d'une efficacité du système nerveux central. D'autres auteurs s'appuyant sur l'analyse du comportement auprès des enfants HP (Laroche & Lévis-Lauzon, 2012 ; Lubart, 2006 ; Lubart et al., 2019 ; Oksenberg, 2020 ; Save-Pédebos & Florea, 2021) évoquent de meilleures capacités de métacognition comparés aux neurotypiques.

Au-delà de la métacognition, Gauvrit (2021) évoque la présence significative d'un style de pensée dit « pensée divergente » chez les enfants HP étant donné qu'elle repose sur des capacités cognitives plus élevées. Cette notion de la pensée divergente a été nommée sous forme métaphorique « *pensée en arborescence* » par Siaud-Facchin (2004, 2008). En revanche, cet auteur considère, en se basant sur ses observations, que la différence de pensée des enfants HP réside essentiellement dans une spécificité qualitative, n'étant pas quantitativement plus intelligents selon elle (Siaud-Facchin, 2004, 2008). Il apparaît cependant difficile d'adopter cette approche étant donné tous les arguments scientifiques notamment neurobiologiques, cognitifs, et développementaux que nous avons présenté ci-dessus. Gauvrit (2021) attire l'attention des praticiens sur la connotation du terme « *pensée en arborescence* » qui peut évoquer une signification négative comme une pensée qui déborde ou envahit l'enfant, alors qu'aucun modèle scientifique ne valide cette hypothèse. Vaivre-Douret (2011) évoque que ce type de pensée en arborescence est plutôt pathologique s'il n'est pas canalisable.

Dans cette quête de compréhension du fonctionnement cognitif des enfants HP, les travaux de Sternberg ont été parmi les pionniers impliqués dans la compréhension du HP au-delà des performances, s'intéressant particulièrement au mode de pensée (Sternberg & Grigorenko, 1993 ; Sternberg & Wagner, 1991). Bien que leurs postulats soient principalement théoriques, ils rapportent de nouveaux éléments permettant d'investiguer les caractéristiques du HP. Sternberg et Grigorenko (1993) considèrent les styles de pensées comme étant un pur produit du développement fortement influencé par l'environnement. De plus, chez les individus HP comme chez les non-HP, le style de pensée peut changer d'un stade de vie à un autre selon Sternberg et Grigorenko (1993). L'auteur s'est basé sur une métaphore avec le monde politique pour expliquer sa théorie du « *Mental Self-Government* » qui a pour traduction simplifiée « l'autonomie mentale ». Celle-ci implique trois fonctions principales : 1) fonction dite « *législative* » impliquant la créativité, l'imagination et la planification ; 2)

la fonction *exécutive* de l'esprit s'occupant de mettre en œuvre les processus mentaux ; 3) fonction dite « *de la justice* » permettant de juger, d'évaluer, et de comparer. L'enfant HP serait caractérisé par le style « *législatif* » et « *de la justice* » (Sternberg & Grigorenko, 1993).

Par ailleurs, pour mesurer le style de pensée Sternberg et Wagner (1991) ont développé un questionnaire « *Thinking Styles Inventory : TSI* ». Cependant, la validité interne de l'instrument de mesure ne serait pas optimale malgré une la cohérence externe de l'outil qui est forte, (Dai et al., 1999). Ceci remet en question la théorie avancée par Sternberg. Dans le même contexte, Renzulli (2006) s'est également intéressé aux styles de pensée chez l'enfant HP, en se basant sur son modèle théorique des trois anneaux (Renzulli, 1978), il évoque la présence d'un niveau élevé de pensée abstraite, de fluidité, flexibilité et originalité de la pensée, goût du risque dans la pensée et de la pensée logique par analogie. Gaspard et al. (2010) se sont basés sur onze entretiens semi-directifs auprès de onze enfants HP, recrutés dans des écoles pour essayer de comprendre le style de pensée le plus dominant dans le Haut Potentiel. Ils ont affirmé la prépondérance d'une pensée formelle qui selon eux développée précocement et caractérisée par un caractère créatif récurrent dans les entretiens. Rappelons que ces critères remarqués par Gaspard et al. (2010) à l'aide des entretiens semi-directifs font écho aux capacités d'autorégulation permettant un contrôle intentionnel sur la pensée et les actions. Ce contrôle, assuré par les fonctions exécutives, notamment la flexibilité cognitive, l'attention et la mémoire de travail, permet la mise en place de conduites complexes et adaptatives dans des situations nouvelles (Chevalier, 2010). Qu'en est-il alors des capacités d'attention et de la mémoire de travail chez l'enfant HP ?

3.4. Des fonctions exécutives (mémoire de travail et attention) aux fonctions instrumentales (langage oral et écrit)

Les fonctions exécutives désignent l'ensemble de processus cognitifs de haut niveau permettant l'adaptation à des situations nouvelles qui ne peuvent s'effectuer par automatisme. Les fonctions exécutives incluent différentes fonctions cognitives telles que l'attention, la mémoire de travail, le maintien et la mise à jour, la planification, l'inhibition, la flexibilité cognitive, la prise de décision, et la métacognition. Elles sont

généralement sous-tendues par différents réseaux neuronaux, particulièrement le lobe frontal, avec un rôle primordial de la région préfrontale et du cortex insulaire antérieur chez les enfants (Rossi et al., 2013) ainsi que le cervelet (Mariën & Paquier, 2005). Les fonctions exécutives sont généralement impliquées dans les activités dites complexes, telles que la résolution de problèmes et la catégorisation, les apprentissages scolaires, ou encore la régulation des émotions et la théorie de l'esprit (Chevalier, 2010). Elles entretiennent des corrélations positives et significatives avec la réussite académique (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006 ; Titz & Karbach, 2014) et les capacités de transfert au niveau des apprentissages notamment par rapport à la flexibilité cognitive (Clerc & Josseron, 2022). Le déficit exécutif peut être retrouvé dans divers troubles neurodéveloppementaux tels que le TDAH (Swanson, 2003), le TSA (Demetriou et al., 2019) ou lésionnels tels que dans le cas d'épilepsie, de kystes (Lebert, et al., 2018 ; MacAllister et al., 2014). Il existe différents modèles des fonctions exécutives (voire modèle de Baddeley & Hitch, 2000 ; Barkley, 1986 ; Case, 1987 ; Luria, 1966 ; Norman & Shallice, 1980 ; Posner & Peterson, 1990).

La mémoire de travail permet le maintien et le traitement simultané d'informations jugées pertinentes lors de la réalisation d'une activité cognitive complexe, elle fait partie intégrante des fonctions exécutives (Baddeley & Hitch, 1974). La mémoire de travail se compose de quatre composantes, les deux premières assurent le stockage temporaire des informations (mémoire à court terme). Il est distingué d'un côté le calepin visuospatial qui sert à stocker les informations visuospatiales, et la boucle phonologique d'un autre côté, permettant de stocker les informations verbales (Baddeley & Hitch, 1974). A ceci s'articule le tampon épisodique chargé de l'intégrer multimodale des informations stockées dans la boucle phonologique, le calepin visuospatial et certaines informations de la mémoire à long terme. La quatrième composante qui est distincte vers l'âge de 4-6 ans, est appelée l'administrateur central (le siège du contrôle exécutif) alloué au contrôle et au traitement des informations stockées dans la boucle phonologique et dans le calepin visuospatial, en faisant appel aux capacités de l'attention sélective, divisée et à la flexibilité cognitive (Baddeley, 2003). Il existe d'autres modèles de la mémoire de travail tels que celui de Cowan (2005), Engle et al. (1999), expliquant le lien conjoint entre l'administrateur central qui sous-tend l'attention et le contrôle exécutif et de la mémoire de travail.

De façon générale, bien qu'elle ne soit pas intéressée par l'étude du Haut Potentiel, l'étude expérimentale et comparative de Bjorklund et al. (1994) a cherché à comprendre de manière plus générale les stratégies de mémoire chez les enfants ayant un niveau élevé de QI et chez ceux ayant un faible QI. Soixante-deux élèves de différents milieux socio-économiques de troisième année, recrutés dans deux écoles publiques du sud de la Floride ont participé à cette expérience (32 garçons et 30 filles, âge moyen = 9,17 ans, ET = 0,57 an) ainsi que quatre-vingt-un élèves de ces mêmes écoles de quatrième année (37 garçons et 44 filles, âge moyen = 10,18 ans, ET = .38 ans). Selon les auteurs (Bjorklund et al., 1994), cette tranche d'âge a été choisie, car entre 9 et 10 ans, les enfants utilisent peu de stratégie organisationnelle spontanément lorsque les items sont atypiques (ils peuvent cependant le faire assez facilement lorsque les items présentés sont assez simples). Tous les enfants ont effectué les subtests *vocabulaire* et *information* du WISC-R. Le QI verbal moyen du groupe d'enfant à « faible QI » était de 87,2 (ET = 12,5). Celui des enfants à « QI élevé selon les auteurs » était de 111,8 (ET = 7,5). Il était également proposé aux enfants d'observer des images réparties en plusieurs types (images modérément typiques, non typique, et atypique). Le jugement de la typicité des images était basé sur des études antérieures générées auprès d'adultes et d'enfants (Bjorklund et al., 1994). Dans cette expérience composée de 4 phases (dans laquelle il leur était présentés à chaque fois des images), les enfants devaient mémoriser les images et ils étaient au courant dès le début qu'ils devaient se rappeler de celles-ci. Une carte, qu'ils devaient nommer, leur était présentée toutes les deux secondes. Après la présentation, les enfants pouvaient faire ce qu'ils souhaitaient durant 2 minutes avec les cartes pour s'aider à les mémoriser. Il leur était ensuite demandé d'effectuer une tâche interférente (résolution de problème). Ils ont effectué cela 4 fois avec des groupes d'images différentes. Dans une seconde phase de l'expérience, la moitié des enfants de chaque groupe (QI élevé et QI faible) ont eu une formation à l'utilisation de stratégie organisationnelle. En plus de bénéficier des stratégies pour enregistrer plus facilement les cartes, il leur était dit par exemple, qu'il était plus facile de se souvenir des cartes lorsque celles-ci étaient triées par grandes catégories. Il leur était également proposé une démonstration sur la façon de trier les cartes et d'étiqueter les catégories utilisées. Ils ont alors pu utiliser ces nouvelles stratégies qu'ils venaient de découvrir, tout en ayant des corrections sur leur manière d'utiliser ces stratégies. Ils étaient ensuite encouragés verbalement à utiliser ces nouvelles stratégies pour les essais ultérieurs.

Les autres enfants (l'autre moitié) n'ont pas bénéficié de cette formation. Il s'agissait du groupe contrôle.

Les résultats de Bjorklund et al. (1994) ont montré que les enfants entraînés utilisent considérablement et significativement plus de stratégies au deuxième essai qu'au premier. Les enfants non entraînés ayant un QI élevé utilisent également plus de stratégies au deuxième essai, alors que les enfants ayant un QI faible, non entraîné, n'utilisent pas plus de stratégie entre le premier et le deuxième essai. Il est également observé que les enfants ayant une liste de mots typique mettaient plus facilement et significativement en place des stratégies que les enfants ayant les autres listes de mots. Ainsi cette étude conclut que les enfants ayant un QI élevé, sont plus susceptibles d'utiliser des stratégies de mémorisation que les enfants ayant un QI faible. Il est également observé que le rappel moyen est significativement plus élevé chez les enfants ayant un QI élevé par rapport aux enfants ayant un faible QI dans toutes les phases. Cependant c'est seulement au troisième essai que la différence est significative après une semaine, aucun groupe ne maintenait des niveaux de rappel élevé. En effet, les niveaux étaient faibles et comparables à ceux observés sur la phase de base. Cependant, les groupes ayant reçu des conseils et les enfants avec un QI élevé utilisaient plus de stratégies de regroupement et de tri contrairement au groupe contrôle avec un QI faible. Ainsi, les auteurs ont affirmé que le niveau de QI, l'entraînement et le type de matériel utilisé ont un effet sur les stratégies de mémorisation.

Chez les enfants HP, Gaultney et al. (1996), se sont intéressés à l'utilisation d'une stratégie organisationnelle par des enfants HP et non HP, qui ont été comparée sur des tâches de rappel libre en plusieurs essais. Cette étude expérimentale était constituée de trois expériences. L'échantillon d'étude était constitué de trente-six enfants HP, recrutés dans un programme de jeune talents (16 filles et 20 garçons ; âge moyen = 13,25 ans) et vingt-sept non HP (17 filles et 10 garçons ; âge moyen = 13,34 ans) recrutés dans une école privée du sud de la Floride. La sélection des enfants HP a été confirmée par un score >97ème centile au test de réussite ou d'intelligence normé (au moins 550 au test SAT « Scholastic Assessment Test » Math, 500 sur le test SAT Verbal). Il a été présenté à chaque sujet cinq listes différentes de mots catégorisables (trois catégories par liste, six éléments par catégorie). Les catégories utilisées étaient les vêtements, les sports, les fruits, le métal, les véhicules,

animaux, temps, armes, meubles, emplois, instruments, outils, parties d'un bâtiment, légumes et fleurs. Après avoir reçu une explication de la tâche, chaque enfant a vu les mots cibles de la première liste, un mot à la fois. Chaque mot était affiché pendant 3 secondes puis face cachée sur la table devant l'enfant. Après avoir vu tous les mots pour cette liste, l'enfant a résolu les problèmes des matrices progressives de Raven pendant 30 secondes (tâche de compensation de tampon destinée à éliminer les effets de récence). Les sujets ont ensuite été invités à rappeler les mots de cette liste dans n'importe quel ordre souhaité. Après une période de 10 secondes sans réponse, les enfants ont été encouragés à réfléchir encore quelques secondes et essayer de rappeler plus de mots. Après un total de 20 secondes sans réponse, le test a été terminé. La même procédure a été suivie pour les quatre essais restants. La première expérience a montré que les enfants HP avaient initialement des niveaux de rappel et de fonctionnement stratégique significativement plus élevés que les enfants non HP, mais cet avantage a été perdu lors d'essais ultérieurs. Alors que dans l'ensemble, il y avait un avantage à la mémoire d'être stratégique, cet avantage était statistiquement significatif pour les enfants HP uniquement lors du premier essai, alors qu'il était significatif pour les enfants non HP lors des essais 2 à 5. Dans la seconde expérience, une procédure de rappel de tri a été utilisée. Les résultats ont montré que les enfants HP étaient significativement meilleurs que les enfants non HP lorsque l'utilisation de la stratégie était simplifiée, tandis que les résultats de la troisième expérience, qui utilisaient des pseudo-mots comme stimuli, démontraient que les enfants HP utilisaient significativement davantage les stratégies actives que les enfants non HP. Les auteurs ont interprété l'ensemble des résultats de ces expériences comme une preuve que les meilleures capacités des enfants HP sur les tâches de rappel libre résident dans des processus non stratégiques (Gaultney et al., 1996).

Les études récentes que nous détaillerons au fur et à mesure de ce chapitre (Besançon et al., 2006 ; Bessou et al., 2005 ; Loureiro et al., 2009 ; Peyre et al., 2017 ; Revol & Bléandou, 2012 ; Rodriguez-Naveiras et al., 2019 ; Urban & Comte, 2021 ; Viana-Sáenz et al., 2020) évoquent à l'unanimité des meilleures capacités mnésiques, linguistiques, et au niveau du raisonnement logique cognitives chez les enfants HP comparés aux enfants neurotypiques. La méta-analyse de Viana-Saenz et al. (2020) regroupant 17 études (1518 enfants : 591 HP et 927 typiques), âgés entre 6 et 12 ans, souligne un consensus dans la littérature scientifique sur de meilleures capacités de

mémoire de travail verbale plus que la mémoire de travail visuo-spatiale chez les enfants HP, mais pas de différence significative entre les deux groupes concernant l'inhibition, la planification, et la flexibilité cognitive. La méta-analyse d'Urban et Comte (2021) a souligné l'association récurrente des capacités de mémoire de travail verbale élevée chez les enfants HP comparée à la mémoire de travail visuo-spatiale. Une autre méta-analyse (Rodriguez-Naveiras et al., 2019) analysant dix-sept études regroupant 609 sujets HP et 969 non-HP, âgés de 7 à 17 ans, a mis en évidence de meilleures capacités de mémoire de travail souvent retrouvées chez les enfants HP. La revue de littérature de Revol et Bléandonu (2012) a mis en évidence des meilleurs capacités cognitives notamment au niveau des fonctions exécutives chez les enfants HP par rapport aux enfants neurotypiques. Les auteurs ont évoqué l'importance de l'identification du HP ce qui permet selon eux un bon développement et un épanouissement à la fois personnel et social, ignorer cette identification serait un risque pour l'enfant selon Revol et Bléandonu (2012). Jambaqué (2004) a souligné à travers sa revue de littérature un taux d'hétérogénéité de profils cognitifs qui serait spécifique aux enfants HP avec de meilleures capacités de raisonnement au détriment des capacités attentionnelles et mnésiques. Elle a ainsi précisé l'importance d'une évaluation de l'ensemble des fonctions cognitives chez ces enfants notamment la mémoire et l'attention étant particulièrement impliqués dans les apprentissages.

L'étude canadienne de Berg et McDonald (2018) a examiné la mémoire à court terme, la mémoire de travail, la vitesse de dénomination, la conscience phonologique, et le fonctionnement exécutif chez 51 enfants (29 garçons et 22 filles), âgé d'environ 7 ans. Deux groupes ont été constitués : 23 enfants HP particulièrement dans le domaine des mathématiques selon les auteurs (16 garçons et 7 filles) et 28 enfants neurotypiques (13 garçons et 15 filles). Les classifications des enfants HP et neurotypiques étaient déterminées sur les performances au subtest de raisonnement mathématique « Wechsler Individual Achievement Test » (WIAT-II, Wechsler, 2002 ; cité par Berg & McDonald, 2018). Les autres domaines ont été évalués par des tests standardisés et normés tels que le test de mémoire pour les chiffres et la répétition des non-mots (Wagner et al., 1999 ; cité par Berg & McDonald, 2018), de mémoire de travail visuo-spatiale de Swanson (1995). Une analyse de modèles de régression pas à pas, utilisant une variable de contraste pour identifier les différences de raisonnement mathématique entre les enfants HP et neurotypiques, a été créée pour examiner quels domaines cognitifs expliquerait mieux les différences de raisonnement

mathématique. La mémoire à court terme et la mémoire de travail visuo-spatiale sont apparues comme les seuls prédicteurs cognitifs dans le modèle. Ce modèle a mis en exergue toute la variance distinguant le raisonnement mathématique entre les enfants HP et non HP, expliquant une contribution globale de 70 % de la variance globale du raisonnement mathématique.

Quant aux capacités attentionnelles, de façon plus générale, à partir de différentes théories cognitives de l'attention et fonctions exécutives (De Jong & Das-Small, 1990 ; Posner & Boise, 1971 ; Sturm & Zimmermann, 2000) et de l'intelligence (Carroll, 1993 ; Piaget, 1952), les auteurs (Schweizer et al., 2005) ont validé avec un degré de satisfaction suffisant un modèle computationnel de l'intelligence (figure 14), mettant en évidence les relations entre l'attention et les capacités intellectuelles telles qu'elles sont mesurées par les tests utilisés par les auteurs (*AMP* : intelligence mesurée avec les matrices de Raven). Selon ce modèle, un facteur commun constitué à la fois de l'attention du premier ordre (perception de l'information) et l'attention du deuxième ordre (impliquant l'attention soutenue et les fonctions exécutives), est le meilleur prédicteur du niveau d'intelligence (figure 8), et que plus l'intelligence est élevée, plus les capacités attentionnelles sont meilleures. Ainsi, nous pouvons déduire les capacités attentionnelles devraient être meilleures chez les enfants ayant une intelligence supérieure à la norme (comme dans le cas du HP).

De manière générale, il a été généralement montré des corrélations significatives et positive entre l'intelligence et les capacités attentionnelles. Par exemple, l'étude de Schweizer et al. (2005) s'est intéressée à un échantillon de 197 participants pour étudier la relation entre l'attention et l'intelligence à l'aide d'une méthode mathématique de pointe « *la modélisation par équation structurelle supervisée* », basée sur les analyses mathématiques de cheminement (Pathway analysis), les analyses factorielles, et les analyses d'équations simultanées. Différents tests d'attention ont été utilisés pour évaluer la vigilance, l'attention soutenue, l'attention focalisée, la commutation attentionnelle, l'attention divisée, l'inhibition, l'attention spatiale, la planification, et la gestion de l'interférence (Schweizer et al., 2005). Les auteurs ont essayé de contrôler l'effet de la fatigue en administrant l'ensemble de ces tests en deux séances. Les matrices de Raven (1962) ont été utilisés pour évaluer l'intelligence chez tous les participants. Les résultats ont montré que chaque type d'attention était significativement et positivement lié à l'intelligence,

et un degré élevé de chevauchement dans la prédiction de l'intelligence a été observé pour les différents types d'attention.

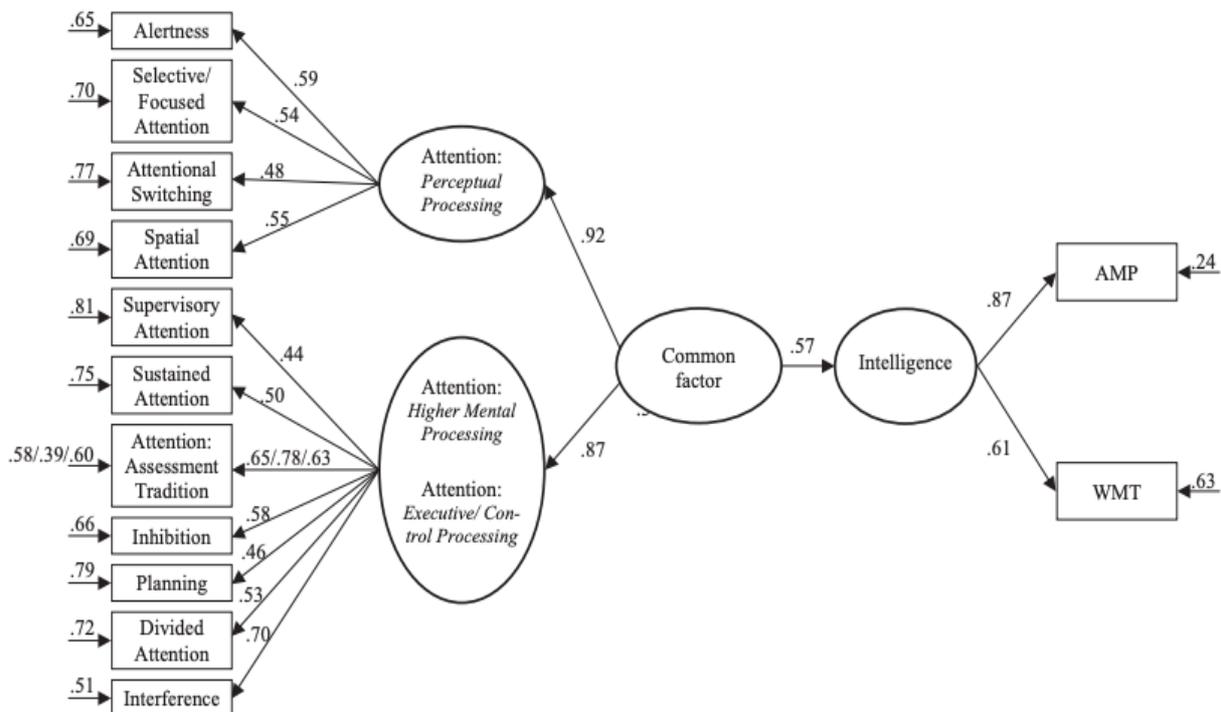


Figure 8:Modèle hiérarchique de l'intelligence et l'attention (Schweizer et al., 2005).

*Les valeurs sur les flèches indiquent les coefficients de régression entre les unités ; AMP : intelligence mesurée avec les matrices de Raven ; WMT : intelligence mesurée avec le test de Forman et Piszwanger.

Chez les enfants HP, les recherches se sont particulièrement intéressées à l'étude des performances dans le cadre du TDAH. Tordjman et al. (2018) évoquent dans son apport de la recherche clinique des excellentes capacités attentionnelles chez les enfants HP aux tests psychométriques contrairement à ce que les parents apportent. Dans leur étude comparative menée au Centre National d'Aide pour enfants et adolescents HP en France (CNAHP), Tordjman et al. (2018) se sont intéressés à l'analyse des résultats du test neuropsychologique d'attention (Test d'Évaluation de l'Attention chez l'enfant : TEA-Ch) auprès d'un groupe d'enfants HP (WISC-IV ; Wechsler, 2005) (n=105) comparé à un groupe d'enfants non-HP (n=260). Tous les enfants (HP et non-HP) accueillis au CNAHP sont à priori en difficulté notamment scolaire. Cependant, les résultats ont montré une préservation des capacités attentionnelles chez les enfants HP voire même des performances significativement supérieures à celles des enfants non-HP (Tordjman et al., 2018). Ces meilleurs scores concernaient la flexibilité attentionnelle qui consiste en la capacité à alterner entre deux processus cognitifs en fonction des tâches, l'attention divisée, et l'attention

soutenue. Les auteurs ont néanmoins nuancé la différence entre une situation de passation individuelle liée au test neuropsychologique du TEA-CH, qui pourrait représenter une stimulation pour les enfants HP en particulier et la situation à l'école qui est plutôt un apprentissage de groupe où les enjeux sont différents. Ainsi, selon Tordjman et al. (2018), si ces résultats ne peuvent être généralisés sur les enfants HP en situation scolaire, ils soulignent néanmoins les capacités attentionnelles excellentes chez les enfants HP qui sont particulièrement influencées par l'environnement (Tordjman et al., 2018).

Loureiro et al. (2009) ont fait une analyse approfondie au regard du profil de QI (homogène/ hétérogène) chez 45 enfants HP, en utilisant le test d'évaluation de l'attention chez l'enfant (TEA-CH) et le bilan neuropsychologique de l'enfant (NEPSY) pour évaluer les capacités d'attention sélective auditive et visuelle, l'attention soutenue auditive et visuelle et l'attention divisée auditive-auditive et auditive-visuelle. Les résultats ont montré que les enfants HP au QI homogène possédaient des capacités attentionnelles dans la norme par rapport aux enfants présentant un profil intellectuel hétérogène. Autrement dit, le groupe d'enfants HP avec un QI homogène disposent de meilleures capacités pour mobiliser des capacités attentionnelles, tout en restant dans la norme, comparés aux enfants HP avec un QI hétérogène (Loureiro et al., 2009). Toutefois, il est regrettable que cette étude ne détaille pas les résultats au regard des indices qui pourront eux-mêmes être analysés en fonction d'autres domaines de développement. Plus récemment, l'étude expérimentale d'Aubry et Bourdin (2021) sur cinquante-cinq enfants HP, recrutés dans des programmes « *spécial HP* » à écoles, âgés de 8 à 14 ans (QI au 95 Percentile au WISC-IV ou Matrices de Raven) et cinquante-cinq enfants non-HP du même âge ($85 \leq \text{QI} \leq 115$; matrices de Raven), a montré que les enfants HP ne diffèrent pas significativement des enfants non-HP dans une tâche cognitive impliquant notamment l'attention et les fonctions exécutives. Cependant, les auteurs ont démontré que les enfants HP se distinguent des enfants non-HP en termes de précision de traitement de l'information contrairement à la vitesse de traitement qui ne différait pas significativement entre les deux groupes. Les auteurs déduisent que les enfants HP disposent de meilleures capacités de précision pour résoudre un simple conflit de perception (Aubry & Bourdin, 2021). La tâche utilisée s'intéressait à l'évaluation des trois réseaux simultanément (alerte, orientation et contrôle exécutif). Le participant devait indiquer la direction d'un symbole central (dessin de poisson) en appuyant,

aussi rapidement que possible sans faire d'erreur, sur la touche gauche ou droite du clavier. Chaque essai comportait la même structure (figure 9) : une croix de fixation affichée pendant une durée fixée aléatoirement entre 400 et 1400 ms ; un des quatre signaux a été affiché à l'écran pendant 100 ms [aucune étoile n'a été affichée à l'écran (1 : aucune condition de repère), une étoile apparaissait dans le milieu de l'écran au lieu de la croix de fixation (2 : condition de repère central), une étoile était affichée en dessous et une autre au-dessus de croix de fixation (3 : condition de double repère), ou l'emplacement correct de la cible au-dessous ou au-dessus de la croix de fixation était indiqué à 100 % par l'étoile (4 : condition de repère spatial valide)]. Après un début de stimulus dit asynchrone fixé à 400 ms, la cible (poisson) était affichée seule soit parmi quatre autres stimuli à l'écran : soit un seul poisson au-dessus ou au-dessous de la croix de fixation (c'est-à-dire condition neutre), ou le poisson du milieu dans la même direction que 4 autres (condition congruente), ou le poisson du milieu dans la direction opposée à 4 autres (condition incongrue). La cible a été présentée jusqu'à l'obtention de la réponse du participant, dans la limite d'une durée limitée à 1700 ms. Les participants ont effectué 288 essais après 24 essais d'entraînement. Les participants devaient réaliser les 288 essais sans feedback. Les auteurs ont conclu que les enfants HP sont plus précis que rapides par rapport aux témoins.

Une précision et un contrôle exécutif très efficient jouant habituellement un rôle très importants dans la mémoire de travail et semblent être des caractéristiques spécifiques chez les enfants HP, particulièrement dans les tâches attentionnelles (Aubry & Bourdin, 2021). Ainsi, sur le même échantillon, mais dans une autre étude, Aubry et al. (2021) se sont posés la question sur ce qui pourrait expliquer les différences de performance de la mémoire de travail entre les enfants HP et non-HP. Ils ont ainsi étudié ce sujet en mesurant la capacité de la mémoire de travail avec des durées complexes. Les résultats ont confirmé que les enfants HP avaient une capacité de mémoire de travail plus élevée que les enfants non-HP, et une attention exécutive plus efficace. En revanche, les différences de mémoire de travail entre les groupes n'étaient pas significativement influencées par les différences d'attention exécutive. Les auteurs ont expliqué ce résultat par le fait que les enfants HP trouvent des solutions plus rapidement dans la phase de traitement de la tâche de mémoire de travail, ce qui leur laisserait plus de temps pour actualiser les éléments à retenir (Aubry et al., 2021). Ils précisent qu'il est important de noter que cet effet était spécifique à la vitesse sur les problèmes complexes et que la vitesse de traitement de « *bas niveau* »,

telle que mesurée dans l'étude précédente, ne contribuerait pas à la capacité de mémoire de travail plus élevée des enfants HP.

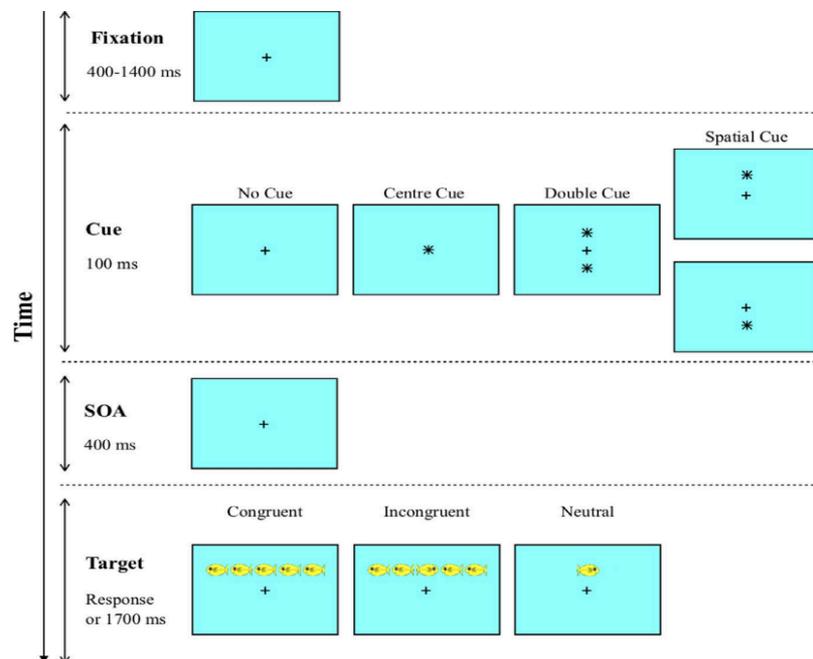


Figure 9: Protocole expérimental de l'étude d'Aubry et Bourdin (2021).

Des résultats convergents ont été mis en exergue dans l'étude canadienne de Johnson et al. (2003), qui a examiné les performances d'enfants HP (WISC-III : 99 Percentile). Parmi les enfants HP, les auteurs ont distingué 17 enfants âgés de 8 ans en moyenne et 40 enfants âgés de à 10 ans en moyenne. L'ensemble des enfants HP était issu de programmes académiques d'HP. Les deux groupes ont été appariés selon l'âge et le sexe à 92 enfants non-HP issus d'écoles ordinaires. Les auteurs ont tenté d'évaluer l'attention avec les capacités d'inhibition et la vitesse de traitement à l'aide de tests standardisés et normés tels que le Stroop (Golden, 1978 ; cité par Johnson et al., 2003). En comparaison avec leurs pairs non-HP, les enfants HP ont obtenu des scores plus élevés aux épreuves d'attention et ont répondu plus rapidement aux tâches en résistant mieux aux interférences, mais pas significativement (Johnson et al., 2003). De plus, Il n'y avait pas de différence significative entre les groupes concernant la tâche nécessitant une inhibition automatique. Les comparaisons entre les enfants plus âgés et plus jeunes ont montré des résultats similaires (Johnson et al., 2003). Les auteurs suggèrent que les performances attentionnelles et d'inhibition

d'enfants HP varient selon le type d'épreuve et ne fait pas un élément significatif de différenciation entre non-HP et HP (Johnson et al., 2003).

Par ailleurs, au niveau du langage, Vaivre-Douret (2004) a apporté dans son étude longitudinale rétrospective sur soixante enfants HP tout-venant (WISC-III) (Wechsler, 1991), une avance développementale au niveau du langage chez ces enfants en les comparant conjointement aux enfants non-HP. Étant la seule étude longitudinale détaillant les stades du développement du langage oral et écrit durant les quatre premières années de vie en comparaison avec les normes du Brunet-Lézine (Brunet & Lézine, 2001), nous rapportant le tableau ci-après afin de résumer ces stades du développement (tableau 1).

Tableau 1: Comparaison entre les items du développement langagier des enfants HP (suivis en longitudinal : n = 60) et les normes développementales françaises sur les quatre premières années de vie (Vaivre-Douret, 2004).

Stade de développement langagier	Age moyen de l'échantillon HP* (n=60) (mois, semaines)	Normes du Brunet-Lézine (2001) (mois)
Babillage (consonnes)	4 mois ± 3 semaines	7 mois
Premiers mots (au moins trois)	9 mois ± 1 semaine	12 mois
Répétition de mots de manière exponentielle	12 mois ± 4 semaines	18 mois
Première phrase (association de deux mots)	18 mois ± 2 semaines	21 mois
Imitation des bruits d'animaux	22 mois ± 2 semaines	–
Vocabulaire précis et mature sans le langage bébé, utilisation correcte des temps verbaux	22 mois ± 2 semaines	–
Premières lettres et figures d'identification spontanées dans l'environnement	24 mois ± 4 semaines	–
Aime donner des synonymes ou le contraire	28 mois ± 4 semaines	–
Utilisation du pronom à la première personne "je"	30 mois ± 2 semaines	30 mois
Faire semblant d'écrire	34 mois ± 2 semaines	–

Cette étude a porté une attention particulière sur le langage écrit en y repérant l'expression des prérequis à travers des simulacres (écriture) qui ont été rapportés par les parents ou observés de façon très précoce (autour de 34 mois), alors que ces enfants ne connaissaient pas les lettres et n'ont pas eu un apprentissage de l'écrit (Vaivre-Douret, 2004) (figure 10). Ces résultats divergent avec les observations de Terrassier (1979, 2002, 2012, 2005, 2020) soutenant l'idée d'un développement intellectuel précoce au détriment des capacités psychomotrices et graphomotrices. Cependant, ses résultats ne peuvent être généralisés en raison du biais de recrutement et de l'absence de validation scientifique de ses observations. D'autres

études avancent l'idée d'une dysgraphie systématique ou des performances graphomotrices moindres par rapport aux capacités intellectuelles (Arffa, 2007 ; Bessou et al., 2005 ; Fumeaux & Revol, 2014 ; Liratni & Pry, 2012). Cependant, les échantillons sont très souvent issus de population consultante et les protocoles de recherche ne sont pas pluridisciplinaires.

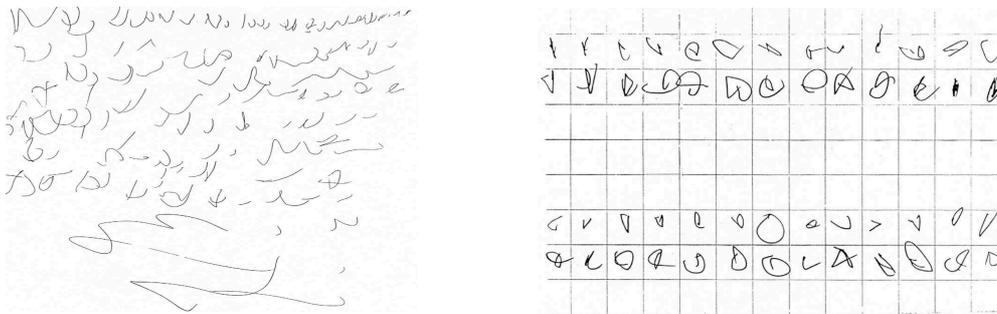


Figure 10: Exemple de simulacres d'écriture chez un enfant HP autour de 33-34 mois, obtenus spontanément sur un papier libre (Vaivre-Douret, 2004).

Résumé du chapitre 2 : Caractéristiques cognitives du Haut Potentiel :

Ce chapitre de la revue de littérature internationale est marqué par un constat très important : Il existe de nombreuses études portant sur les caractéristiques cognitives du HP. Certaines affirment une dyssynchronie de développement cognitif et psychomoteur/affectif comme étant un fait développemental chez tous les enfants HP. D'autres montrent que cette dyssynchronie concernerait certains enfants HP et serait le reflet d'une altération des fonctions neuropsychologiques et/ou psychomotrices, plutôt qu'une caractéristique développementale du HP. A ceci, s'articule un désaccord entre les auteurs concernant l'hétérogénéité du profil de QI. Certains auteurs considèrent qu'il s'agit d'une hétérogénéité tout à fait normale qui représenterait différents types d'intelligences. D'autres montrent qu'une grande hétérogénéité cacherait des troubles neurodéveloppementaux. Peu d'études se sont intéressées à l'analyse des indices de QI au regard des évaluations cliniques approfondies et/ou des données anamnestiques de l'enfant. Ces divergences sont majoritairement liées à des méthodologies différentes entre les études ce qui rend la comparaison des résultats compliquée.

Par ailleurs, il existe différentes études s'intéressant au développement des capacités de raisonnement et de résolution de problèmes, en comparant l'âge mental à l'âge chronologique des enfants HP par rapport aux enfants non-HP. Là encore, il existe un désaccord entre les auteurs concernant l'harmonie de développement cognitif. En effet, certaines études montrent que les enfants HP se développent de la même façon que les enfants non-HP, mais avec un développement plus rapide et plus précoce. D'autres montrent une disharmonie au niveau du développement cognitif soulignant un développement cognitif atypique chez l'enfant HP, étant caractérisé par des irrégularités et non pas uniquement par la vitesse. En revanche, la quasi-totalité des études analysées s'accordent sur l'existence de meilleures capacités d'adaptation, d'apprentissage, de transfert et de métacognition chez l'enfant HP. Aussi, une forte motivation intrinsèque, un haut niveau d'exigence personnelle, et un besoin spécifique de précision chez l'enfant HP comparé à l'enfant non HP. De plus, l'ensemble des études montrent un style de pensée chez les enfants HP qui serait particulièrement marqué par la fluidité, la flexibilité et une originalité faisant écho au caractère créatif. Ces caractères de pensée ont été décrites dans la littérature grâce à des

questionnaires et des observations lors des tâches cognitives, principalement les tâches de résolution de problèmes.

Par ailleurs, différentes études se sont particulièrement intéressées aux capacités d'attention, de planification et de mémoire de travail, apportant de meilleurs éclairages sur la compréhension des spécificités des fonctions exécutives chez les enfants HP. Les résultats des différentes études analysées sont unanimes sur les meilleures capacités de planification et de mémoire de travail chez les enfants HP. En revanche, les fonctions visuo-spatiales et constructives ainsi que l'attention ne font pas consensus entre les auteurs. Les performances attentionnelles et d'inhibition chez les enfants HP quant à eux, varient selon les épreuves et selon les études. Certains auteurs montrent qu'il s'agit des capacités significativement meilleures chez les enfants HP. D'autres ne parviennent pas à les identifier comme élément significativement différenciateur entre les enfants HP et non-HP. Ces divergences sont principalement liées à la non utilisation des mêmes outils d'évaluation, les lieux de recrutement qui représentent très souvent un biais méthodologique majeur, l'absence d'analyse clinique des autres fonctions. Ce dernier élément est à la fois très réducteur et ne permet pas une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents. Toutefois, l'analyse de toutes les autres fonctions est une démarche clinique complexe et demande beaucoup de ressources, étant donné qu'elle s'inscrit dans le cadre d'un phénotypage multidimensionnel.

Le langage également occupe également une place très importante dans les études des fonctions cognitives chez les enfants HP. L'ensemble des études de la revue de littérature scientifique internationale s'accorde sur un développement langagier précoce. Aussi, sur des meilleures capacités langagières que ce soit au niveau de la compréhension ou de l'expression ainsi qu'un vocabulaire très riche chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP. En revanche, le langage écrit en termes de capacités d'écriture manuscrite chez les enfants HP fait des divergences dans la revue de littérature. Encore une fois, la généralisation des résultats des enfants HP consultants, soulignant de moins bonnes performances d'écriture, sur tous les enfants HP explique les résultats contradictoires de ce domaine.

Chapitre 3 : Caractéristiques physiologiques et neurobiologiques du Haut Potentiel

1. Caractéristiques physiologiques du Haut Potentiel

Différentes caractéristiques physiologiques ont été retrouvées chez les enfants HP, mais elles sont à considérer avec prudence avant de les généraliser sur l'ensemble des enfants HP tout-venant. Par exemple, Louis et al. (2005) ont montré à l'aide d'une enquête comparative la prépondérance d'une grossesse anormale, d'une migraine récurrente chez la mère, de prématurité, des difficultés néonatales, et d'une grande fréquence d'asthme chez les enfants HP âgés de 8-11 ans. Cependant, cette étude s'appuie sur un échantillon d'enfants HP consultants et les critères d'inclusion ne sont pas strictes n'excluant pas ces anomalies de grossesse et néonatales. Alors, il est évident de les retrouver puisque la méthodologie de recherche ne les a pas exclus. Benbow et Stanley (1983) ont évoqué dans leur revue de littérature une fréquence élevée de myopie chez les enfants HP, un plus grand nombre de gauchers et d'ambidextres, et une fréquence élevée de maladies immunitaires en citant Geschwind et Behan (1982). Cependant, cette dernière, qui est une étude expérimentale, n'étudie pas les enfants HP mais plutôt les individus gauchers sans précision sur l'âge moyen de la population (253 gauchers recrutés dans une boutique à Londres qui fournit des articles à l'usage des gauchers). Il s'agit alors d'une extrapolation de Benbow et Stanley (1983).

Wiley et Goldstein (1991) ont mené une étude sur un échantillon de 33 724 adolescents HP recrutés dans différentes écoles d'Amérique. Les auteurs ne trouvent pas de lien significatif entre la fréquence des gauchers et/ou de l'existence d'allergie et le haut potentiel. Paradoxalement, une étude plus récente (Piro et al., 2021) sur 35 enfants HP comparés à 23 non-HP, âgés entre 8 et 12 ans, utilisant le test de latéralité d'Edinburgh (Oldfield, 1971), a montré un taux élevé de gauchers chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP. Toutefois, le test utilisé pour l'évaluation de la latéralité est en réalité un auto-questionnaire de la latéralité manuelle uniquement sans examen approfondi. Une autre étude (Loureiro et al., 2010) qui s'est appuyée sur un échantillon de 45 enfants HP âgés entre 7 et 11 ans, sans troubles neurologiques ni sensoriels avérés, a infirmé l'existence de myopie, d'allergie, de l'asthme, des troubles du

sommeil, des migraines et la fréquence élevée des gauchers (autant de droitiers que dans la population typique : 90%) dans la population des enfants HP. En revanche, les auteurs précisent que ces caractéristiques sont retrouvées chez des enfants prématurés ayant un QI inférieur à 125.

Une étude plus ancienne de Grubar (2000) a évoqué, à travers un protocole expérimental portant sur l'enregistrement du sommeil par un électroencéphalogramme (EEG) chez cinq enfants HP âgés de 9 à 13 ans (3 garçons et 2 filles ; QI moyen = 149) et comparé aux enfants non-HP appariés (QI moyen = 104), une particularité du sommeil chez les enfants HP. En effet, ils présentent un taux de sommeil paradoxal plus élevé que les enfants non-HP. L'auteur a précisé que les derniers cycles de sommeil ressemblent davantage à leurs premiers cycles contrairement au sommeil des enfants non-HP, et que le taux de sommeil paradoxal est corrélé positivement au QI et particulièrement élevé chez les enfants HP. Il est regrettable que cette étude ne soit pas reproduite dans un plus grand d'échantillon, ces résultats pourraient toutefois expliquer entre autres les facilités de mémorisation et les meilleures capacités de consolidation des apprentissages chez les enfants HP. En effet, il est démontré que le sommeil paradoxal soit une phase où les échanges d'informations s'effectuent entre les aires corticales de manière restreinte et les réorganisations synaptiques neuronales constituent un support de la consolidation (Peter et al., 2008). De plus, Gubar (2000) a expliqué que les capacités oculomotrices (reflétés par le rapport entre les hautes et les basses fréquences oculomotrices) sont corrélées positivement au QI, et se développent progressivement, constituant un facteur important des capacités d'organisation de l'information dont dispose l'individu. Chez les enfants HP, l'auteur a montré que ce rapport de fréquences oculomotrices est similaire à celui retrouvé chez les adultes soulignant de meilleures capacités à organiser les informations et une précocité de maturation au niveau des processus de traitement de l'information. Vaivre-Douret (2004) a évoqué, dans son étude que nous avons présenté en détails plus haut, une capacité d'éveil calme et durable (supérieur à huit minutes vs 4-5 minutes chez le nourrisson non HP).

Pourtant, il est souvent rapporté que les enfants HP manifestent plus de troubles du sommeil comparés à leurs pairs non-HP (Guignard-Perret et al., 2020). Toutefois, l'étude récente de Piro et al. (2021) s'est intéressée à la fréquence des troubles du sommeil chez les enfants HP (35 comparés à 23 non-HP), en utilisant un questionnaire d'auto-évaluation, et les auteurs ont avancé qu'aucune différence

significative n'a été notée. Une étude longitudinale (Cook et al., 2020) a pointé les résultats mitigés dans la littérature concernant les troubles du sommeil chez les enfants HP, en précisant que la majorité des études se basent sur des petits échantillons descriptifs. Contrairement à ce constat, Cook et al. (2020) se sont appuyés sur un grand échantillon de 192 enfants HP et 1015 enfants non-HP pour montrer qu'il n'existe aucune différence entre les deux groupes concernant les troubles du sommeil. Néanmoins, le groupe d'enfants HP de cette étude ne présente pas un $QI \geq 130$ mais plutôt ≥ 120 . Il apparaît donc des contradictions et des limites méthodologiques dans la littérature à ce sujet.

2. Caractéristiques neurobiologiques du Haut Potentiel

Bien que les fonctions cognitives ne soient pas intégrées seulement dans un seul réseau cérébral, mais plutôt dans un système complexe selon le modèle de neurosciences (Thomas, 2018), l'identification et l'analyse des réseaux neuronaux impliqués dans l'intelligence n'ont cessé de préoccuper les chercheurs. La neurobiologie à l'origine du Haut Potentiel a particulièrement intéressé les chercheurs. Différentes méthodes et techniques ont été utilisées dans la littérature, les articles retenus dans la présente revue de littérature se sont généralement basés sur la tomographie par émission de positons (TEP), l'imagerie par résonances magnétiques fonctionnelles (IRMf), l'électroencéphalogramme (EEG), particulièrement avec la méthode électrophysiologique par potentiels évoqués cognitifs (P300, P600 et P400) que nous détaillerons plus loin, et la tractographie en tenseur de diffusion (TTD). Cependant, la majorité des études neuroanatomiques sont effectuées chez les adultes HP. Ceci est peut-être en raison de l'application du principe éthique postulant sur le rapport bénéfice-risque chez les enfants qui sont considérés comme des individus vulnérables et plus sensibles aux rayonnements ionisants que les adultes (United States. National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, 1978; Chappuy, 2009). Par exemple, une des anciennes études expérimentales de Reed et Jensen (1991), s'est intéressée plus particulièrement à l'analyse de la vitesse de conduction nerveuse et le temps de réaction chez les sujets. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de 200 sujets, âgés entre 18 et 25 ans, recrutés dans des universités. Cent-douze sujets avec un haut $QI \geq 125$ (Matrice de Raven) et quatre-vingt sujets non-HP ont constitué deux groupes indépendants. Des

données anthropométriques des participants ont été collectées (taille, poids). Les auteurs ont étudié trois variables indépendantes chez tous les sujets : le temps de réaction, le potentiel visuel évoqué (PVE), et la vitesse de conduction nerveuse (VCN). Le temps de réaction a été mesuré à l'aide d'un appareil qui se compose de huit boutons lumineux disposés en demi-cercle. Le sujet maintient un bouton "x" enfoncé avec l'index de la main préférée jusqu'à ce qu'un ou plusieurs des 8 boutons s'allument et puis, le plus rapidement possible, retire le doigt du bouton "x". Le temps entre le début du stimulus (la lumière) et le retrait du doigt du bouton reflète le temps de réaction. Des tests d'entraînement ont été effectués, pour chaque présentation, une alerte est émise (son) et après un intervalle aléatoire allant de 1 à 4 le stimulus s'allume. Trois types de temps de réaction sont mesurés : 1) Temps de réaction simple : la lumière ne s'allume que dans une seule position fixe à tous les essais ; 2) Temps de réaction (I-II) : la lumière s'allume à n'importe laquelle des 8 positions de façon différente et aléatoire à chaque essai. 3) : Temps de réaction dit d'Oddman : trois lumières s'allument en même temps dont un est plus éloigné des deux autres. Le PVE (N70 et PI00) permettant d'enregistrer la vitesse de la conduction des voies visuelles et l'amplitude de l'onde enregistrée) a été mesuré à l'aide de l'EEG face à des stimuli visuels sous forme de motifs géométriques (carrés) en noir et blanc sur un moniteur vidéo à 2Hz.

Cette méthode permet d'analyser à la milliseconde la manière dont l'activité électrique du cerveau évolue lors de la réalisation des tâches cognitives. Les variables dépendantes sont la latence et l'amplitude ; la première mesure la vitesse du traitement de l'information et la deuxième permet d'évaluer quantitativement les ressources attentionnelles accordées à la tâche. La VCN, quant à elle, a été estimée sur le segment poignet-coude de la main préférée pour l'écriture (nerf médian qui est un nerf mixte moteur et sensitif), à l'aide des électrodes de stimulation/enregistrement (stimulation à 1HZ, durée d'impulsion à 0.05 ms). Un potentiel d'action a été alors enregistré sans bruit sur l'écran renseignant sur la latence et l'amplitude. Les résultats ont montré que la conduction nerveuse périphérique au niveau du bras ainsi que les résultats du PVE n'avaient aucun lien significatif avec l'intelligence, par contre la conduction nerveuse périphérique au niveau du bras était significativement et positivement liée à l'activité physique et à la taille des sujets. En revanche, la latence était plus courte et l'amplitude était significativement plus grande, soulignant une conduction nerveuse au niveau du système nerveux central qui était significativement

plus rapide chez les sujets ayant une intelligence élevée. Les auteurs ont conclu sur un meilleur traitement de l'information chez les sujets ayant une intelligence supérieure, impliquant une conduction nerveuse plus rapide, plus spécifique au niveau central et plus efficace.

D'autres études ont montré des résultats similaires au niveau de la vitesse et de l'efficacité des processus cognitifs (Kranzler et al., 1994). Une des études françaises pionnières que nous présentons ici est celle de Martin et al. (1993). En effet, ces auteurs se sont basés sur un échantillon constitué de dix enfants HP, âgés de 4 à 7 ans, avec un $QI > 140$ à l'échelle de Terman pour les enfants de 4-5 ans et un $QI > 140$ à la WISC pour les plus âgés. Martin et al. (1993) ont comparé leur groupe d'enfants HP à un groupe de vingt-trois enfants non-HP âgés entre 5 et 12 ans, recrutés parmi les enfants ayant des performances moyennes correspondantes à leurs classes d'âge. Concernant les enfants HP, les auteurs n'ont pas explicité le lieu de recrutement. L'étude s'est particulièrement intéressée au lien entre les capacités cognitives et le potentiel évoqué P300 chez les enfants HP comparés au groupe témoin. La P300 auditive (appelée aussi P3) est un potentiel évoqué consistant en la détection d'une cible (stimuli incongru) dans une série de stimuli, explorant ainsi l'attention soutenue, sélective et la mémoire de travail ; elle est mesurée à l'aide de l'enregistrement EEG. Il s'agit d'une onde d'amplitude positive (P-N400) qui apparaît à 300 ms après le début d'une stimulation. Elle représente un ensemble d'activités des aires cérébrales largement distribuées. Les auteurs ont mesuré les potentiels auditifs à longue latence par stimulation auditive binaurale à l'aide des écouteurs (tonalité standard à 80% de 1000 Hz et tonalité cible à 20% de 2000 Hz), les tonalités ont été délivrées à 60 décibels au-dessus du seuil de sensation de chacun. Les enfants ont été familiarisés avec les tonalités avant l'enregistrement. La tâche consistait en la détection rapide et précise de tonalités rares et de les compter mentalement. La P300 a été mesurée à partir du pic de l'onde enregistrée. Les résultats ont montré que la latence de la composante P300 était significativement plus courte chez les enfants HP suggérant une rapidité de traitement de l'information au niveau cérébral contrairement à ce qui est habituellement retrouvé dans le cas de déficience intellectuelle (Martin et al., 1993).

D'autres études ont suivi dans le même contexte et ont étayé ces résultats. L'étude française de Magnié et al. (2002) a utilisé la même technique mais avec une tâche cognitive d'incongruité auditive et une autre visuelle (Auditif : si le dernier d'une phrase est incongru. Visuel : si les deux dessins d'une paire ne sont pas

sémantiquement liés). Les résultats ont montré que les enfants HP montraient une amplitude significativement plus grande et une P300 significativement plus courte que ce qui est observé chez les enfants non-HP (P300 et N400), impliquant de meilleures capacités de concentration. Les auteurs ont précisé que ceci était significativement plus observé sur un matériel visuel plutôt qu'auditif. De plus, l'amplitude N400 était significativement corrélée au QIT, mais la corrélation était significativement plus forte avec le l'indice de performance.

Par ailleurs, l'étude anglaise de Barrett et Eysenck (1992) est aussi parmi les pionnières qui se sont intéressées aux bases neurobiologiques de l'intelligence. Les auteurs se sont appuyés sur le paradigme de Hendrickson et Hendrickson (1982) basé sur le marquage de modèle synaptique renseignant sur les spécificités de la transmission nerveuse, à l'aide de la mesure du potentiel auditif évoqué moyen (PAE_M) ; plus cette valeur est grande, plus le QI est élevé (Barrett & Eysenck, 1992). L'échantillon était constitué de vingt-six hommes et quatorze femmes ayant une intelligence supérieure ($QI_M=104$ à la WAIS), âgés de 23 ans en moyenne, recrutés dans un service de psychiatrie. Les participants recevaient des stimuli sonores sous enregistrement par des électrodes EEG. Le signal a été étudié par amplification PA400. Les résultats ont montré, au même titre que l'étude Hendrickson (1980), une corrélation négative entre la variabilité de PAE et le niveau de QI indiquant une conduction nerveuse significativement plus rapide chez les sujets ayant un QI élevé (Barrett & Eysenck, 1992). Cette rapidité et efficacité a été mise en exergue à l'aide d'autres méthode, plus particulièrement celle portant sur l'étude du taux de consommation de glucose au niveau du cerveau devant des tâches cognitives. Une des études pionnières (Haier et al., 1992) bien qu'elle soit limitée au niveau de la taille de l'échantillon et qu'elle ne porte pas spécialement sur des sujets HP (n=8 participants tout-venant ayant un QI moyen de 114 à la WAIS ; âgés entre 19 et 32 ans), a apporté des informations pertinentes sur le lien entre le coût énergétique (spécificité de la consommation du glucose) et le niveau d'intelligence. Face à une tâche de planification spatiale sur écran, demandant au sujet de retourner des blocs spatio-constructifs pour pouvoir trouver la bonne orientation qui permet de les intégrer et compléter un ensemble visuo-spatial, un taux de consommation du glucose au niveau du cerveau (GMR) a été enregistré à l'aide d'une tomographie par émission de positons (TEP). Les résultats ont montré des corrélations significatives et négatives entre le niveau de QI et le taux du métabolisme cérébral (glucose). De plus les auteurs

ont précisé que les zones cérébrales spécifiques montrant des corrélations significatives entre les modifications du GMR et le niveau de l'intelligence sont bilatéralement : le cortex frontal supérieur et le gyrus paracentral (74%), le cingulaire postérieur (54%), le putamen droit et le gyrus paracentral (68%) et le cingulaire antérieur (28%), impliquant le raisonnement et les processus d'apprentissage (Haier et al., 1988, 1992). Une revue de littérature plus récente (Zhang et al., 2017) a confirmé qu'il est récurrent dans la littérature scientifique l'attribution d'un taux faible de consommation de glucose dans les régions cérébrales au fonctionnement des enfants HP lors des tâches cognitives. Dans ce sens, une étude française issue de la recherche clinique appliquée (Vaivre-Douret, 2004) a également évoqué cette faible consommation du glucose, en l'expliquant par une activité cérébrale plus ciblée chez les enfants HP n'impliquant que les régions cérébrales nécessaires au traitement de la tâche, avec un coût énergétique plus faible dans la conduction nerveuse qui s'effectue grâce à la qualité de la gaine de myéline. Vaivre-Douret (2004) ajoute que cette spécificité relative à la conductivité pourrait expliquer les performances perceptives élevées de ces enfants, ce qui s'inscrit selon l'auteur dans le cadre d'une architecture cérébrale fonctionnelle spécifique. Ce qui va dans le sens de Miller (1994).

En plus des méthodes P300 et le marqueur GMR, l'organisation cérébrale a également intéressé les auteurs dans cette quête de compréhension du fonctionnement neurologique des enfants HP. L'étude chinoise de Li et al. (2009), bien qu'elle ne soit pas spécifique pour le Haut Potentiel, a apporté des résultats très éclairants sur le lien significatif entre l'intelligence et la spécificité des régions cérébrales. Les auteurs avaient pour objectif de tester l'hypothèse que les différences individuelles d'intelligence sont associées à l'organisation structurelle du cerveau, et en particulier que des scores plus élevés aux tests d'intelligence sont liés à une plus grande efficacité globale du réseau anatomique cérébral (Li et al., 2009). Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de 79 jeunes adultes (44 hommes et 35 femmes), ils sont tous âgés de 17 à 33 ans, recrutés dans la population générale par annonce, le QI_M (WAIS-R) était de 113 homogène ($ICV_M=114$; $IRP_M=110$). La technique d'imagerie par tractographie en tenseur de diffusion (TTD) a été utilisée pour une cartographie in vivo des microstructures cérébrales impliquées dans l'intelligence, puis des corrélations ont été testées entre les niveaux de QI et les résultats d'IRM par TTD. Les résultats ont montré une efficacité significativement plus élevée dans les réseaux

cérébraux que ce soit au niveau inter ou intra-hémisphérique (figure 11) des sujets ayant une intelligence élevée comparés aux sujets ayant une intelligence plus faible. Les réseaux cérébraux mis en exergue se constituaient de 90 régions anatomiques parmi lesquels nous citons : le lobe frontal, temporal supérieur, médian et inférieur, occipital supérieur, médian et inférieur, la scissure calcarine de la face interne du lobe occipital, l'aire 17 de Brodmann (Cuneus), pariétal supérieur et inférieur, et le gyrus supramarginal, l'air motrice supplémentaire, les ganglions de la base, le cingulum antérieur, médian et postérieur, l'amygdale, l'hippocampe, l'insula. De plus, en contrôlant les variables âge et sexe, des scores d'intelligence plus élevés correspondaient à un chemin significativement plus court au niveau de la substance blanche et efficacité globale du réseau plus élevée, indiquant ainsi un transfert d'informations plus rapide et plus efficace dans le cerveau. Les auteurs ont donc conclu que l'efficacité du cerveau et l'organisation structurelle démontrée peuvent être une base biologique importante pour l'intelligence (Li et al., 2009).

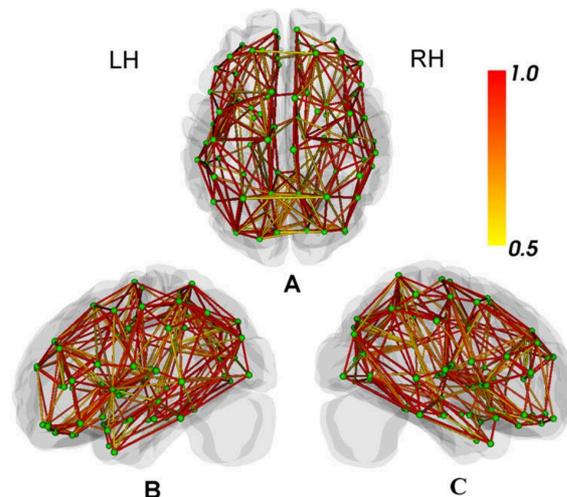


Figure 11:Présentation 3D des matrices de connectivité moyennées sur les 79 sujets (Li et al., 2009).

(A), (B) et (C) : réseau cérébral dans lequel les points verts correspondent aux 90 régions anatomiques impliquées significativement dans l'intelligence et les lignes correspondent aux connexions entre les paires correspondantes de régions cérébrales. Les couleurs des lignes représentent le pourcentage de sujets qui ont une connexion entre la paire correspondante de régions cérébrales, allant de 0,5 (jaune), indiquant qu'au moins la moitié des sujets ont montré une connexion significative entre la paire correspondante de régions cérébrales, à 1 (rouge), indiquant que les deux régions étaient significativement connectées chez tous les sujets. LH : hémisphère gauche ; RH : hémisphère droit (Li et al., 2009).

Une autre étude espagnole que nous avons déjà détaillée (Navas-Sánchez et al., 2014) basées également sur la technique TTD a apporté des résultats convergents. Une connectivité significativement élevée au niveau des voies de la substance blanche reliant les lobes frontaux aux ganglions de la base et aux régions pariétales, le forceps occipital et splenium (partie postérieure du corps calleux), a été démontrée (figure 12).

Ces régions sous-tendent particulièrement le contrôle moteur, le raisonnement fluide, la mémoire de travail visuo-spatiale, les capacités de planification visuo-spatio-constructives et pensée divergente selon Navas-Sánchez et al. (2014). L'analyse de cet article nous amène à constater que les enfants HP inclus ont montré un profil de QI homogène avec comme l'indice le plus élevé l'IRP_M=128, ce qui est congruent avec les résultats d'IRMf. Les activations neuroanatomiques seraient-elles les mêmes chez les enfants HP ayant un profil de QI hétérogène ?

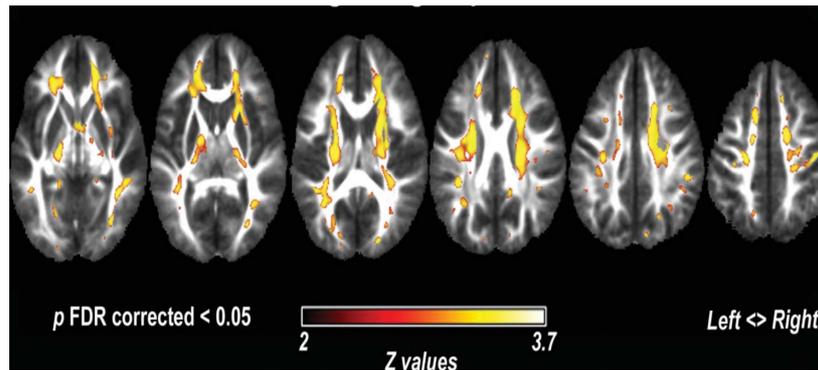


Figure 12:Connectivité cérébrale observée bilatéralement dans les lobes préfrontaux, cortico-striatal et le faisceau fronto-pariétal chez les enfants HP (Navas-Sánchez et al., 2014).

*Trois illustrations du cerveau à gauche (enfants HP) ; à droite : enfants non-HP ; Différence significative indiquée sur l'image ($p < 0.05$).

Récemment, l'étude française de Suprano et al. (2019) a porté sur le fonctionnement des réseaux cérébraux d'enfants âgés de 8 à 12 ans, avec un QI supérieur à la norme, à l'état de repos et au regard de leur profil de QI (homogène $n=15$; hétérogène $n=22$). L'analyse des données a porté sur douze enfants non-HP (QIT_M=104) et trente-sept enfants HP (QIT ou ICV ≥ 130 au WISC-IV ; QIT_M=134), recrutés dans un service de pédopsychiatrie, l'ensemble de l'échantillon comprenait trente-cinq garçons et quatorze filles. Tous les enfants étaient sans maladie neurologique, sans troubles d'apprentissage et sans traitement psychotrope. Des données d'IRMf par perfusion pour résolution spatiale (IRMf-rs ; taille de voxel=3.4*3.4*3mm) ont été enregistrées pendant que les sujets étaient au repos, les yeux ouverts fixant une croix projetée pendant 10,3 minutes. Les résultats ont montré des propriétés d'intégration et de ségrégation des réseaux cérébraux pour l'ensemble du réseau cortical cérébral, soulignant significativement une meilleure transmission de l'information dans le groupe d'enfants HP (Suprano et al., 2019). De plus, les auteurs ont précisé que le groupe HP avec un profil de QI hétérogène était plus latéralisé dans

l'hémisphère gauche alors que le groupe HP avec un profil de QI homogène était plutôt latéralisé à droite. A partir de ces résultats, nous pouvons déduire qu'en plus de la spécificité des connectivités fonctionnelles plus ciblées et plus efficaces chez les enfants HP, il apparaît très important de prendre en compte la typologie de profils psychométriques (homogène/hétérogène) dans l'analyse du QI. Toutefois, quelques limites de cette étude sont à noter notamment au niveau du lieu de recrutement des participants qui sont donc des enfants HP consultants ne permettant pas de généraliser les résultats sur les enfants HP tout-venant. Aussi, au niveau de la répartition des filles et des garçons dans l'échantillon ce qui a d'ailleurs poussé les auteurs à corriger cet effet du sexe lors du traitement des données. De plus, les enfants étant âgés de 8 à 12 ans, la maturation cérébrale se poursuit, donc nous ne pouvons pas généraliser ces résultats sur d'autres tranches d'âge comme l'ont bien signalé les auteurs (Suprano et al., 2019). Néanmoins, dans la littérature scientifique, il existe une unanimité concernant le lien significatif entre l'intelligence supérieure et la plus grande efficacité globale du réseau anatomique cérébral (Geake, 2008 ; Li et al., 2009 ; Navas-Sánchez et al., 2014 ; Shaw et al., 2006).

Depuis environ trois décennies cette question des différences interindividuelles en lien avec la spécialisation hémisphérique a commencé à intéresser les auteurs. En 1990, l'étude expérimentale américaine d'O'Boyle et Benbow s'est intéressée aux modèles de la latéralisation hémisphérique et l'implication des deux hémisphères pendant le traitement cognitif. Deux expériences ont été menées : La première était basée sur un échantillon de quarante-sept sujets HP droitiers (33 hommes, et 14 femmes), recrutés dans des programmes de jeunes talents à l'université (Scholastic Assessment Test : SAT confirmait les performances intellectuelles supérieures ; score composite=1100). Un groupe témoin était composé de vingt sujets droitiers (12 hommes et 8 femmes), recrutés dans des classes ordinaires à l'université. Les sujets devaient écouter six syllabes en 60 essais d'écoute dichotomique (70 décibels) avec un intervalle de 6 secondes. Après un entraînement, lors de chaque essai, les sujets devaient identifier deux syllabes différentes présentées simultanément (une à chaque oreille). La seconde a porté sur un échantillon de soixante participants HP (37 tirés de l'expérience précédente et 23 HP droitiers supplémentaires tirés du même programme des jeunes talents) (42 hommes et 18 femmes). Le groupe témoin était composé des mêmes 20 non-HP de l'expérience précédente. La tâche consistait à juger lequel des visages parmi 36 paires de visages (neutres et avec des émotions ; image à l'endroit

et en miroir, une fois l'image en haut et la paire en bas et l'autre fois inversement) apparaissait plus heureux « haut » ou « bas ». Les résultats ont montré dans la première expérience que les sujets non-HP montraient significativement une supériorité de l'oreille droite (hémisphère gauche) pour l'identification des syllabes, tandis que le groupe des sujets HP n'a montré aucun avantage-oreille significatif (les deux hémisphères conjointement). Dans la première expérience, la tâche dichotomique étant caractérisée par l'absence de l'asymétrie hémisphérique (droit/gauche), il est attendu une absence de préférence hémisphérique dans les deux groupes. Étonnement, le groupe de sujets HP a montré un modèle atypique de latéralisation par rapport aux non-HP : une implication accrue de l'hémisphère droit pendant la tâche (pourcentage de bonne réponse plus important à l'oreille gauche). Dans l'expérience 2, qui a été menée afin de corroborer les résultats de l'expérience 1 avec la tâche des émotions faciales, impliquant plus l'hémisphère droit par rapport à la tâche des syllabes, le groupe d'enfants HP présentait de façon significativement plus importante un biais vers la gauche que les sujets non-HP (sourire sur la gauche/les demi-visages neutres du côté droit), ce qui indique selon O'Boyle et Benbow (1990) une hyperexcitation accrue de l'hémisphère droit spécifiquement chez les sujets HP. De plus les scores à cette tâche de reconnaissance des visages étaient significativement corrélés au niveau intellectuel uniquement dans le groupe de sujets HP, c'est-à-dire que le biais vers la gauche est important, plus le score est élevé. Les auteurs ont alors conclu sur un engagement très important et significativement élevé de l'hémisphère droit dans le HP. Une autre étude d'Alexander, O'Boyle, et Benbow (1996) a montré des résultats d'une asymétrie de l'électroencéphalogramme chez des enfants HP confortant ces résultats de l'implication importante de l'hémisphère droit. L'étude s'est basée sur un échantillon de trente enfants HP droitiers (recrutés à l'école dans un programme de jeunes talents en premier lieu au regard de leurs performances scolaires supérieures, puis confirmés par un score composite de 1100 sur l'échelle de la SAT confirmant un HP), âgés en moyenne de 13 ans, appariés sur l'âge à trente enfants non-HP droitiers, les deux ont été comparés à un troisième groupe de trente jeunes adultes non-HP droitiers, âgés de 20 ans en moyenne. Tous les enfants ont été enregistrés sous EEG dans une pièce sans lumière, les yeux ouverts pendant qu'ils étaient concentrés sur un point de fixation au centre d'un écran. Les résultats ont montré que le potentiel de repos ($\alpha=8-12$ Hz) ne montrait aucune différence significative entre les jeunes adultes non-HP et les enfants HP. De plus, les enfants

HP avaient des schémas d'activation hémisphérique significativement différents. Particulièrement au niveau temporal et pariétal, où le groupe d'enfants HP montrait une puissance alpha de l'hémisphère droit significativement plus élevée. Les auteurs ont conclu que les sujets HP disposent d'une qualité d'activité cérébrale plus efficace sur le plan du développement, qui ressemble davantage à celle des adultes, avec en plus une particularité d'une implication accrue de l'hémisphère droit dans le HP. Ceci a été également défendu par Alexander et al. (1996).

A l'inverse, l'étude espagnole de Desco et al. (2011) a apporté des résultats qui contrastent avec l'hypothèse de la forte implication de l'hémisphère droit dans le HP. En effet, cette étude avait pour but d'étudier les substrats neuronaux du raisonnement fluide et de la mémoire de travail visuospatiale chez des adolescents HP, avec des capacités particulièrement supérieures en mathématique. Deux groupes ont été utilisés : treize adolescents HP (âgés de 13 ans en moyenne ; $QI_M=130$) et quatorze témoins (âgés de 13 ans en moyenne ; $QI_M=90$). Tous les participants ont été évalués au WISC-R (Wechsler, 1974), les sujets à Haut Potentiel ont été recrutés dans un programme de jeunes talents de « *l'Académie Royale Espagnole de mathématiques, physiques et sciences naturelles* » à Madrid. Les participants non-HP ont été recrutés dans des classes d'écoles standards (Desco et al., 2011). Chez tous les participants, les modèles d'activation cérébrales ont été évalués à l'aide d'IRMf pendant que les sujets passaient la tâche des matrices de Raven et la tour de Londres. Les résultats ont montré que les deux groupes ont montré des activations significatives dans le réseau fronto-pariétal. En revanche, dans le groupe de sujets HP, les clusters d'activation étaient significativement bilatéraux et davantage dans l'hémisphère droit. Particulièrement lors de la tâche de tour de Londres, les adolescents à Haut Potentiel ont montré des activations significatives plus importantes par rapport aux témoins dans le précunéus au niveau pariétal, le lobe occipital supérieur et le lobe temporal médial. Lors de la tâche des matrices de Raven, les sujets à Haut Potentiel ont montré des activations significatives par rapport aux témoins dans le lobule pariétal inférieur droit, le gyrus cingulaire antérieur et le lobe frontal. Les auteurs ont conclu qu'une plus grande capacité de raisonnement notamment dans le domaine de mathématique complexe serait liée à des schémas d'activation plus bilatéraux et qu'une activation importante dans les régions pariétales et frontales des adolescents HP est associée à des compétences supérieures au niveau du traitement visuospatial et du raisonnement logique. Au niveau développemental, Vaivre-Douret (2004) a montré des résultats

cohérents avec les capacités cognitives significativement meilleures chez les enfants HP, particulièrement au niveau des capacités visuo-spatiales. En effet, dans son étude descriptive, longitudinale et rétrospective sur soixante enfants HP tout-venant, elle a noté une acquisition précoce des notions basiques de la structuration spatiale et temporelle (2 ans 4 mois \pm 2 mois en moyenne), développement précoce de l'intelligence sensorimotrice (0–24 mois ; d'au moins deux mois d'avance en moyenne), acquisition rapide des capacités visuo-perceptives et visuo-spatiales (encastremements complexes) avec un balayage oculomoteur rapide.

Par ailleurs, une revue de littérature sur « *l'étiologie du Haut Potentiel* » a relevé la récurrence d'une origine génétique liées au taux de matière grise dans les aires cérébrales de Broca et de Wernicke, et dans les régions frontales (Thompson & Oehlert, 2010). La revue de littérature de Geake (2008) rappelle que les enfants HP bénéficient d'un meilleur raisonnement analogique comparés aux enfants non-HP, et que les études d'IRMf avaient déjà démontré que ce type de raisonnement est associé à des processus corticaux frontaux et plus précisément le lobe fronto-pariétal avec la base neuronale cérébelleuse. Ainsi, selon Geake (2008), les enfants HP présenteraient de meilleure connectivité fronto-tempo et cérébelleuse. Mrazik et Dombrowski (2010) rapportent une unanimité dans la littérature sur l'existence d'une meilleure connectivité du cortex frontal droit et d'une meilleure communications inter-hémisphérique chez les enfants HP. Une étude expérimentale française (Houdé et al., 2001) s'intéressant aux mécanismes cérébraux sous-jacents au raisonnement déductif, s'est appuyée sur un échantillon de douze jeunes non-HP, âgés de 19 à 26 ans, pour montrer, grâce à la technique TEP, que la capacité humaine d'accès à la logique déductive dépend des émotions soulignant l'implication de l'aire préfrontale ventromédiane droite. Aucune étude n'a testé de façon anatomique ce lien chez les enfants HP, nous pouvons cependant supposer que ce rapport entre raisonnement par la logique déductive, qui est très élevé chez les enfants HP (Binet & Simon, 1904 ; Planche, 1998), et émotions pourrait être plus marqué chez les enfants HP étant donné qu'ils bénéficient d'une spécificité relative à l'activité cérébrale ciblée (comme nous l'avons expliqué ci-dessus), impliquant ainsi une connectivité plus efficace au niveau de l'aire préfrontale ventromédiane droite. D'ailleurs, nous ne pouvons évoquer ce rapport logique-émotions sans citer Damasio (1994a) à qui nous devons cette théorie. Grâce à ses données sur les patients cérébrolésés (enfants et adultes), il a pu montrer que « *le bon usage de la raison* » ou de la logique dépend de l'émotion (Damasio,

1994b). Rappelons qu'il a ainsi étoffé le cadre conceptuel de cette relation en démontrant l'erreur de Descartes.

Si l'ensemble de ces résultats neurobiologiques apportent un éclairage à la compréhension du Haut Potentiel, ils soulèvent néanmoins une limite importante concernant l'étude des corrélations entre l'intelligence relativement stable à partir de 7 ans (Klonoff, 1972) et les particularités anatomiques et fonctionnelles du cerveau qui sont en cours du développement chez les enfants et les adolescents. Dans ce sens, une des rares études longitudinales s'est intéressée à l'étude de l'épaisseur corticale chez les enfants HP mais dans une approche développementale, afin de déterminer la trajectoire développementale du cerveau de cette population (Shaw et al., 2006). En s'appuyant sur l'IRM appliquée à un échantillon très important d'enfants HP (n=300), sur une durée de 6 ans, les auteurs ont montré qu'il existe une trajectoire spécifique de changement de l'épaisseur du cortex cérébral, plutôt que l'épaisseur globale du cerveau elle-même, significativement en lien avec l'intelligence supérieure. Ils évoquent un changement développemental caractérisé par une corrélation significative et négative entre l'intelligence et l'épaisseur corticale dans la petite enfance à une corrélation positive à la fin de l'enfance et au début de l'adolescence. Ils précisent que ce changement concernait principalement les régions frontales. Autrement dit, les enfants HP présentent une phase initiale de maturation corticale qui cède la place à un amincissement cortical (Shaw et al., 2006). Nous constatons ainsi que cela témoigne d'une caractéristique neuroanatomique de l'intelligence chez ces enfants qui serait dynamique avec un élagage cognitif plus précoce, plus rapide, et plus efficace. Une autre étude longitudinale américaine (Wilke et al., 2003), transversale et descriptive, bien qu'elle ne s'intéresse pas particulièrement aux enfants HP, a étudié de façon plus générale le développement neurologique de l'enfant. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de 146 enfants en bonne santé (78 filles et 68 garçons ; âge moyen = 11 ans ; suivi de 5 à 18 ans ; QI>80). Grâce à la morphométrie par voxel (VBM), les résultats (figure 13) ont montré une forte corrélation significative et positive entre le volume de matière grise du cerveau entier, mais que la matière grise dans le cingulaire antérieur était la plus significativement associée au QI (WPPSI, WISC, et WAIS). Cependant, les auteurs (Wilke et al., 2003) ont précisé que cette corrélation n'était pas retrouvée chez les plus jeunes ; c'est-à-dire qu'elle ne s'est pas développée avec l'âge, et que les enfants plus âgés (âge moyen=15 ans) représentaient la majeure partie de la variance.

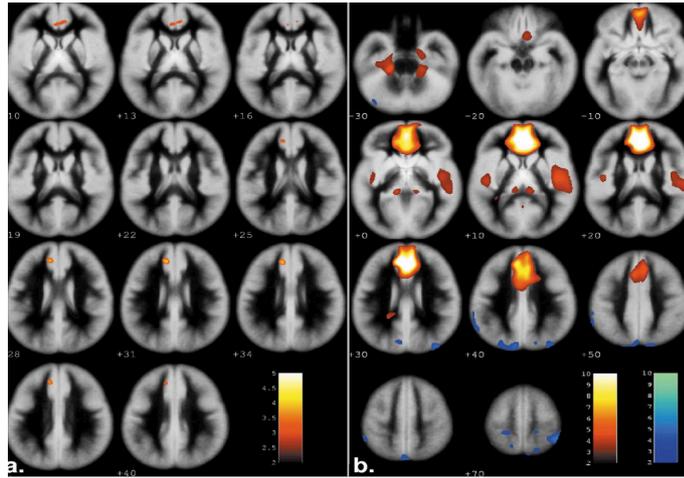


Figure 13:Analyse de connectivité : rendu des résultats sur la surface cérébrale moyenne (Wilke et al., 2003).

*a. Morphométrie à base de Voxel : détection du volume de matière grise significativement corrélé au IQ. b. Analyse de connectivité : détection du volume de matière grise significativement corrélé à la région détectée. Rouge : corrélations positives ; bleu, corrélations négatives.

Chez l'adulte, une autre étude américaine (Haier et al., 2004) mesure la densité des cellules cérébrales (par VBM) en lien avec le QI (WAIS-R), chez 47 participants en bonne santé (âge 27-59 ans ; QI moyen entre 90-155). Elle a montré une corrélation significative et positive entre le QI et la distribution d'environ 6 % des volumes de matière grise essentiellement dans des zones discrètes de Brodmann (délimitations du cortex cérébral) dans les quatre lobes, mais plus spécialement dans le lobe frontal (figure 14). De plus, une plus grande densité de la substance blanche au niveau du gyrus angulaire (l'aire de Brodmann 39 au niveau du cortex pariétal et point de jonction entre les cortex occipital et temporal) a été également retrouvée chez les sujets HP (Haier et al., 2004). Ainsi, il apparaît notable une meilleure connectivité focale et une meilleure communication inter et intra-hémisphérique chez les sujets HP, notamment entre le lobe frontal et la zone temporo-pariéto-occipitale.

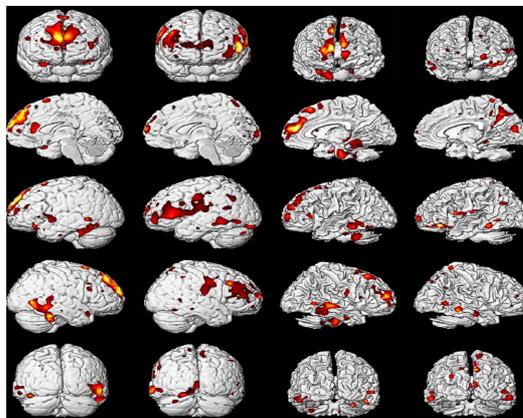


Figure 14:Corrélations significatives et positives entre matière grise et blanche et QI (Haier et al., 2004).

**Les corrélations de la matière grise sont présentées dans les deux colonnes de gauche ; les corrélations de la matière blanche sont indiquées dans les deux colonnes de droite. La rangée du haut montre la vue frontale, la deuxième rangée montre la vue sagittale médiale, les rangées suivantes montrent les vues latérales gauche et droite, et la rangée du bas montre la vue occipitale. ».*

Suite à ces deux études, nous pouvons déduire que le lien entre les régions cérébrales frontales et le QI à différents âges semble progresser du cingulaire antérieur (échantillon pédiatrique) (Wilke et al., 2003) au frontal médial à des régions frontales dorsolatérales (échantillon d'adulte) (Haier et al., 2004). Ainsi, chez les enfants HP il convient de noter que ce modèle neurodéveloppemental est caractérisé par une avance de maturation et une meilleure connectivité permettant une conduction nerveuse plus efficace et plus rapide (Vaivre-Douret, 2004). De plus, différentes études rapportent des différences significatives qualitatives et quantitatives entre les enfants HP et les enfants non-HP au niveau de la densité focale de la matière grise et blanche dans le cerveau. Par exemple, l'étude expérimentale chinoise de Zhang et al. (2006) a été menée sur un échantillon de quinze enfants HP (QI>95 Percentile aux tests d'intelligence, mais les auteurs n'ont pas explicité l'outil) et treize enfants non-HP recrutés dans des classes ordinaires. Tous les enfants étaient âgés de 11 ans en moyenne. Ils ont rempli une tâche de recherche visuelle (mots chinois, lettres anglaises, et arabes, nombre) sous enregistrement par l'électroencéphalogramme (EEG). Cette tâche comprenait des stimuli qui étaient présentés sous forme de caractères blancs sur fond noir au centre de l'écran. Chaque type de stimulus consistait en un seul mot (ou une lettre ou un chiffre) qui apparaissait avec une autre séquence de quatre mots (ou lettres ou chiffres). Trois types de stimulations ont été présentés séparément en mots chinois, anglais, lettres et chiffres arabes. Les enfants devaient juger individuellement, de façon rapide et précise si la cible était parmi les distracteurs en appuyant soit sur le bouton « oui pour la moitié des participants » ou « non pour l'autre moitié des participants » dans un laps de temps compris entre 250 et 550 ms. Le paradigme expérimental était organisé comme suivant (figure 15) : Au début de chaque essai, un stimulus visuel de fixation « + » était présenté pendant 300 ms sur l'écran de l'ordinateur ; puis le stimulus est présenté pendant 400 ms. L'ordre de présentation des six blocs expérimentaux pour trois conditions expérimentales et l'ordre des essais dans chaque bloc était pseudo-randomisé.

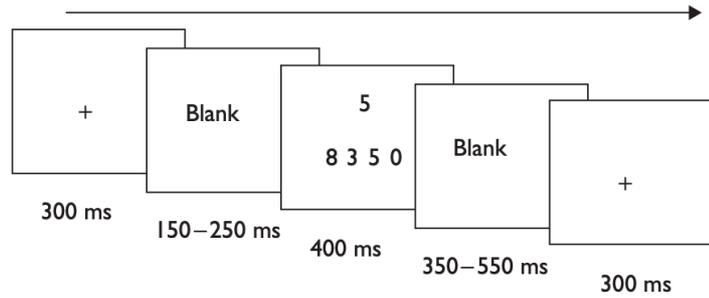


Figure 15:Paradigme expérimental de l'étude Zhang et al. (2006).

Pendant l'expérience, l'activité électrique cérébrale a été enregistrée à l'aide de l'électroencéphalogramme (EEG) à partir de 64 sites du cuir chevelu, de 200 ms avant le début des stimuli à 800 ms après l'apparition des stimuli. Les auteurs ont mesuré le potentiel évoqué de latence (P600) qui consiste en un pic de l'activité électrique cérébrale enregistrée par l'EEG souvent utilisé pour étudier des réponses auditives ou de lecture. Les résultats ont montré un effet principal de groupe sur l'onde P600 qui était significatif, avec la latence du groupe HP statistiquement plus courte que celle du groupe non-HP (Zhang et al., 2006). L'amplitude de P600 était significativement plus importante dans le groupe d'enfants HP que chez les enfants non-HP. Les auteurs ont conclu sur un effet significatif du groupe sur la précision avec une vitesse plus rapide chez les enfants HP. De plus, Zhang et al. (2006) ont confirmé une meilleure connectivité et un réseau de neurones significativement mieux coordonné spatialement et temporellement chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP. Les auteurs ont expliqué que cette particularité est grâce à une densité significativement plus importante de la matière blanche retrouvée chez les enfants HP. D'autres études ont trouvé des résultats similaires, comme celle de Liu et al. (2007) sur un échantillon de dix-huit enfants HP (recrutés dans des classes spéciales HP sans aide) et dix-huit enfants non-HP (âge=11-12 ans). Cette étude a également confirmé ce résultat à l'aide de l'EEG, en montrant une connectivité plus efficace chez les enfants HP comparés aux non-HP, avec une vitesse de traitement neuronale plus rapide et plus ciblée. Ceci pourrait sous-entendre un fonctionnement cognitif très efficient chez les enfants HP avec de meilleures capacités de traitement de l'information.

Résumé du chapitre 3 : Caractéristiques physiologiques et neurobiologiques du Haut Potentiel :

Dans la littérature scientifique internationale, il existe peu d'études s'intéressant aux caractéristiques physiologiques liés au HP. L'étude de ces derniers, en plus d'être principalement descriptive, elle se limite à des champs précis comme la latéralité, l'existence systématique de myopie, d'allergie et de faible immunité. L'utilisation uniquement des auto-questionnaires, portant un caractère subjectif, rend les résultats peu fiables. De plus, il existe un biais de recrutement qui ne permet pas de généraliser les résultats sur une population d'enfants HP tout-venant. Au niveau du sommeil, certaines études ne montrent aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP concernant les troubles. D'autres montrent au contraire une prédisposition significative des enfants HP aux troubles du sommeil. Les études basées sur les enregistrements électroencéphalogrammes montrent une particularité du sommeil chez les enfants HP, étant significativement marqué par un sommeil paradoxal plus important comparés aux enfants non-HP.

Au niveau neuroanatomique, les études s'accordent pour affirmer une conduction nerveuse au niveau du système nerveux central qui est significativement plus rapide, plus spécifique et plus efficace chez les sujets HP, soulignant un meilleur traitement de l'information. De plus, les auteurs confirment une architecture cérébrale fonctionnelle spécifique au HP. Elle serait marquée entre autres par une faible consommation du glucose, en l'expliquant par une activité cérébrale plus ciblée chez les enfants HP n'impliquant que les régions cérébrales nécessaires au traitement de la tâche, avec un coût énergétique plus faible dans la conduction nerveuse qui s'effectue grâce à la qualité de la gaine de myéline. De nombreuses études sont d'accord pour affirmer que finalement tous les lobes cérébraux sont impliqués dans le HP, mais des réseaux cérébraux sont significativement plus impliqués que d'autres. Ces réseaux seraient à l'origine d'une connectivité significativement élevée au niveau des voies de la substance blanche reliant les lobes frontaux aux ganglions de la base et aux régions pariétales, le forceps occipital et corps calleux. Plus précisément, ils sont soulignés de manière récurrente dans la littérature les régions suivantes : le cortex frontal supérieur et le gyrus paracentral, le cingulaire postérieur, le putamen droit et le gyrus paracentral ainsi que le cingulaire antérieur, l'air motrice

supplémentaire, les ganglions de la base, le cingulum antérieur, médian et postérieur, l'amygdale, l'hippocampe et l'insula. L'ensemble de ces réseaux cérébraux soutendent particulièrement le contrôle moteur, le raisonnement fluide, la mémoire de travail visuo-spatiale, les capacités de planification visuo-spatio-constructives, le raisonnement et d'apprentissage, mais aussi la cognition sociale. Si la quasi-totalité des tâches utilisées pour cibler ces corrélats cérébraux sous-jacents sont cognitives, il n'existe aucune étude s'intéressant à l'examen neuromoteur. Pourtant certaines études électrophysiologiques chez les sujets à Haut Potentiel ont affirmé l'implication des structures cérébrales jouant un rôle important dans le contrôle de la motricité.

Dans les articles analysés, il existe des divergences entre les auteurs concernant la latéralité hémisphérique. Certains auteurs ont précisé que les enfants HP avec un profil de QI hétérogène était plus latéralisés dans l'hémisphère gauche alors que les enfants HP avec un profil de QI homogène était plutôt latéralisés à droite. Ainsi, en plus de la spécificité des connectivités fonctionnelles plus ciblées, rapide et plus efficaces chez les enfants HP, il apparaît fondamental de prendre en compte la typologie des profils psychométriques (homogène/hétérogène) dans l'analyse du QI. D'autres études ont montré un engagement significativement élevé de l'hémisphère droit dans le HP en général. D'autres ont précisé que dans le HP, il existe une activation bilatérale soulignant l'utilisation conjointe des deux hémisphères lors des tâches cognitives, mais cette activation serait par moment plus marquée à droite. Ceci souligne de meilleures capacités de traitement de l'information visuo-spatio-constructives selon les différentes études analysées.

Chapitre 4 : Caractéristiques socio-émotionnelles et psycho-affectives des enfants à Haut Potentiel

1. Théorie de l'attachement et développement psycho-affectif de l'enfant en général et de l'enfant HP en particulier

La théorie de l'attachement dont le pionnier est Bowlby (1958) défend l'idée que les bases relationnelles de chacun se forgent à partir de la petite enfance. Dans le cadre conceptuel de Bowlby (Melges & Bowlby, 1969), il existe différents questionnaires pour évaluer l'attachement chez l'enfant comme celui de Bacro et Florin (2009), Gloger-Tippel et al. (2008), Jurgens et al. (2010), Moss et al. (1999), Pierrehumbert et al. (1995), Thibaudeau (2007) a développé le « *Questionnaire de l'Attachement Non-Résolu chez l'Adolescent (QANRA)* » permettant de mesurer la qualité de l'attachement parents-enfants. Ce questionnaire porte une attention particulière au rôle de l'attachement parental dans l'adaptation psychosociale des enfants et des adolescents. Le questionnaire QANRA, en dépit de son caractère plus ou moins subjectif comme tous les questionnaires d'ailleurs, est particulièrement pertinent en raison de sa sensibilité à la prise en compte de la période de l'adolescence. En effet, précisons qu'au cours du développement, il y'aurait une stabilité des patterns d'attachement, de l'enfance à l'âge adulte, mais des remaniements sont possibles notamment à la période de l'adolescence (Lebovici, 1991). L'évaluation des patterns d'attachement à l'adolescence est en effet difficile en raison de la complexité des processus en cause à cette période (Lebovici, 1991). Ce dernier interroge le caractère sécure ou insécure à cette période ce qui pourrait être considéré à tort de l'ordre de la psychopathologie.

La théorie de Bowlby définit le développement psycho-socio-affectif équilibré comme une mise en place d'une réponse instinctive offrant des soins physiques et affectifs pour protéger l'enfant de manière cohérente et continue (*caregiver*) durant la première année de vie. Cela se fait à travers cinq réponses comportementales principales : *sucer, attraper, suivre, pleurer, et sourire*. Ces comportements sont

intégrés chez le bébé pendant la première année de vie donnant naissance au « *comportement d'attachement* » (Bowlby, 1958). Ainsi le lien d'attachement s'élabore dans la durée, la disponibilité de la figure d'attachement, et la qualité des soins reçus par l'enfant. Cela s'inscrit selon Melges et Bowlby (1969) dans « *l'histoire d'interaction* ». Le bébé devient alors capable de se référer au lien émotionnel qu'il développe d'abord avec sa figure d'attachement dite primaire (Melges & Bowlby, 1969). Ensuite, il devient capable de générer une hiérarchie de différentes figures d'attachement en fonction de l'importance qu'il accordera à chacune dans un contexte d'interaction (Melges & Bowlby, 1969).

Si la théorie de l'attachement de Bowlby s'inscrit complètement dans un cadre psychanalytique postulant sur l'idée que les bases relationnelles de chacun se forment à partir des interactions précoces durant la petite enfance, Lebovici (1991), quant à lui, considère qu'il existe une discontinuité entre l'attachement en tant que tel et la psychanalyse. Pour lui, l'attachement se joue dans un processus principalement cognitif et génétique (*prédit*) alors que d'un point de vue psychanalytique les interactions affectives se fondent sur des mécanismes d'identification inconsciente (*à partir d'observation et de reconstruction*) (Lebovici, 1991 ; cité par Golse, 2001). De plus, Lebovici (1991) précise qu'au cours du développement, il y'aurait une stabilité des patterns d'attachement, de l'enfance à l'âge adulte, mais des remaniements sont possibles notamment à la période de l'adolescence (Lebovici, 1991). À ceci, s'articule donc le rôle que jouent les facteurs endogènes (sous-tendus par la maturation neurologique) et les facteurs exogènes (interaction avec l'environnement). Tereno et al. (2007) discutent le rôle important que joue l'environnement dans le développement de l'attachement, et précisent que cela dépend de l'expérience vécue par l'enfant, car c'est ce qui déterminera la perception de la figure d'attachement. Dans ce sens, Ainsworth (1978) enrichira la théorie de Bowlby en l'étoffant dans une approche développementale évoquant l'attachement « *sécure* » et « *insécure* ». L'auteur affirme que l'environnement jouera un rôle primordial dans le développement de quatre types d'attachement différents Ainsworth (1978) : 1) L'attachement sécure : Lorsque la figure d'attachement répond rapidement et de manière appropriée aux besoins de l'enfant. Ce premier type d'attachement sous-tend la notion du « temps » et de la « congruence », c'est-à-dire que la réponse des parents est temporellement associée (la contingence) et qualitativement adaptée (congruence) à la réaction émotionnelle du bébé. Cela permet au nourrisson d'explorer pleinement son environnement puisqu'il

développera une certaine sécurité émotionnelle, avec un équilibre entre la recherche de proximité en cas de séparation et une rassurance en cas de retour. 2) L'attachement évitant insécure : Lorsque la figure d'attachement ne répond pas ou peu aux besoins de l'enfant, attisant une indépendance extrême et très précoce. Cela peut engendrer une certaine introversion, difficultés émotionnelles et d'interactions sociales selon Ainsworth (1978). Au cours du développement, l'enfant n'exprimera pas de comportement d'attachement en cas d'absence ou de présence de la figure d'attachement. 3) L'attachement anxieux-ambivalent : Caractérisé par des réponses instables et incohérentes de la part de la figure d'attachement envers l'enfant qui développera alors un attachement insécure. Il manifestera ainsi une grande anxiété en cas d'absence de la figure d'attachement et cherchera en permanence à vérifier ce lien d'attachement, étant jamais rassuré par sa figure d'attachement. Cela crée une crainte majeure de perdre l'amour et d'être rejeté. 4) L'attachement désorganisé : Lorsque la figure d'attachement est en retrait ou parfois violente. L'enfant va développer des réponses similaires à l'attitude de la figure d'attachement, ce qui donnera lieu à un attachement insécure avec des comportements violents (e.g. contexte de maltraitance et/ou d'abus). Dans ce sens, l'étude de Berthelot (2010) s'est intéressée à l'attachement insécure dans un contexte de maltraitance (par négligence) pour comprendre la genèse du comportement social chez l'enfant. Cette étude s'est basée sur un échantillon de cent mères présentant une histoire de maltraitance, et a montré que l'abus et la négligence chez la mère augmentent le risque d'attachement insécure chez l'enfant, mais que malgré, l'expérience d'abus ou de négligence, ce sont les capacités de métacognition et de remise en question de la mère lié au vécu de ces histoires qui déterminent l'attachement sécure ou insécure chez l'enfant, particulièrement lorsque l'enfant est un garçon selon Berthelot (2010).

Par ailleurs, selon Fonagy et Allison (2014), un attachement sécure au cours du développement précoce chez l'enfant, permet de développer « *la confiance épistémique* ». Celle-ci se définit comme la capacité à considérer une nouvelle information pertinente pour soi et généralisable à différents contextes sociaux. Speranza et Debbané (2021) précisent que la confiance épistémique joue un rôle essentiel dans l'apprentissage des nouvelles connaissances, particulièrement dans la communication interpersonnelle. Dans leur revue de littérature française, Speranza et Debbané (2021) rappellent que les processus de mentalisation et la confiance épistémique de l'enfant sont au cœur des interactions sociales et des relations

d'attachement. En effet, grâce à des réponses parentales caractérisées par la contingence et la congruence déployées lors des interactions précoces, l'enfant apprend, au cours de son développement, à différencier et à réguler les expériences émotionnelles. Ceci lui permet ensuite de construire des schémas mentaux stables de soi et d'autrui. Ces schémas permettent à l'enfant de gérer les interactions sociales et de juger avec pertinence les informations dites « *dignes de confiance* », qui sont donc pertinentes pour soi et généralisables aux autres situations socio-émotionnelles (Speranza & Debbané, 2021). A l'inverse, l'attachement insécurisé, ambivalent et désorganisé tels que dans des situations de maltraitance ou de négligence, ne permet pas de développer la confiance épistémique. Ainsi, l'enfant ne parvient pas à engager un processus d'apprentissage socio-émotionnel favorable, ce qui impacte son développement socio-émotionnel. Cet impact se manifeste souvent par des stratégies de régulation inter-personnelles dites immatures (*recours à l'agir*) et une hypersensibilité interpersonnelle (Amos et al., 2011 ; Cook et al., 2003 ; Speranza & Debbané, 2021 ; Smith et al., 2018). De plus, cette hypersensibilité interpersonnelle développée chez l'enfant serait liée à des traumatismes et/ou un attachement non-résolu chez les parents (expérience d'abus, traumatisme, négligence, etc.), à des troubles psychiatriques (dépression, troubles de la personnalité) et/ou à des abus de substance (Amos et al., 2011 ; Cook et al., 2003 ; Speranza & Debbané, 2021 ; Smith et al., 2018).

Sur le plan psychopathologique, les troubles chez l'enfant seraient, selon Speranza et Valeri (2010), le résultat d'une interaction complexe entre les facteurs biologiques, génétiques et psychologiques de l'enfant d'un côté, de l'environnement notamment au niveau des relations familiales, de la fratrie, des parents, l'école et le contexte socioculturel d'un autre côté et de la manière dont ces facteurs interagissent entre eux. Ici, il convient de noter que dans le contexte psychopathologique, le trouble de la personnalité qui occupe une place importante dans le registre de l'attachement est le trouble de personnalité Borderline (TPB). Le TPB est un trouble de l'identité qui est caractérisé par une instabilité des émotions, une perturbation des relations interpersonnelles et des comportements autodommageables. Il retrouve son origine dans les troubles d'attachement, les processus relationnels étant immatures chez le sujet ayant un TPB (Prada et al., 2015). C'est pourquoi certaines thérapies (exemple : Good Psychiatric Management ; GPM) utilisée dans ce cadre sont principalement basées sur la mentalisation et la compréhension des processus relationnelles, de

l'attachement durant la petite enfance à la gestion des relations interpersonnelles à l'âge adulte (Prada et al., 2015). Quant aux troubles des apprentissages, le trouble d'attachement, d'anxiété, de manque de confiance en soi et de dépression seraient aussi retrouvés en lien étroit avec une confiance épistémique faible dans des troubles comme la dyslexie (Chapman, 1988) et le trouble du développement de la coordination (TDC) par exemple (Skinner & Piek, 2001).

En effet, l'étude transversale australienne de Skinner et Piek (2001) se sont intéressés à l'étude du rôle que jouent l'estime de soi et le soutien social sur le développement émotionnel des enfants et des adolescents ayant un TDC. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon d'enfants âgés de 8-10 ans (58 TDC vs 58 tout-venant) et un groupe d'enfants âgés de 12-14 ans (51 TDC vs 51 tout-venant). Tous les enfants ont été recrutés dans des écoles. Le diagnostic de TDC était basé sur l'échelle de performances motrices (M-ABC). Tous les enfants ont rempli des questionnaires concernant leur propre perception des compétences motrices et sociales ainsi que leur image de soi. Ils ont également rempli un questionnaire sur le soutien social l'anxiété (STAI). Les résultats ont affirmé que les enfants ayant un TDC montraient une mauvaise perception de leurs compétences sportives, sociales et scolaire, avec une estime de soi significativement faible par rapport aux enfants tout-venant. De plus, les auteurs ont précisé qu'il existait un effet d'âge significatif : les adolescents ayant un TDC montraient significativement une moins bonne estime de soi que les enfants ayant un TDC. Les auteurs ont également précisé que cette estime de soi faible était significativement corrélée à une perception faible du soutien social avec une perception de faible approbation des autres et un faible soutien émotionnel. Skinner et Piek (2001) ont conclu que les enfants avec un TDC présentaient un sentiment de manque de confiance non seulement en soi mais également sur le fait de pouvoir compter sur leur environnement, constat qui était significativement plus marqué à l'adolescence. Enfin, les enfants TDC présentaient significativement plus d'anxiété que les enfants tout-venant et ce de façon significativement plus marquée à l'adolescence (Skinner & Piek, 2001). Ainsi, il apparaît très important de ne pas négliger la prise en compte du développement socio-émotionnel précoce de l'enfant dans l'analyse des profils psychopathologiques mais également neuropsychologiques.

1.1. Bases neurologiques et cognitifs impliquées dans l'attachement

Au niveau neurologique, des neuroscientifiques rappellent que les facteurs intrinsèques, comme l'architecture cérébrale, pourraient être modulés par des facteurs environnementaux telle que la qualité de l'attachement lors des interactions précoces de l'enfant. Par exemple, l'étude expérimentale neurobiologiques de Fenoglio et al. (2006) s'est intéressée à la désorganisation de l'attachement et les conséquences sur le développement cérébral des enfants. La méthodologie de l'étude était basée sur le modèle animal, des rats femelles gestantes ont été hébergées dans une animalerie calme et peu fréquentée avec un cycle lumière/obscurité de 12h et ont reçu de la nourriture et de l'eau à volonté. Le jour de la naissance était considéré comme P0. Sur P1, les portées étaient mélangées et ajusté pour établir un nombre similaire de males et de femelles. Des portées complètes ont été assignées au hasard à l'un des conditions d'élevage : nourriture quotidienne de P2 à P8 ou P9 ; manipulé une fois, sur P5, P8 ou P9 ; non perturbé pendant P2–P9 ; ou non dérangé et privé de soins maternels pendant 3h à P9. La mère et les petits ont été placés dans des litières séparées. Après 15 minutes, les rats-bébés ont été replacés dans leur cage d'origine, suivi du barrage, et retourné au vivarium. Chaque jour, après avoir manipulé les rats-bébés, ils ont été réunis avec le barrage et retournés au vivarium. Le comportement de maternage était principalement observé sur le léchage et le toilettage en suivant un protocole scientifique approuvé par les recherches éthologiques antérieures. Il a également été déterminé dans les portées non perturbées et dans celles manipulées une fois à P5 ou P8. Chaque séance d'observation maternelle consistait en 12 périodes de 3 minutes. Les auteurs ont montré que les relations précoces d'attachement auraient un impact significatif sur le fonctionnement de l'hypothalamus, l'hypophyse et plus particulièrement au niveau de la glande pituitaire, et l'amygdale. Nous savons que ces structures cérébrales jouent un rôle important dans la gestion du stress grâce à la régulation de différentes hormones comme le cortisol (Kemeny, 2003). L'amygdale est constituée de noyaux cérébraux faisant partie du système limbique, jouant un rôle important dans la reconnaissance des affects, l'apprentissage des habiletés sociales, et dans la régulation comportementale et émotionnelle liée à la peur et à l'anxiété. L'hypothalamus, quant à lui, envoie le signal à l'hypophyse en cas de stimuli anxiogène, entraînant une libération de cortisol par les glandes surrénales.

Lors d'un stress permanent ou intensif durant les interactions précoces, comme dans le cas d'attachement insécuré, le cortisol libéré de façon permanente peut avoir des conséquences délétères pour le nourrisson entraînant même une inhibition de croissance (Neuville et al., 2017 ; Strain, 2018 ; Vingerhoets & Perski, 2000).

Par ailleurs les travaux de Libet (1980, 2012) ont souligné le lien entre le développement cérébral (notamment préfrontal et frontal) et l'attachement. En effet les travaux américains de Libet (1980, 2012) et de la théorie de « *la sélection des groupes neuronaux* » d'Edelman (1992), basés sur l'analyse des cas cliniques, ont démontré que la prise de conscience de nos propres actes était effective quelques centièmes de secondes après leur engagement au niveau de l'activité cérébrale. Il s'agit selon Libet (1980, 2012) et Edelman (1992) du « *libre arbitre* » qui « *se matérialiserait dans des réseaux neuronaux qui se seraient développés au cours du développement de l'enfant, via ses expériences sensorielles indexées de valeurs émotionnelles* » selon Tarquin (2021). Grâce à ses expériences notamment d'attachement, répertoriées en mémoire, les réseaux neuronaux constitueraient des « *répertoires singuliers* » qui servent de modèles pour toutes nos décisions à venir. Ainsi, la constitution des réseaux neuronaux notamment des circuits limbiques et fronto-pariétaux-temporaux (système limbique et cortical) se moduleraient au cours du développement de l'enfant, en interaction entre la base génétique neurodéveloppementale et l'expérience environnementale de chaque enfant (Edelman, 1992).

Au-delà des structures cérébrales, les neuropeptides et leur rôle dans le développement psycho-affectif ont occupé récemment les auteurs français. En effet, dans leur étude expérimentale, Soumier et al. (2022) ont montré la coexistence de circuits cérébraux spécifiques, dit innés et plastiques, liés au développement socio-émotionnel, déclenchés par l'adaptation environnementale du cerveau social. Soumier et al. (2022) ont construit un modèle du développement neuronal à l'aide d'une technique neuroscientifique (imagerie 3D de tissus immunomarqués), dégagés sur quatre stades postnatals précoces, de la naissance (P0, P3, P7, P14) au jeune âge adulte (\geq P56) chez des rongeurs. Le modèle était basé sur le marquage de l'ocytocine (OXT) et l'arginine vasopressine (AVP), deux neuropeptides impliqués dans les comportements socio-émotionnels comme nous l'avons évoqué plus haut. Les résultats ont mis en exergue une cartographie neuronale illustrant dans le noyau paraventriculaire, les densités cellulaires d'ocytocine dans la division antéro-ventrale, alors que la division postéro-dorsale contenait des cellules d'OXT présentes à la

naissance (figure 16). Aucun changement n'a été observé pour les neurones AVP. Si l'ocytocine et l'arginine vasopressine ont été anatomiquement définis dans le cerveau adulte, leur organisation spatiale au cours du développement postnatal n'était pourtant pas clairement définie. Les auteurs ont alors conclu sur la coexistence de deux réseaux neuronaux principalement impliqués dans le développement de ces deux neuropeptides, l'un inné et l'autre dépendant de l'expérience socio-émotionnelle (Soumier et al., 2022). Par conséquent, les bases neurobiologiques innées se modifient au cours du développement de l'enfant en fonction de sa propre expérience sociale. Celle-ci est en lien étroit avec l'interaction et l'attachement notamment durant les premières années de la vie et qui bien sûr se poursuivent durant le développement de l'enfant (Fenoglio et al. 2006).

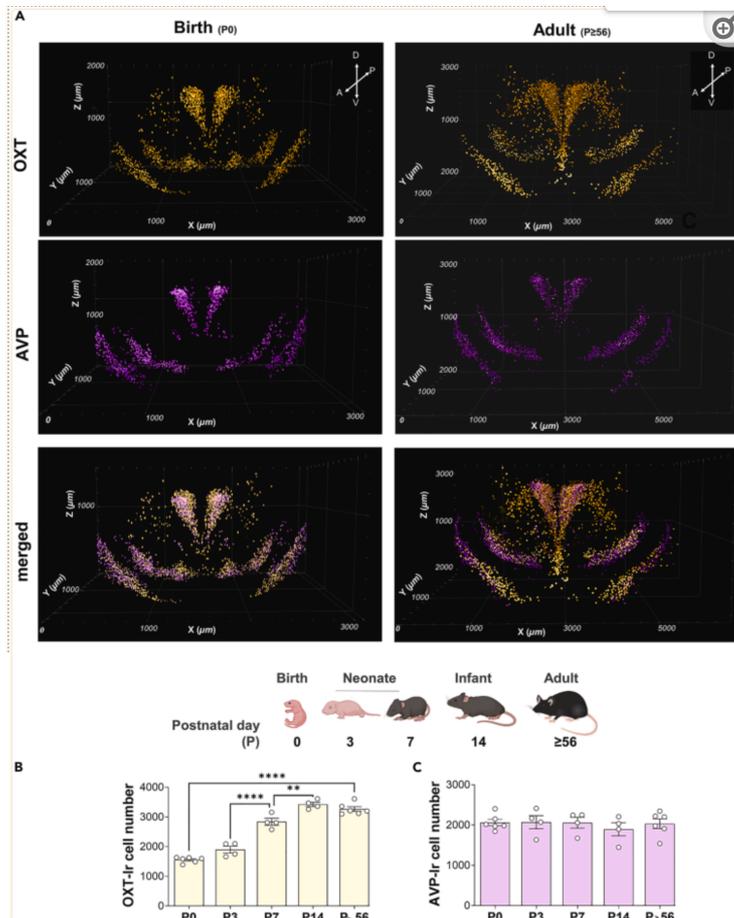


Figure 16:Modèle développemental de l'expression des cellules OXT et AVP dans le cerveau des souris (Soumier et al., 2022).

Au niveau cognitif, la revue de littérature française de Franc et al. (2008) rappelle que la vulnérabilité génétique décrite dans les troubles neurodéveloppementaux, comme dans le cas du TDAH, pourrait être modulée par des

facteurs environnementaux telle que la qualité de l'attachement mis en place au cours des interactions précoces. Plus précisément, un attachement sécurisé au cours de la première année de vie de l'enfant module les capacités de régulation attentionnelle et du contrôle exécutif. De plus, Franc et al. (2008) ont précisé que la qualité du « *caregiver parental* » s'avère un facteur protecteur fondamental face au TDAH dans le cadre de comorbidité à un trouble de conduites. Une étude américaine longitudinale prospective (Jacobvitz et al., 2004) sur 85 femmes enceintes suivies du troisième trimestre de grossesse jusqu'à l'âge de 7 ans de leurs enfants, a montré que les attitudes éducatives distantes augmentent le risque de symptômes anxieux et dépressifs chez les enfants, alors que les attitudes hostiles augmentent le risque de TDAH et de plaintes somatiques. Force est de constater que la qualité de l'attachement joue un rôle important dans le développement des capacités cognitives notamment les fonctions exécutives et l'attention. Ceci a été confirmé dans la littérature par d'autres études telles que l'étude de Neuville et al. (2017). Paradoxalement, Blaise Pierrehumbert (2003) a évoqué le rôle des capacités cognitives, particulièrement les fonctions exécutives, dans l'intégration des schémas interactifs avec la figure d'attachement dans la mémoire procédurale de l'enfant selon les modèles internes opérants (MIO) de Bowlby (Melges & Bowlby, 1969). Ils résultent des schèmes cognitifs qui se développent selon Bowlby en fonction des réponses données par la figure d'attachement. Ils donnent lieu à deux modèles : le modèle de représentation de soi (estime de soi et « mérite d'être aimé ») et le modèle d'autrui qui représente la confiance à l'égard des autres. Les fonctions cognitives étant une partie intégrante du modèle de traitement de l'information, seraient alors au cœur de l'intégration des schèmes d'attachement. L'ensemble de ces données souligne le rôle de la capacité à mobiliser efficacement et pleinement ses compétences cognitives pour explorer et résoudre les situations posées dans l'environnement afin d'intégrer des bases d'attachement sécurisées.

1.2. Impact de l'environnement sur le développement de l'enfant en général et de l'enfant HP en particulier

Chez les enfants HP, dans son étude rétrospective récente, Vaivre-Douret (2019) a souligné une fois de plus l'impact de l'environnement, riche en ressources, sur l'expression du HP en se basant sur un échantillon de 725 enfants HP (104 prématurés, 356 nés à terme, 100 post-terme) issus de l'Association Nationale Pour

les Enfants Intellectuellement Précoces (ANPEIP). Plus précisément, l'auteur a montré que ces enfants HP prématurés présentaient une avance du développement avec une hypertrophie (90^{ème} percentile), ce qui diffère de la population générale des prématurés non-HP (Vaivre-Douret, 2019). D'un autre côté, l'auteur a noté très peu ($n=2$) ou pas de fratries dans le groupe d'enfants HP prématurés ($n=104$). Vaivre-Douret (2019) a ainsi expliqué ce résultat par des interactions maternelles positives autour de la période néonatale favorisant le développement cérébral avec une augmentation de la protéine BDNF (*brain-derived neurotrophic factor*). Ainsi, l'enfant HP né prématuré s'il a été exposé à un environnement favorable, avec une fratrie moins nombreuse selon l'auteur ($n=2$), favorisant des soins et un lien d'attachement privilégiés et sans complications médicales, cela apparaît protecteur de son efficacité intellectuelle. L'enfant peut avoir le même haut QI qu'un enfant HP né à terme (Vaivre-Douret, 2019).

Une des plus anciennes études longitudinales (Terman, 1925) a montré que l'environnement des enfants HP était plus marqué par un allaitement au sein plus fréquent et un niveau socio-économique plus élevé que dans la population générale. Il a été évoqué dans différentes études que l'allaitement au sein aurait un rôle très important dans le développement de l'enfant notamment au niveau socio-psycho-affectif (Rousseau, 2011). En effet, le contact corporel avec la proximité des visages pendant l'allaitement au sein, le regard entre la mère et son enfant, les caresses et/ou les paroles (avec une voix plus aiguë et distinguée que dans les conversations avec les adultes) pendant les tétées favoriseraient une décharge d'ocytocine (Klaus, 1998). Il s'agit d'un neuropeptide distribué en particulier dans le système limbique, considéré comme l'hormone de l'attachement et l'amour maternel (Shahrokh et al., 2010), la reconnaissance des affects (Domes et al., 2007), les interactions sociales et les apprentissages (Hurlemann et al., 2010), la confiance en soi (Domes et al., 2007). Nous pouvons donc supposer que la qualité d'attachement au sein d'un environnement joue un rôle primordial dans le développement cognitif et psycho-socio-affectif des enfants en général et aurait un impact sur l'expression du HP.

Si un environnement riche en ressources est favorable au HP, Vaivre-Douret (2019) précise tout de même que certains enfants HP (même avec un QI homogène) peuvent se dégrader à l'âge scolaire notamment au collège, en présentant des troubles anxieux à cause d'un « *stress scolaire ou d'un sous-fonctionnement, étant peu encouragés ou peu alimentés par leur environnement (familial, scolaire, pairs)* ». Dans ce sens, sans attention particulière à la comparaison des enfants HP aux non-

HP, l'étude expérimentale et longitudinale (Lecompte et al., 2014) sur soixante-huit enfants (33 filles) suivis de trois à douze ans, s'est particulièrement intéressée au lien entre la qualité d'attachement précoce et la symptomatologie de dépression et d'anxiété. La procédure est basée sur l'évaluation de la qualité d'attachement suite à la réaction des enfants après des séparations en cinq étapes (5 minutes chacun) : pré-séparation, première séparation entre mère et enfant, réunion, deuxième séparation, et seconde rencontre entre la mère et l'enfant. Pendant les cinq minutes de séparation, l'enfant est laissé seul dans la salle avec des jouets. Les auteurs ont également évalué l'estime de soi, l'anxiété, et la dépression, à l'aide du questionnaire « *Dominic Interactive Questionnaire* (Valla et al., 2000) » basé sur les critères du DSM-IV (Lecompte et al., 2014). Les résultats ont montré que les pré-adolescents présentant un attachement désorganisé avant l'âge scolaire, manifestent des symptômes d'anxiété et de dépression contrairement aux enfants qui ont présenté un attachement sécurisé durant la période préscolaire.

Tursz et Vaivre-Douret (1999) attirent l'attention des cliniciens sur l'impact de l'environnement sur les troubles des apprentissages. Elle a ainsi émis deux hypothèses cliniques liées aux facteurs environnementaux : la première postulant sur la dégradation rapide des fonctions qui ne seraient pas exercées, la deuxième suggérant une stimulation des fonctions cognitives au détriment du domaine moteur (e.g. orientation spatiale, fonctions praxiques, etc.). Selon Vaivre-Douret (2004) ces fonctions motrices précocement développées chez l'enfant HP, si elles ne sont pas utilisées avant la scolarisation, elles s'estompent et peuvent apparaître déficitaires impactant différents domaines d'apprentissage comme l'écriture. Diezmann et Walters (1997), chercheurs australiens en science de l'éducation, ont également expliqué dans leur revue critique, qu'afin que l'enfant HP exprime son potentiel, il est primordial d'avoir un environnement favorisant et stimulant offrant la possibilité de développer l'estime de soi, de s'engager dans des activités qui génèrent un intérêt à long terme et de capitaliser les compétences cognitives permettant la production des connaissances.

De même, l'étude expérimentale turque de Bildiren et Kargin (2019) a également montré que l'environnement stimulant, dans lequel l'enfant est soutenu, où il peut s'épanouir pleinement ait un impact direct sur l'expression du potentiel des enfants HP. Plus précisément, les auteurs ont examiné les effets des programmes d'intervention sur les capacités de résolution de problèmes auprès 114 enfants (44 HP

et 70 typiques ; identifiés à l'aide du test des matrices) au cours de la période préscolaire. Les auteurs ont évalué les compétences de résolution de problèmes, avant et après le programme d'intervention à l'aide d'une échelle qu'ils ont mis en place, pour montrer que les compétences en résolution de problèmes des enfants HP dans la période préscolaire ont significativement augmenté par rapport aux enfants non-HP (Bildiren & Kargin, 2019). Ce qui pourrait évoquer une fois de plus une rapidité et de meilleures capacités d'apprentissage qui se mettent en exergue dans un environnement favorisant. Une étude de cas (n = 10) américaine (Brigandi et al., 2018) a évalué la participation à l'enrichissement (avec des enseignants formés au Haut Potentiel), les perceptions environnementales des enfants HP (en seconde), et le développement cognitif et affectif. Les résultats ont montré un lien significatif entre ces paramètres. A travers cette étude, les auteurs ont proposé une conception d'environnements d'apprentissage qui répond efficacement aux besoins particuliers des enfants HP.

Dans ce sens, Terrassier (1979) a également mis en évidence, à travers ses observations cliniques, l'importance de l'environnement (familial et scolaire) riche dans l'expression du HP en évoquant l'effet de « *Pygmalion négatif interne* ». Cet effet concernerait deux tiers des enfants HP et représente la non-reconnaissance des potentialités de l'enfant en lui renvoyant des représentations négatives de lui-même. Cela entraînerait un blocage chez l'enfant l'empêchant à découvrir ses propres potentialités (Terrassier, 1979). Toutefois, si Terrassier (1979, 2005, 2020) apporte un éclairage concernant l'importance de l'environnement dans l'expression du HP, il généralise néanmoins cet effet de « *Pygmalion négatif interne* » (qu'il a constaté lors de ses consultations cliniques au cabinet) sur toute la population des enfants HP, ce qui apparaît être un biais de représentativité. Selon Terrassier (1979), cet effet donnerait lieu à trois types de dyssynchronie spécifiques aux enfants HP : dyssynchronie sociale par rapport à l'école, par rapport aux parents, et par rapport aux pairs. Selon lui cette dyssynchronie va ralentir le développement des capacités mnésiques, attentionnelles et organisationnelles chez les enfants HP de manière générale.

A l'inverse, cette dyssynchronie ne concernerait que certains enfants HP selon Loureiro et al. (2010). En effet, ces derniers, dans leur étude transversale descriptive auprès de quarante-cinq enfants HP et trente enfants non-HP, ont montré que les enfants HP avec un QI hétérogène (n=30) présentaient plus de difficultés d'adaptation

sociale que les enfants HP avec un QI homogène et les non-HP. Mais, ces difficultés sociales n'ont pas été objectivées aux tests neuropsychologiques, ce qui a conduit les auteurs à nuancer ce résultat en l'expliquant par un facteur purement environnemental. Selon eux, cela est lié à un décalage chez ces enfants HP avec un QI hétérogène qui ne serait pas reconnu au sein de la famille. Celle-ci en considérant l'enfant HP comme un enfant « typique », elle ne lui offre pas assez de stimulation pour l'aider à exprimer pleinement ses potentialités. Loureiro et al. (2010) expliquent que l'enfant HP, étant très curieux, va chercher à partager ses centres d'intérêt et à poser des questions complexes auxquelles l'entourage se sentirait impuissant selon les auteurs. L'enfant va alors se sentir déçu et frustré, ce qui donnerait lieu à deux attitudes possibles : soit un retrait social et donc des difficultés sociales, soit une hyper-adaptabilité sociale (Loureiro et al., 2010). Vaivre-Douret (2002) rejoint ces auteurs en expliquant que l'enfant HP peut être mal compris par l'entourage, les pairs, et/ou la famille qui peuvent mal interpréter certains traits de personnalité (juger le sens critique comme étant de l'arrogance par exemple). Ainsi, l'enfant HP va souvent essayer d'inhiber ses potentialités élevées pour s'adapter au milieu familial et scolaire afin de se faire accepter par les autres. L'ensemble de ces auteurs évoquent à l'unanimité la souffrance psychique que pourrait engendrer un environnement non adapté au HP.

Dans cette quête de compréhension de l'impact de l'environnement notamment scolaire sur l'enfant HP en particulier, Deloor (2019) dans son étude belge s'est questionnée sur le lien entre la qualité d'attachement chez l'enfant d'âge scolaire (8-10 ans) et la relation enseignant-enfant, et l'influence de ces relations sur la réussite scolaire. Elle s'est basée sur un échantillon de 30 enfants (15 enfants HP et 15 enfants non-HP), qui ont tous passé le WISC-V^{FR} (Wechsler, 2016), le « *Child Appraisal of Relationships with Teacher Scale : CARTS* » de Vervoort et al. (2015), ainsi que l'échelle de sécurité des perceptions d'attachement de Bacro (2011). Les résultats ont montré que la sécurité de l'attachement à la mère est significativement et positivement corrélée à une relation de qualité avec l'enseignant étant caractérisée par une grande proximité et peu de conflit. Aucune différence entre les groupes n'a été notée. Par ailleurs, Thomas et al. (2013) ont montré, grâce à leur étude basée sur les modèles informatiques appliqués, que le statut socio-économique est un prédicteur environnemental important du développement cognitif notamment au niveau langagier (figure 17).

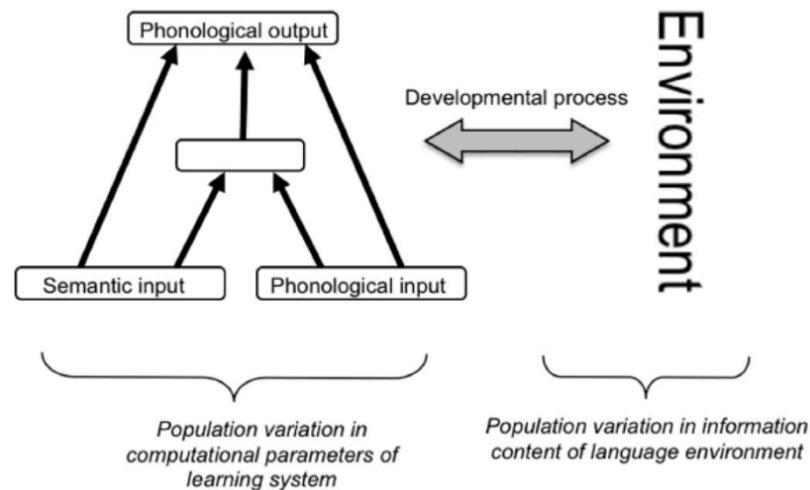


Figure 17: Modèle du développement cognitif (e.g. langage) rendant compte de l'interaction génétique/environnementale (Thomas et al., 2013).

Dans la même quête de déterminer les facteurs intrinsèques et environnementaux sous-jacents au développement cognitif, les auteurs se basent souvent sur le langage comme une capacité cognitive. Thomas (2018) s'est également intéressé à un modèle informatique neurocomputationnel pour comprendre les trajectoires développementales qui sous-tendent le Haut Potentiel. Bien que cette étude soit basée uniquement sur la simulation de données des enfants HP (réseaux de neurones artificiels) sans protocole clinique auprès des patients, elle a pu rendre compte de la non-linéarité des trajectoires de développement, et le rôle de l'environnement dans ce développement. De plus, les réseaux, représentant les enfants HP, avaient tendance à avoir une plus grande capacité, une plus grande plasticité, un traitement neuronal moins bruyant, un impact moindre des événements régressifs et un environnement plus riche. Cependant, le modèle informatique a mis en évidence des contributions hétérogènes de ces facteurs neurocomputationnels, suggérant des origines diverses au Haut Potentiel (Thomas, 2018). Plus récemment Tordjman et al. (2020) ont proposé un modèle mettant en évidence le rôle de l'environnement dans le développement et l'expression du Haut Potentiel au niveau familial, scolaire et sociétal. Ce modèle est constitué de quatre principaux facteurs : 1) *favoriser et maintenir la motivation*, 2) *offrir des opportunités d'enrichissement*, 3) *valoriser l'effort*, 4) *offrir un soutien à l'enfant*.

D'un point de vue génétique, une des rares études moléculaires (Spain et al., 2016) s'est basée sur des procédures de génotypage (analyse d'ADN) auprès de 1759 jeunes HP universitaires, pour montrer que le Haut Potentiel est le résultat de la

contribution de nombreuses variantes génétiques communes de petite taille d'effet. Cette étude anglaise exploratoire a précisé que cette base génétique est fortement modulée par l'environnement.

Les différentes enquêtes et études de Müller (Müller & Kury, 2013) ainsi que l'étude de Muller et Borer (2017) ont montré que les enfants issus d'un milieu favorisé présentent un QI supérieur aux enfants de milieu défavorisé. Par exemple, un taux d'enfants HP plus élevé dans les familles de cadres que dans les familles ouvrières. Cependant, les auteurs ont précisé que ces constats ne permettent aucunement d'attester d'une base génétique aux familles exercent les professions de cadres. Ils ont alors conclu sur des origines environnementales (économique, culturelle). Müller et Kury (2013) a évoqué dans sa revue de littérature qu'il existe un consensus sur le fait qu'un enfant avec un QI faible mais pas déficient, et adopté dans une famille dont le milieu socio-économique est favorable, montre une augmentation du niveau de QI (15 points en moyenne). Au contraire, les enfants avec un QI élevé et adoptés dans une famille avec un QI faible montrent une diminution de QI. De même, les anciennes études longitudinales de Terman (1925), mentionnées plus haut, confirmaient l'effet de l'environnement favorable sur l'expression du Haut Potentiel et précisaient que le niveau socio-économique était significativement plus élevé dans la population d'enfants HP que dans la population générale. Ainsi, nous pouvons déduire que l'environnement joue un rôle très important dans la trajectoire développementale de l'enfant HP comme pour tout enfant. Nous supposons alors qu'un milieu favorable dans lequel l'enfant est valorisé, où il peut exprimer et exploiter son intelligence est favorable à l'expression du Haut Potentiel.

2. Caractéristiques socio-émotionnelles et psycho-affectives de l'enfant HP

2.1. L'hypersensibilité est-elle une caractéristique développementale spécifique du HP ?

Il existe de réelles divergences dans la littérature concernant les caractéristiques socio-émotionnelles et psycho-affectives des enfants HP. D'après l'analyse des études que nous résumons dans le tableau ci-après (tableau 2), les auteurs n'utilisent pas les mêmes outils pour évaluer les mêmes fonctions (tableau 3)

et pour la majorité d'entre eux l'échantillon représentant les enfants HP est souvent recruté dans des consultations. Ainsi, il est évident que les résultats soient contradictoires. De plus, l'une des raisons de ces divergences dans la littérature réside dans la difficulté d'opter pour une définition unanime du HP, compte tenu les différentes terminologies et définitions existantes. La totalité des études s'appuient sur le seul critère de QI supérieur, qui varie de 120 à 125 et dans les meilleurs des cas à 130. La première caractéristique qui est attribuée aux enfants HP de manière récurrente dans la littérature est l'hypersensibilité (Guignard & Zenasni, 2004). Cette caractéristique est liée selon l'hypothèse de Müller et Kury (2013) à une sensibilité sensorielle extrême qui est elle-même liée à une perception très développée chez ces enfants. Ces auteurs se basent sur des observations pour énumérer d'autres caractéristiques comme l'hypersensibilité face à l'injustice, hypersensibilité interpersonnelle, réflexion très élevée autour des remarques des autres. Ces auteurs évoquent alors un envahissement par cette hypersensibilité affective qui serait caractéristique développementale de tous les enfants HP. Dans ce sens, Terrassier (2005, 2020), psychologue clinicien, défend l'idée d'une dyssynchronie affective par rapport au profil intellectuel de ces enfants. En se basant sur des échantillons d'enfants HP consultants dans son cabinet, il évoque que ces enfants seraient en avance de maturation au niveau intellectuel mais moins au niveau affectif, ce qui provoquerait un décalage entre leur propre rythme de développement « *asynchrone* » et celui des enfants non-HP du même âge.

Une revue de littérature récente (Wood & Laycraft, 2020) a conclu, à travers différentes études, que l'hypersensibilité associée à une conscience accrue et un développement cognitif avancé étaient des caractéristiques spécifiques aux enfants HP. Ces auteurs ont précisé que cette hypersensibilité apparaît dans la littérature à des « *surexcitabilités de multiples régions cérébrales* ». Dabrowski (1996) évoque dans sa théorie de l'hyperexcitabilité, une hypersensibilité générale et suppose qu'elle soit liée à une surexcitabilité cérébrale donnant lieu à une hyperexcitabilité intellectuelle, psychomotrice, sensuelle, imaginaire et émotionnelle. En effet Dabrowski (1964) s'est basé sur l'analyse clinique comportementale, complètement empirique, de différents sujets d'âges variés, montrant des hautes performances (enfants avec un très haut QI, artistes, écrivains, etc.). Il a rapporté un certain rapport au monde qui était beaucoup plus « *intense* » et une « *sur-réaction* » face aux stimuli environnementaux. Cette hyperexcitabilité serait, selon Dabrowski (1964), un

caractère inné, caractérisé par un très haut degré de manifestation en termes d'intensité, de durée, et de fréquence.

Sur la base de cette théorie, quelques questionnaires ont été développés tels que « Overexcitabilities Questionnaire : OEQ-II » (Falk et al., 1999), « Questionnaire-Two applying Bayesian Structural Equation Modeling : BSEM » (De Bondt & Van Petegem, 2015) afin d'essayer de proposer une évaluation complémentaire au QI permettant de mieux identifier le HP. Certaines études ont par la suite essayé de tester la validité de ce questionnaire et particulièrement de l'OEQ-II. De Bondt et Van Petegem (2015) se sont basés sur une technique statistique de pointe (la modélisation bayésienne des équations structurelles) auprès de 516 étudiants de l'enseignement supérieur (aucune information n'est donnée sur leur QI), qui leur a permis de confirmer la validité de ce questionnaire (avec un score de validité factorielle moyen). D'autres études de validation utilisant l'analyse factorielle confirmatoire ont en revanche conclu sur un rejet du modèle et à une longue série de modifications du modèle (Marsh et al., 2009). Il existe alors des divergences importantes sur le peu d'outils objectifs qui existent pour évaluer l'hypersensibilité et un manque cruel d'adaptation française permettant l'évaluation valide et objective de cet aspect. Nous citons l'étude de Botella et al. (2015) sur un échantillon de 474 adolescents et 436 adultes mais son utilisation reste encore rare en clinique. Par conséquent, les études existantes s'appuient principalement sur des travaux empiriques et des observations apportées par les parents sur des petits échantillons, ce qui ne permet pas de généraliser ce pattern d'hyperexcitabilité comme étant une caractéristique développementale spécifique aux enfants HP (Boucher & Falk, 2001 ; Gere et al., 2009 ; Guignard & Zenasni, 2004 ; Lysy & Piechowski, 1983 ; Nelson, 1989 ; Siu, 2010 ; Oliveira et al., 2017).

Dans le cadre de la théorie de Dabrowski (1964), l'étude de Tucker (1997) s'est basée sur cinq jeunes enfants HP, âgés de 4 à 6 ans, recrutés dans des écoles. Les données descriptives collectées auprès des parents ont été analysées en utilisant les domaines de Dabrowski. Les résultats ont montré que tous les domaines de surexcitabilités de Dabrowski (hyperexcitabilité intellectuelle, psychomotrice, sensuelle, imaginaire et émotionnelle) se manifestaient chez les enfants par des comportements en classe et à la maison. D'autres études ont montré des résultats similaires notamment celle de Gere et al. (2009), basée sur un échantillon plus grand de 79 enfants HP ($138 \leq QI \leq 146$ au WISC-III ; 50 garçons et 29 filles), âgés de 6-11 ans, recrutés dans des écoles publiques élémentaires. Les parents ont rempli le

questionnaire du profil sensoriel de Dunn (1999) concernant leur enfant. Ce questionnaire interroge sur 14 types de sensibilité notamment la sensibilité auditive, visuelle, tactile, et l'adaptation psychosociale. Les résultats ont montré de façon globale une sensibilité à l'environnement et des réactions comportementales et émotionnelles ainsi qu'une sensibilité auditive et vestibulaire significativement plus importantes chez les enfants HP que celle observée dans l'échantillon non-HP tout-venant du questionnaire. Toutefois, il n'y avait pas de différence significative entre les enfants HP et les non-HP concernant le traitement visuel (Gere et al., 2009). Les auteurs ont conclu sur une modulation sensorielle différente chez les enfants HP avec un inconfort sensoriel. Toutefois, les résultats sont à prendre avec prudence car il s'agit d'une évaluation à caractère subjectif étant basée sur des auto-questionnaires uniquement.

L'étude comparative de Piechowski et al. (1985) s'est basée également sur l'utilisation du questionnaire OEQ « l'hyperexcitabilité » cité plus haut, chez 37 adultes âgés de 22 à 55 ans (11 hommes et 26 femmes) identifiés HP avec un QI=98 percentiles au test standard d'intelligence (les auteurs n'ont pas précisé lequel), aucun profil intellectuel n'était hétérogène selon les auteurs. Un deuxième groupe a été étudié dans cette étude, avec des artistes, des poètes, des écrivains, producteurs de films et des musiciens (n=23 ; 11 homes et 12 femmes, âgés de 18-59 ans). Le troisième groupe était constitué de 42 étudiants tout-venant de différentes disciplines (n=42 ; 30 femmes et 12 hommes, âgés de 22 à 50 ans). Les résultats ont montré que le groupe d'individus HP montraient significativement plus « d'*hypersensibilité émotionnelle et intellectuelle* et une imagination élevée » de façon homogène au niveau intra-groupe et stable dans le temps, comparés aux non-HP, tandis que le groupe d'artistes était significativement associé à une « *hyper-imagination et une hypersensibilité émotionnelle* ». Enfin, le groupe non-HP montrait des scores dans la moyenne (Piechowski et al., 1985). Ces résultats ont été retrouvés dans d'autres études avec l'hypersensibilité comme facteur significativement différenciateur entre le groupe HP et non-HP (Piechowski & Colangelo, 1984). Toutefois, bien qu'elles soient intéressantes, ces études sont circonscrites à une évaluation isolée (par questionnaire) sans examen cognitif ni analyse des autres fonctions.

D'autres études auprès des enfants HP comparés aux enfants non-HP au regard de leurs profils de QI (Boschi et al., 2016 ; Loureiro et al., 2010 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020) ont montré que cette hypersensibilité et les difficultés de régulation

émotionnelle, que Müller et Kury (2013) considère comme étant un envahissement affectif, et que Terrassier (2020) considère comme une dyssynchronie de développement, seraient une caractéristique spécifique aux enfants ayant un profil de QI très hétérogène avec des difficultés sociales au quotidien. Ainsi, ce constat serait le reflet d'un trouble plutôt qu'un fait développementale spécifique à tous les enfants HP. Cette distinction rejoint partiellement la réflexion clinique de Guillon et al. (2018) qui distinguent deux profils développementaux chez les enfants HP (*complexe* et *laminaire*). Selon ces auteurs, Le type « *Laminaire* » est caractérisé par un développement harmonieux avec de très bonnes capacités cognitives, psychomotrices, et socio-émotionnelles. Ils montrent ainsi de très bonnes capacités d'adaptation et d'apprentissage. En revanche, le type « *Complexe* » se distingue par son mode de pensée analytique, déductive, et linéaire. Il est caractérisé par une dyssynchronie cognitive/psychomotrice-affective. Il présente ainsi des difficultés de régulation émotionnelle, une souffrance psychique générale avec un risque de dépression et de suicide élevé. Hollingworth (1924), quant à lui, a évoqué dans un de ses plus anciens travaux empiriques que les enfants HP couvrent un très large éventail de diversités intellectuelles, c'est-à-dire que l'enfant en tête du groupe diffère beaucoup de l'enfant qui atteint à peine le groupe et que ce dernier diffère aussi de l'enfant moyen. Dans cette logique, il a constaté que l'hypersensibilité qui fait écho aux difficultés d'adaptation sociale concernait uniquement les enfants ayant un QI>170 à l'échelle de Binet & Simon (1904) (que nous avons présenté plus haut). Cependant, selon lui, comme il y a très peu de ces enfants, les parents et les enseignants ainsi que les pairs sont rarement appelés à tenir compte de leurs besoins, ainsi cette inadaptation sociale trouve son origine dans l'environnement qui n'est pas adapté à ces enfants. En se basant sur ce cadre conceptuel de Hollingworth (1924), nous pouvons constater que cette caractéristique de l'hypersensibilité s'inscrirait plutôt dans un continuum aussi bien que le QI.

La revue de littérature de Janos et Robinson (1985) analyse des études sur les caractéristiques socio-émotionnelles des enfants HP durant une période de 60 ans. Elle a conclu que 20-25% des enfants HP présentent des difficultés socio-émotionnelles. Une autre revue de littérature (Guignard & Zenasni, 2004) a également conclu sur le caractère d'hypersensibilité émotionnelle, qui revient souvent dans la littérature sur les enfants HP malgré les divergences entre les études liées aux biais méthodologiques. Ces auteurs émettent une hypothèse sur cette hypersensibilité en

avançant l'idée que l'hypersensibilité de ces enfants serait liée au système scolaire ordinaire qui n'est pas adapté aux enfants HP. Ceci donnerait lieu à des réactions émotionnelles excessives face à un sentiment de décalage et de non compréhension de l'entourage selon Guignard et Zenasni (2004). Une autre revue de littérature plus récente (Neihart & Yeo, 2018) conclut, au contraire, sur de meilleures capacités d'adaptation sociale et une meilleure compréhension de soi et des autres, avec de meilleures capacités de gestion du stress. De façon contradictoire, les auteurs précisent que dans la littérature des 20 dernières années, il est relevé que les enfants HP sont plus à risque de difficultés psychologiques en particulier à l'adolescence et à l'âge adulte car ils sont plus sensibles aux conflits interpersonnels.

2.2. L'intelligence émotionnelle et le Haut Potentiel

Au-delà de l'hypersensibilité, d'autres caractéristiques psycho-socio-émotionnelles très divergentes ont été relevées dans la littérature que nous détaillerons au fur et à mesure de cette partie (Tableau 2). Ces divergences s'avèrent liées à deux grandes raisons : La première est le manque de consensus par rapport à la définition du HP et aux biais méthodologiques de recrutement qui ne permet pas de généraliser les résultats sur la population générale des enfants HP. La seconde est liée au manque d'outils d'évaluation du registre émotionnel. Il existe principalement des questionnaires d'évaluation avec un caractère subjectif et une validité discutée, ainsi que des observations qualitatives ce qui ne permet pas de généraliser les résultats sur un plus large échantillon. Il en résulte deux principaux résultats contradictoires : D'une part, un raisonnement social très développé, meilleures capacités d'adaptation sociale, meilleures capacités de gestion des conflits interpersonnels (Andreani & Pagnin, 1993 ; Field et al., 1998 ; Hay et al., 2007 ; Luftig & Nichols, 1990, 1991 ; Mouchiroud, 2004), meilleures capacités d'empathie, de prise de perspectives, d'introspection et de compréhension de soi (Andreani & Pagnin, 1993 ; Mendaglio, 1995) et de meilleures capacités d'intelligence émotionnelle, d'altruisme, du raisonnement moral (Wood et Laycraft, 2020). D'autre part, aucune association significative entre HP et l'existence d'une anxiété trait ou d'une intelligence émotionnelle trait (Brosseur & Grégoire, 2010 ; Guérolé et al., 2013 ; Liratni & Pry, 2011).

Avant de détailler ces études, rappelons tout d'abord que la notion de « l'intelligence émotionnelle » trouve son origine dans les travaux de recherche américains de Salovey et Mayer (1990) et a été étudiée dans le cadre de « *l'intelligence standard* » par la même équipe (Mayer et al., 1999). Elle se définit par ces auteurs comme la capacité à émettre et à comprendre les émotions de façon adéquate dans la relation avec les autres (Salovey & Mayer, 1990). Ceci inscrirait donc l'intelligence émotionnelle d'une part dans le cadre social et d'autre part en lien étroit avec les capacités de la cognition sociale, nous pensons à la théorie de l'esprit. Celle-ci désigne la capacité mentale d'inférer des états mentaux à soi-même et à autrui et de les comprendre, souvent évaluée à l'aide des épreuves de fausses croyances (Desgranges et al., 2012). Dans ce sens, très peu d'études se sont intéressées à étudier les capacités de théorie d'esprit chez les enfants HP, mais Walker et Shore (2011) ont évoqué dans leur revue de littérature que les compétences linguistiques sont importantes pour pouvoir détecter les fausses croyances chez les enfants, car le développement du langage est précoce chez les enfants HP, et est corrélé aux capacités de la compréhension des fausses croyances. Celles-ci devraient alors être très efficaces et développées précocement chez les enfants HP mais aucune étude à notre connaissance n'a été effectuée sur le sujet (Astington & Jenkins, 1999, cité par Walker & Shore, 2011).

Quel que soit le type d'évaluation, la compréhension des caractéristiques de « l'intelligence émotionnelle » chez les enfants HP demande la compréhension du développement des capacités de traitement de l'information sociale chez l'enfant en général. Pour ce faire, nous présentons quelques fondamentaux à travers les travaux de Lemerise et Arsenio (2000) qui ont amélioré le modèle de traitement de l'information sociale et l'ajustement social chez l'enfant de Crick et Dodge (1994) (figure 18). Ce modèle est basé sur six étapes fondamentales organisées en boucle rétroactive : l'encodage, l'interprétation, la clarification des objectifs, l'élaboration de réponses, le choix d'une réponse et sa mise en action. L'encodage des indices sociaux se fait à partir de la récupération des indices environnementaux. Lors de l'interprétation des indices encodés, l'enfant les met en lien avec ce qui est enregistré en mémoire à partir des expériences vécues, il peut ensuite affiner et déterminer ses objectifs. Pour les atteindre, il passe ensuite à l'élaboration de réponses adaptatives en fonction de ses expériences antérieures et ce qu'il est en train de vivre à l'instant. Les réponses élaborées sont alors évaluées afin d'en sélectionner une seule ou d'en élaborer

d'autres plus adaptées. Enfin dès qu'une réponse est jugée adéquate, l'enfant passe à sa mise en action. Étant donné que ce modèle est basé sur des étapes séquentielles, nous constatons que la première étape (l'encodage) est primordiale. En effet, si l'information n'est pas encodée adéquatement, toutes les étapes seront affectées, c'est-à-dire que si l'enfant ne perçoit pas correctement les indices sociaux (défaut de décodage des affects par exemple), il en établirait difficilement une bonne compréhension et, par conséquent, mobiliserait difficilement un ajustement social adapté. Ainsi, la cognition sociale chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP peut être évaluée davantage en termes de reconnaissance et de décodage d'affects au regard des réponses sociales fournies dans différentes situations. Pour ce faire, il existe des tests standardisés et normés comme « reconnaissance des affects » et « théorie de l'esprit en tâche verbale et contextuelle » de la batterie neuropsychologique (NEPSY-II ; Korkman et al., 2007).

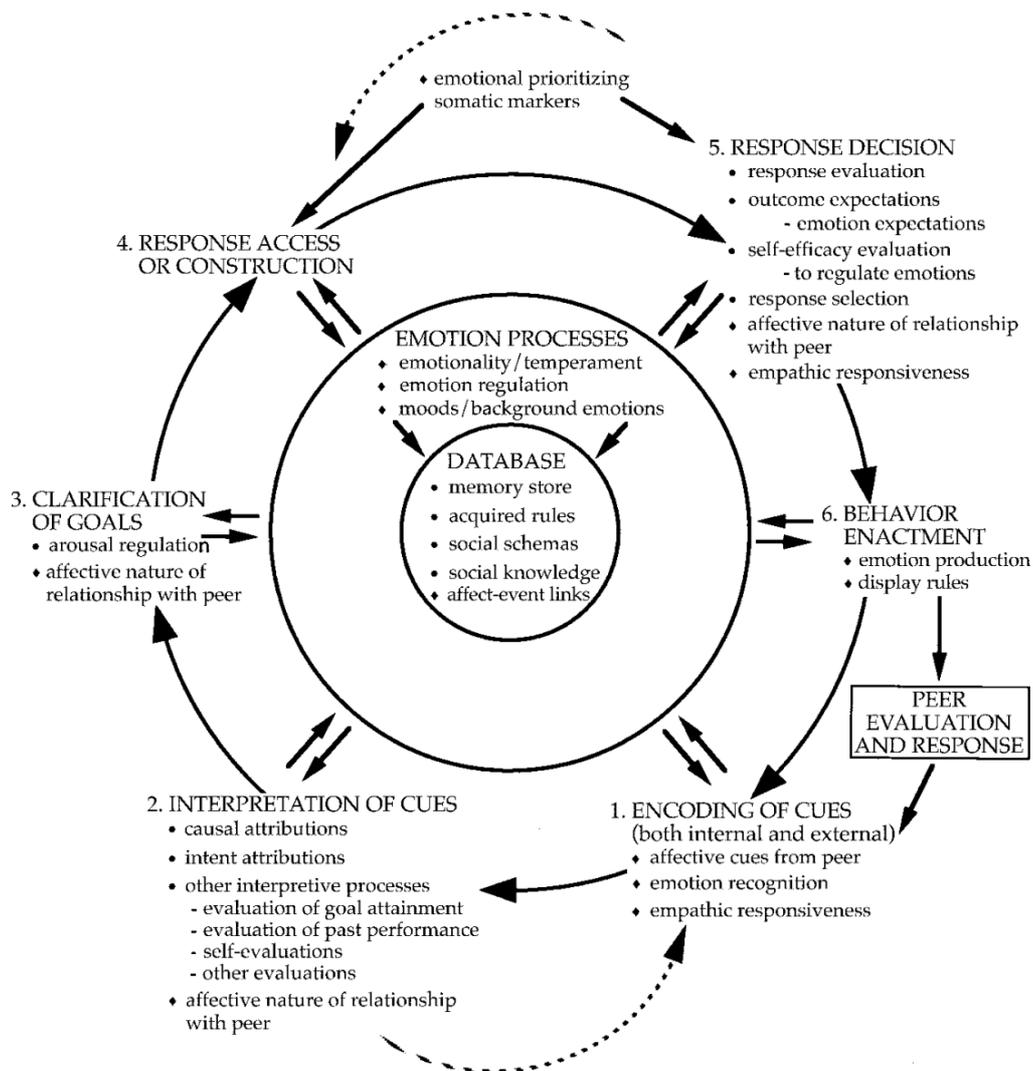


Figure 18: Modèle de traitement de l'information sociale (Lerner & Arsenio, 2000).

Par ailleurs, l'approche de Salovey et Mayer (1990) que nous avons évoquée plus haut, et à qui nous devons cette notion de « l'intelligence émotionnelle », est d'ailleurs congruente avec le modèle Lemerise et Arsenio (2000). En effet, cette approche dite l'approche aptitude est composée de 4 aptitudes principales organisées hiérarchiquement : 1) la capacité à percevoir, décoder et exprimer les émotions ; 2) la capacité à utiliser les émotions comme facilitateurs de pensée ; 3) la capacité à raisonner au sujet d'émotions et en appréhender la complexité demandant aussi des capacités de métacognition ; 4) la capacité de réguler ses émotions et les moduler en fonction de l'autre (Salovey & Mayer, 1990). Ces aptitudes peuvent être mesurées à l'aide des tests psychométriques standardisés qui sont essentiellement des tests de performances dont la cotation est basée sur l'étalonnage des normes de la population générale. Parmi ces outils d'évaluation, nous citons « Multifactor Emotional Intelligence Scale : MEIS » (Mayer et al., 1999), « Mayer Salovey Caruso Emotional Intelligence Test : MSCEIT » (Mayer et al., 2001), « Emotional Quotient Inventory : EQ-i » (Bar-On, 1997), qui est également considéré comme questionnaire évaluant l'intelligence émotionnelle à travers les compétences sociales, et les dimensions de la personnalité en lien avec les relations interpersonnelles (Extremera & Fernández-Berrocal, 2005), « Trait Emotional Intelligence Questionnaire : TEIQue) de Petrides et Furnham (2001), l'adaptation française de l'échelle de mesure de l'intelligence émotionnelle perçue (Trait Meta-Mood Scale : TMMS ; Salovey et al., 1995) (Bourdier & Ringuenet, 2016), et l'adaptation française du questionnaire originale de Baron-Cohen et Wheelwright (2004) « Empathy Quotient » qui évalue l'intelligence émotionnelle à travers l'empathie et la capacité à comprendre les émotions des autres.

Une étude comparative franco-belge (Brosseur & Grégoire, 2010) a utilisé le « Trait Emotional Intelligence Questionnaire : TEIQue » de Petrides et Furnham (2001), auprès de 90 individus HP selon les auteurs ($QI \geq 125$ aux échelles de Wechsler, les auteurs n'ont pas précisé quelle version), âgés de 11-18 ans, comparés à 90 jeunes non-HP (matrice de Raven). Nous notons néanmoins que les enfants dit HP de cette étude ont été recrutés dans un réseau d'écoute et d'accompagnement des jeunes HP de la communauté française et belge (70% avaient des difficultés scolaires). Les auteurs ont également utilisé la version française du questionnaire de compétences sociales et du comportement socio-adaptatif « Achenbach System of Empirically Based Assessment : ASEBA » (Achenbach, 2001 ; cité par Brosseur &

Grégoire, 2010). Les résultats ont montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les jeunes HP et les jeunes neurotypiques concernant l'intelligence émotionnelle que ce soit au niveau l'adaptabilité, la régulation des émotions, les compétences sociales, ou la gestion du stress avec autrui (Brasseur & Grégoire, 2010). Ainsi, les auteurs infirment l'hypothèse postulant sur l'existence de caractéristiques émotionnelles spécifiques aux jeunes HP. Toutefois, les auteurs ont noté un lien significatif entre l'intelligence émotionnelle et les compétences sociales ainsi qu'avec la réussite scolaire, et ce chez les enfants HP et non-HP sans différence significative. Si ces résultats ne peuvent être généralisés sur les enfants HP car ils concernent principalement les enfants HP avec difficultés scolaire, étant donné le lieu de recrutement de cet échantillon, ils soulignent tout de même les capacités d'intelligence émotionnelles chez les jeunes HP qui semblent « préservées » et ne montrent aucune différence significative avec le groupe non-HP, qui lui était recruté aléatoirement dans des classes scolaires ordinaires sans aucune difficulté scolaire.

Une des anciennes études (Field et al., 1998) a également montré les bonnes capacités d'intelligence sociale chez les enfants HP comparés à leurs pairs non-HP. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de 162 adolescents non-HP et 62 HP (les auteurs n'ont pas explicité les critères d'inclusion de ce groupe). Différents auto-questionnaires standardisés évaluant différents champs, comme le soutien social, l'intimité avec les pairs et la famille, les responsabilités familiales, l'estime de soi, et les comportements de prise de risque, ont été administrés aux jeunes participants à l'étude et à leurs enseignants. Les résultats de cette étude ont montré que la perception des jeunes HP d'eux même concernant ces champs reflète, selon les auteurs, une meilleure intelligence émotionnelle que leurs pairs. De plus, la perception des enseignants a été congruente avec celle des jeunes HP. Bien qu'intéressants, ces résultats restent cependant limités car, d'une part, il s'agit d'une évaluation par auto-questionnaires qui apportent souvent un biais méthodologique lié la désirabilité sociale, et d'autre part, nous ne savons pas ce que les auteurs appellent HP puisque les critères d'inclusion ne sont pas explicités dans cette étude.

D'autres études vont dans le sens de réfuter l'hypothèse d'une intelligence élevée s'accompagnant systématiquement d'un niveau d'adaptation social faible. Ces deux caractéristiques antagonistes ont été au cœur des études de Luftig et Nichols (1990, 1991). Ces derniers ont évoqué de meilleures capacités d'intelligence émotionnelle chez les enfants HP, mais ceci varie en fonction du genre. En effet, lors

d'un programme éducatif qui durerait une à deux heures par jour, les garçons HP s'avéraient plus « *populaires* », moins agressifs, et plus créatifs alors que les filles HP l'étaient moins par rapport aux garçons HP, mais pas par rapport aux jeunes non-HP. Elles seraient perçues comme « *distantes* », « *autoritaires* », et « *réservées* ». A noter que cette étude ait été effectuée sur un échantillon de 496 « *élèves* » (207 garçons et 225 filles) dont 64 HP (24 garçons et 40 filles), tous âgés de 10 ans en moyenne, recrutés dans des écoles élémentaires. Le Haut Potentiel a été identifié par une procédure multivariée (les notes aux examens et les désignations des enseignants et des parents, l'intelligence), ensuite des psychologues ont confirmé le HP chez les enfants constituant ce groupe (Luftig et Nichols, 1991). Cependant, les auteurs n'ont pas précisé les outils d'évaluation de l'intelligence) et ces caractéristiques notées chez les garçons et les filles HP restent peu fiables puisqu'elles reposent essentiellement sur des observations qui peuvent être subjectives.

Dans cette quête de compréhension des profils socio-émotionnels des enfants HP, l'étude canadienne descriptive de Pilarinos et Solomon (2017) s'est intéressée au lien entre le style parental et les difficultés socio-émotionnelles chez les enfants HP. Pour ce faire, les auteurs se sont appuyés sur un échantillon d'enfants HP âgés de 7 à 11 ans ($QI \geq 130$ au WISC-IV ; $n=48$), recrutés dans des écoles primaires et des associations. Le style parental a été mesuré à l'aide du questionnaire d'autorité parentale (PAQ-R ; Reitman et al., 2002). L'ajustement psychosocial des enfants a été mesuré à l'aide du questionnaire des forces et faiblesses (SDQ ; Goodman, 1997) qui a été rempli par les parents et les enseignants. Les résultats ont montré que 39,6 % ($n=19$) des enfants HP ont été décrits par leurs parents comme ayant des problèmes sociaux avec les pairs, ce qui ne concordait pas avec les résultats obtenus auprès des enfants et de leurs enseignants. De plus, les auteurs précisent que les mères ont signalé significativement plus de problèmes de conduite chez les enfants que les enseignants. Aucune association significative n'a été trouvée entre le style parental et les problèmes sociaux avec les pairs (Pilarinos et Solomon, 2017). Des études ont trouvé des résultats similaires (Morawska & Sanders, 2009 ; Liratni & Pry, 2011). Cependant, ils contrastent avec d'autres études telles que celle de Cornell et Grossberg (1987) qui ont trouvé une relation significative entre un très bon niveau de communication perçu par les parents notamment les mères et moins de problèmes de conduite dans les familles d'enfants HP. Il apparaît des contradictions liées

principalement aux petites tailles de l'échantillon, les lieux de recrutement, et les outils d'évaluation qui sont très souvent qualitatifs.

Tableau 2: Caractéristiques socio-émotionnelles et psycho-affectives des enfants HP

Études	Population	Lieu de recrutement	Évaluation intellectuelle	Évaluation émotionnelle	Principaux résultats
Terrassier (2005) : Étude française empirique	1 groupe d'enfant HP- nombre non spécifique	Consultations psychologiques au cabinet	WISC	Observations cliniques	Les enfants HP présentent un développement affectif et psychomoteur moins avancé que leur développement cognitif (dyssynchronie interne). Le décalage entre leur propre rythme de développement par rapport à celui des autres enfants provoque une désynchronisation sociale, reflétée dans leurs relations avec les autres enfants du même âge.
Liratni et Pry (2011) : Étude française transversale descriptive	2 groupes : enfants HP consultants (QI \geq 130 ; n=12), enfants HP non consultant (QI \geq 130 ; n=23)	Consultations psychologiques pour le groupe consultant et classe spéciales HP pour les non consultants	WISC-III et WISC-IV	Vineland (comportements socio-adaptatifs).	Les deux groupes se différencient significativement sur le plan des comportements socio-adaptatifs : les enfants HP tout-venant montrent des compétences dans la norme alors que les enfants HP consultants présentent des performances significativement inférieures. Les auteurs attirent l'attention sur les biais de recrutement des participants aux études sur le haut potentiel et à considérer l'hétérogénéité des profils dans les analyses cliniques.
Andreani et Pagnin (1993) : Étude italienne expérimentale	3 groupes âgés de 15-17 ans : 370 adolescents (HP, neurotypiques, et enfants avec intelligence faible). Les auteurs n'ont pas précisé le nombre d'enfants dans chaque groupe.	Lycée publique	D48 intelligence test (QI non verbal)	Expérience construite par les auteurs, avec des épreuves créatives, des dilemmes moraux et valeurs	Corrélation significative entre intelligence supérieure et ajustement social (en plus de l'empathie, <i>la moralité demande une analyse des problèmes et une prise de décision au niveau rationnel et ; ce qui serait plus efficace chez les enfants HP</i>). Les résultats ont indiqué que les HP avec une créativité élevée donnent significativement plus de solutions plus originales aux dilemmes (<i>meilleure référence à la complexité des différentes perspectives</i>).
Brasseur et Grégoire (2010) : Étude française descriptive	2 groupes âgés entre 11 et 18 ans : enfants HP (QI \geq 125 ; n=90), enfants neurotypiques (n=90). Dans chaque groupe, ils sont distingués deux sous-groupes (de 11-14 ans et de 15-18 ans).	Réseau d'écoute et d'accompagnement des jeunes HP de la communauté française et belge (70% avaient des difficultés scolaires)	WISC et Matrices de Raven	TEIQue (<i>Trait Emotional Intelligence Questionnaire</i>), Achenbach System of Empirically Based Assessment (<i>Questionnaire de compétences sociales et du comportement socio-adaptatif</i>)	Il n'existe pas de différence significative entre les HP et les neurotypiques concernant « <i>l'intelligence émotionnelle trait</i> ». Ainsi les auteurs ont infirmé l'hypothèse postulant sur l'existence de caractéristiques émotionnelles spécifiques aux enfants HP tout-venant. Il existe un lien significatif entre l'intelligence émotionnelle et les compétences sociales ainsi qu'avec la réussite scolaire, et ce chez les enfants HP et neurotypiques sans différence significative.
Vaivre-Douret (2004b) : Étude française longitudinale, descriptive et rétrospective.	1 groupe : 60 enfants HP tout-venant	Consultation pédiatrique attachée à la maternité	WISC	Observations cliniques	- Les enfants HP aiment les activités non routinières - Ils aiment les jeux compliqués. - Ils expriment une originalité au niveau des pensées, des goûts, et des activités. Ils sont créatifs et curieux, ils ont un fort besoin constant de s'investir - Ils sont autodidactes et indépendants. Ils expriment une forte exigence vis-à-vis d'eux même - Ils anticipent souvent les réponses. Ils ont un fort sens critique et autocritique, sens de l'humour

					<ul style="list-style-type: none"> - Sensorialités « à fleur de peau » - Ils sont très sensibles à l'injustice. Ils expriment une demande affective importante et impérieuse - Ils expriment un fort désir de valorisation et de reconnaissance. Mais ils montrent une « auto dévalorisation du moi ». - Ils expriment une certaine timidité apparente. Ils ont à la recherche d'interaction avec des plus âgés et/ou adultes.
Guignard et Zenasni (2004) : Revue de littérature française	Enfants HP-nombre non spécifique	-	Caractéristiques émotionnelles.	-	Divergences entre les études liées aux biais méthodologiques ne permettant pas de conclure. Néanmoins, une caractéristique majeure est déterminée : Hypersensibilité émotionnelle. Hypothèse sur le lien entre caractéristique individuelle excessive comme l'anxiété et l'inadaptation du système scolaire ordinaire aux HP.
Boschi et al. (2016b) : Revue de littérature française	Enfants HP-nombre non spécifique	-	WISC	-	Le HP regroupe différents profils développementaux, l'un d'entre eux est similaire avec celui du syndrome d'Asperger : Co-occurrence du TDAH, capacités verbales > performances, profil sensoriel spécifique, faible régulation émotionnelle, hypersensibilité, avance développementale au niveau moteur et cognitif.
Mouchiroud (2004) : Revue de littérature américaine	Enfants HP-nombre non spécifique	-	WISC	-	Résultats divergents en raison de la multiplicité des méthodes de recherche. Importance de prendre en compte la précocité sociale chez ces enfants pour une meilleure identification.
Weismann-Arcache (2006) : Revue de littérature française	Enfants HP- âgés de 3-12 ans -nombre non spécifique	-	WISC	-	Les enfants HP sont caractérisés par une intensité de la réactivité et une susceptibilité aux traumatismes, une sensibilité accrue à la perte, soulignant une sensibilité narcissique particulière. Il existe une dyssynchronie affective/intellectuelle chez l'enfant HP.
Neihart et Yeo (2018) : Revue de littérature	Enfants HP-nombre non spécifique	-	WISC	-	Les enfants HP sont mieux adaptés car ils sont capables d'une meilleure compréhension de soi et des autres. Ils gèrent mieux le stress et les conflits. Toutefois, les enfants HP sont plus à risque de difficultés psychologiques, en particulier à l'adolescence et à l'âge adulte, car ils sont plus sensibles aux conflits interpersonnels.

Mendaglio (1995) : Revue de littérature canadienne	Enfants HP-nombre non spécifique	-	WISC	-	Dans la littérature il ressort de manière récurrente une sensibilité accrue chez les enfants HP en tant que caractéristique affective spécifique à eux. La sensibilité est considérée dans une approche cognitive, affectives, interpersonnelles et intra-personnelle. - Quatre concepts psychologiques définissent la sensibilité chez les enfants HP : la conscience de soi, la prise de perspective, l'expérience émotionnelle et l'empathie.
Hay et al. (2007) : Étude américaine descriptive	2 groupes âgés entre 9 à 12 ans : élèves HP (QI \geq 130 ; n=176) et neurotypiques (n=128)	Écoles	WISC	"Prosocial Reasoning Objective" "Measure et The Interpersonal Reactivity Index"	Les enfants HP ont tendance à utiliser un niveau de raisonnement social significativement plus élevé que leurs pairs d'âge. L'analyse de régression hiérarchique a confirmé que la capacité intellectuelle élevée chez les enfants HP prédisait significativement l'empathie affective, et les moyennes ont démontré que les enfants HP avaient des niveaux d'empathie affective significativement plus élevés que leurs pairs d'âge.

3. Outils d'évaluation neuropsychologique dans les études cliniques et recherche qui s'intéressent au Haut Potentiel

Tableau 3:Récapitulatif des différents outils d'évaluation neuropsychologique habituellement utilisés en France, dans les études cliniques et en recherches s'intéressant au Haut Potentiel.

Évaluations	Outils
Niveau intellectuel	Échelles d'intelligence de Wechsler : WISC-V ^{FR} (Wechsler, 2016) ; WISC-IV (Wechsler, 2003) ; WAIS-IV (Wechsler, 2008) ; WPPSI-IV (Wechsler, 2012) en fonction de l'âge.
Fonctions cognitives	<p>Planification et raisonnement, résolution de problème : Tour de Londres (Shallice & Vanier, 1991 ; Lussier et al., 1998), Tour d'Hanoi (Richard, 1982) ; Porteus Labyrinth test (Korkman et al., 2003).</p> <p>Flexibilité cognitive et prise d'initiative : Catégorisation (NEPSY-II ; (Korkman et al., 2007), WCST (Wisconsin Card Sorting Test ; Grant & Berg, 1993).</p> <p>Inhibition : Stroop, Inhibition (NPEY-II ; (Korkman et al., 2007), attention auditive et réponses associées (score inhibition et commission de la NPSY).</p> <p>Capacités attentionnelles et fonctions exécutives : TE-ACH, NEPSY-II (Korkman et al., 2007), TAPS (Gardner, 1997), FÉE (Roy et al., 2021), BRIEF (Gioia et al., 2016), Conners (2008).</p> <p>Mémoire de travail auditive : l'indice de mémoire de travail des échelles de Wechsler.</p> <p>Mémoire de travail visuo-spatiale : Tour de Londres (Shallice & Vanier, 1991 ; Lussier et al., 1998), figure de Rey (Wallon & Mesmin, 2009).</p> <p>Fonction visuo-spatiales/ constructives : Figure de Rey (Wallon & Mesmin, 2009), cubes de Kohs (1920), Beery VMI (Beery & Beery, 2010).</p> <p>Capacités neurovisuelles : VMI perceptif (Beery & Beery, 2010). , reconnaissance des formes du KABC-2 (Kaufman & Kaufman, 2004), DTVP (Brown & Hockey, 2013), barrage des H ou barrage des O (Vaivre-Douret, à paraître).</p>
Fonctionnement psycho-affectif	<p>Dépression : MDI-C (Échelle composite de dépression pour enfants ; Berndt & Kaiser, 1999) ; DASS (Depression Anxiety Scale ; Lovibond & Lovibond, 1995) ; entretien clinique.</p> <p>Anxiété: R-CMAS (Revised Children's Manifest Anxiety Scale; Reynolds et al., 1999); STAIC (State Trait Anxiety Inventory for Enfants; Turgeon & Chartrand, 2003); DASS (Depression Anxiety Scale; Lovibond & Lovibond, 1995), entretien clinique.</p> <p>TSA : AQ (Sonié et al., 2013), ADOS (Lord et al., 2012), ADI-R (Rutter et al., 2003), entretien clinique.</p> <p>Autres troubles : DSM-5 (APA, 2013), entretien clinique.</p>

Cognition sociale

Théorie de l'esprit et reconnaissance des affects de la NEPSY-II (Korkman et al., 2007) ; EQ (Sonié et al., 2011) ; TEIQue (Trait Emotional Intelligence Questionnaire ; Petrides & Furnham, 2001) ; OEQ-II (Overexcitabilities Questionnaire ; Falk et al., 1999).

Potentiel créatif

EPoC (Lubart et al., 2011).

Graphomotricité

BHK (Charles et al., 2003), Grille d'observation gestuelle et posturale, Copie de boucles cycloïde (Vaivre-Douret et al., 2021) ; L'évaluation de copie de phrase d'Ajuriaguerra et Auzias (1960) « *Je respire le doux parfum des fleurs* ».

Résumé du chapitre 4 : Caractéristiques socio-émotionnelles et psycho-affectives des enfants à Haut Potentiel :

Il existe de nombreuses études s'intéressant aux caractéristiques socio-émotionnelles et psycho-socio-affectives des enfants HP. Pourtant, il n'existe aucune étude à notre connaissance s'intéressant à la compréhension de l'organisation de la trajectoire du développement psycho-affectif chez les enfants HP comparés aux non-HP. Il existe par ailleurs de réelles contradictions dans la littérature concernant les caractéristiques socio-psycho-affectives attribuées aux enfants HP. Ces divergences sont liées à différentes raisons. L'une de ces raisons est la difficulté d'opter pour une définition unanime du HP compte tenu des différentes terminologies et définitions existantes. La totalité des études s'appuient sur l'unique critère de QI supérieur, qui varie de 120 à 125 et dans les meilleurs des cas à 130. De plus, les auteurs n'utilisent pas les mêmes outils pour évaluer les mêmes fonctions et pour la majorité d'entre eux l'échantillon représentant les enfants HP est souvent recruté dans des consultations, ce qui est un biais méthodologique important à prendre en compte.

L'hypersensibilité émotionnelle occupe une place importante dans la littérature s'intéressant au HP. Certains auteurs relient cette hypersensibilité émotionnelle à une hypersensibilité sensorielle et une conscience dite accrue chez les sujets HP. D'autres la mettent en lien avec une hypersensibilité générale et supposent un lien avec une surexcitabilité cérébrale donnant lieu à une hyperexcitabilité intellectuelle, psychomotrice, sensuelle, imaginaire et émotionnelle. Toutefois, aucune étude neurologique à notre connaissance ne confirme cette hypothèse. D'autres auteurs montrent que cette hypersensibilité est significativement plus présente chez les enfants HP ayant un profil de QI hétérogène et des difficultés socio-cognitives au quotidien. Sur le plan de l'intelligence sociale, il existe également des contradictions dans la littérature. Ces contradictions s'avèrent liées à deux raisons principales. La première est liée aux difficultés liées au manque de consensus par rapport à la définition du HP et à la représentativité de l'échantillon. La seconde est liée au manque d'outils objectifs d'évaluation émotionnelle. De cette littérature contradictoire, il en résulte trois principaux résultats divergents. D'une part, un raisonnement social très développé avec des meilleures capacités d'adaptation sociale, meilleures capacités de gestion des conflits interpersonnels, d'introspection et de compréhension de soi, meilleures capacités d'empathie. D'autre part, de moins bonnes capacités d'intelligence émotionnelle chez les sujets HP créant une dyssynchronie de

développement intellectuel/affectif. Enfin, l'absence de lien significatif entre HP et l'existence d'une intelligence émotionnelle trait ou d'anxiété trait.

Chapitre 5 : Caractéristiques neuromotrices du Haut Potentiel

1. Maturation neuromotrice physiologique du développement chez l'enfant

Avant de détailler les données de la littérature sur le développement moteur des enfants HP (que nous présenterons plus loin), rappelons que le développement physiologique chez tous les enfants est sous-tendu par une maturation biologique intrinsèque qui est en synergie avec des facteurs extrinsèques provenant de l'environnement de l'enfant (Vaivre-Douret, 2004). Le système nerveux commence par se former pendant la première moitié de la grossesse. A la fin de la gastrulation, la notocorde (structure allongée) se met en place, permettant à l'embryon de passer d'une forme circulaire à une structure allongée ; étape très importante dans le développement de la plaque neurale. Cette dernière est formée grâce à un signal envoyé par la notocorde à l'ectoderme (une couche de cellules située au-dessus d'elle). Ce processus va s'achever par la mise en place du tube neural à partir duquel se formera l'encéphale (cerveau : télencéphale et diencephale ; tronc cérébral : mésencéphale, pont, bulbe rachidien) et la moelle épinière donnant naissance au système nerveux central (SNC) (Delhaye-Bouchaud, 2001). La maturation du SNC est caractérisée par l'apoptose (mort cellulaire programmée) qui joue un rôle crucial au cours du développement, déterminant la taille et la forme définitives du cerveau. L'apoptose permet la mise en place des réseaux neuronaux, en éliminant les neurones n'ayant pas établi les connections synaptiques adéquates. L'élimination des synapses marque le processus de maturation du SNC et continue après la naissance jusqu'à l'âge de 25 ans avec une prolifération globale, une migration neuronale, une augmentation de la taille des cellules et du nombre de connexions grâce à l'élagage synaptique (Lanfumej, 2019). La maturation se poursuivra alors au niveau des voies motrices avec la myélinisation des axones pendant la période de gestation et la maturation des voies nerveuses sous-cortico-spinales issues de la substance réticulée et des noyaux de la substance grise du tronc cérébral. Dès trente-deux semaines de gestation, la myélinisation progressive des voies corticospinales va permettre d'assurer le contrôle postural et la motricité volontaire en suivant deux lois : 1) la loi

céphalo-caudale (du tonus musculaire de la tête vers les membres inférieurs). 2) la loi proximo-distale (du tonus musculaire de l'axe du corps vers les parties les plus distales de cet axe). De plus, cette maturation ne dépend pas que de la connexion entre les lobes mais également des faisceaux d'association notamment sous-corticaux et corticaux thalamiques, et particulièrement au niveau du cingulum (faisceau d'association limbique) impliqué dans le développement psychomoteur du bébé (Berthoz et al., 2002). L'intégration sensorimotrice, quant à elle, est fonctionnelle dès les premiers mois en intra-utérin (Vaivre-Douret, 2003). L'organisation sensori-motrice donnant lieu à la production des mouvements, qu'ils soient volontaires ou involontaires, est sous le contrôle du SNC. Celui-ci fonctionne en interaction avec le système musculo-squelettique (forces internes) et le monde extérieur (modélisation biomécanique). Pour comprendre l'importance du mouvement dans le développement des enfants en général et des HP en particulier, il convient de rappeler les voies neuromotrices et le contrôle cérébral qui le sous-tendent.

1.1. Contrôle cérébral de la motricité

Selon Marin et Danion (2005), l'ensemble de la fonction motrice est contrôlé par deux types de contrôles : 1) Contrôle en boucle fermée : permet de corriger le mouvement en cours et de moduler la commande motrice en cours lorsque le mouvement n'est pas conforme avec l'objectif. Ce type de contrôle est basé sur l'utilisation des signaux sensoriels (visuels, proprioceptifs, tactiles, vestibulaire, etc.) en lien avec le mouvement. 2) Le contrôle en boucle ouverte : Les signaux sensoriels ne sont pas utilisés dans l'élaboration de la commande motrice. La fonction motrice permet la contraction des cellules musculaires grâce aux motoneurones. Les fonctions motrices comprennent trois composantes principales (Purves et al., 2011) : 1) Le tonus musculaire ; 2) le maintien postural ; 3) les mouvements. **1) Le tonus musculaire** : Le mot de « *tonus* » apparaît dans la littérature originaire des travaux de Müller (1835) pour désigner « *la légère tension contractile dans laquelle se trouve en permanence tout muscle squelettique normal non directement engagé dans la performance d'un acte spécifique* ». C'est ce qui donna naissance à une définition plus large et qui deviendra par la suite plus classique dans la littérature médicale désignant « *la tension légère à laquelle se trouve normalement soumis tout muscle squelettique à l'état de repos* ». Sur le plan physiologique, le tonus d'un muscle est la réaction du muscle à

son propre étirement. De manière plus précise, le fuseau neuro-musculaire ou ce que l'on appelle la cellule réceptrice du muscle et le motoneurone (corne antérieure de la moelle épinière) travaillent en synergie pour créer le tonus musculaire (Paillard, 1976).

Ces aspects physiologiques du tonus sont liés aux dimensions affectives et relationnelles. Paillard (1976) a montré dans ses études expérimentales que dans le cas d'effort musculaire, des situations d'attention ou de vigilance, ou dans certains états émotionnels, l'action tonique n'est pas directement médullaire mais sous l'influence de certaines structures nerveuses supérieures comme le cervelet et la formation réticulée. Thomas et Ajuriaguerra (1949) précisent dans leurs travaux issus de la neuropsychiatrie, axés sur la sémiologie du tonus musculaire, que celui-ci se trouve au carrefour du somatique et du psychique car il est impliqué dans la dynamique d'interaction avec l'environnement, et se développe progressivement. Après une naissance à terme, la répartition tonique est particulièrement contrastée et persiste durant les premières semaines de la vie extra-utérine (Assaiante & Amblard, 1993) : le tronc et le cou du nouveau-né sont hypotoniques soulignant d'une hypotonie axiale, mais avec une hypertonie des fléchisseurs des membres et de l'épaule aux doigts, ainsi que de la hanche aux orteils. Au cours du développement, le tonus axial va augmenter s'accompagnant d'une diminution progressive de l'hypertonie des membres de façon dépendante. Ainsi, le développement du tonus axial se reflète par une augmentation de la tonicité musculaire le long de la colonne vertébrale ; de la tête vers le bas du dos (loi céphalo-caudale : le tonus actif du cou se développe avant celui de la région lombaire). En parallèle, les fléchisseurs des membres gagnent en relâchement autour de 3 mois, puis le tonus des extenseurs se renforce par rapport aux fléchisseurs (loi proximo-distale : des segments centraux vers les segments distaux).

Au niveau clinique le tonus musculaire s'évalue sur quatre plans : le tonus de fond, le tonus d'action, le tonus de soutien, et le tonus d'attitude (Vaivre-Douret, 2006). En pratique, l'évaluation du tonus musculaire est basée sur l'examen et la manipulation clinique chez l'adulte, mais Vaivre-Douret (2006) a validé les premières normes développementales pour l'examen du tonus chez l'enfant. Le tonus de fond est désigné dans la littérature sous d'autres noms comme le tonus résiduel, le tonus de repos, le tonus passif ou tonus permanent et correspond à la tension permanente du muscle. Il s'exprime par le degré d'allongement mécanique d'un muscle lorsqu'on éloigne au maximum ses points d'insertion et peut être apprécié par le ballant ou

l'extensibilité. Son évaluation permet d'apprécier le degré de maturation neurologique, la dominance latérale tonique, et de déceler les anomalies toniques. L'examen de l'extensibilité consiste à rechercher les degrés d'étirement mécanique du muscle et l'ouverture d'un angle articulaire. L'examen du ballant, quant à lui consiste à induire des mouvements alternatifs et rapides en étirant successivement les muscles agonistes et antagonistes d'une même articulation, afin de mesurer le degré de déplacement et de résistance des segments corporels. La comparaison droite/gauche de résistance des segments, tant à l'examen du ballant que de l'extensibilité, permet de déterminer le côté le plus tonique, appelé dominant, et de renseigner ainsi sur la latéralité tonique neurologique (Vaivre-Douret, 2006). Le tonus d'action consiste à effectuer des mouvements volontaires et permet d'évaluer l'existence de syncinésies (mouvements involontaires qui peuvent accompagner les mouvements principaux) comme dans l'épreuve de diadococinésies. Le tonus de soutien permet le maintien et le contrôle postural et s'évalue cliniquement par l'épreuve des quatre poussées. Le tonus d'attitude permet également le maintien des mises en forme posturales du corps mais à partir d'une activité tonique minimale. Il est le résultat d'une homéostasie entre les muscles du plan postérieur et les muscles du plan antérieur du corps ainsi que les muscles latéraux de l'axe. Il s'évalue par l'épreuve de la poussée faible interpellant les muscles extenseurs appelés antigravidiqes (jambier antérieur et long extenseur des orteils) (Vaivre-Douret, 2006). Enfin, le tonus musculaire constitue le fondement même de la posture et il est à la base de l'organisation et de l'exécution des gestes (Thomas & Ajuriaguerra, 1949).

2) Le maintien postural : consiste à maintenir les segments corporels dans une position donnée. Bien qu'elle puisse prendre des formes variées, la position debout reste la posture de référence chez l'être humain. Le maintien et le contrôle de cette posture bipède est essentiel pour l'acquisition de l'autonomie au cours du développement et s'acquière grâce à la maturation cérébrale progressive (Purves et al., 2011). La maturation du maintien postural s'accompagne de la maturation du contrôle postural qui est fondamental pour stabiliser et orienter le corps mais aussi pour soutenir le tonus corporel (Paillard, 1976). Le développement des capacités motrices impliquées dans l'exécution d'un mouvement volontaire demande le contrôle postural qui s'effectue par l'anticipation à l'aide des ajustements posturaux anticipés (Jover et al., 2005). Chez l'enfant, le contrôle proactif (anticipé) des mouvements apparaît plus tardivement que le développement du contrôle rétroactif, mais il est

important de noter que le contrôle rétroactif (par des feedbacks sensoriels visuels et proprioceptifs/kinesthésiques) n'est pas complètement mature lorsque le contrôle proactif (lié à la programmation motrice) apparaît et que les deux continuent à se développer mutuellement et progressivement (Shumway-Cook & Woollacott, 1995). L'étude expérimentale française de Lopez et al. (2016) s'est intéressée à l'étude du développement du contrôle du geste, particulièrement dans le geste d'écriture manuscrite. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de 262 enfants âgés de 4 à 11 ans, sans trouble de l'apprentissage avéré, scolarisés du CP au CM2. Deux types de données ont été collectés lors d'un examen graphomoteur (copie de boucles cycloïdes) : les données cinétiques avec un stylo numérique permettant d'enregistrer le tracé (vitesse, régularité, etc.) et des données posturo-gestuelles à l'aide d'une observation directe des variables préétablies par les auteurs. Les résultats ont montré une corrélation statistiquement significative entre les variables posturo-gestuelles et le niveau d'âge et plus fortement avec le niveau scolaire. De plus, une corrélation significative a été également montrée entre les données cinétiques et les données posturo-gestuelles. Lopez et al. (2016) ont conclu sur une maturation posturale, gestuelle et cinétique de l'organisation développementale du geste graphomoteur qui serait dépendante de la maturation du système nerveux mais également de l'apprentissage scolaire avec une évolution caractérisée en CE2 (Lopez et al., 2016). Récemment, grâce à la même cohorte, Vaivre-Douret et al. (2021) ont validé les premières normes développementales des caractéristiques posturales et de l'organisation segmentaire et articulatoire du bras dit scripteur, mais également sur les paramètres spatio-temporels et cinématiques du tracé. Ainsi, ces données normatives développementales mettent en exergue les mécanismes de la programmation motrice nécessaires à l'automatisation du geste de l'écriture (Vaivre-Douret et al., 2021). Les auteurs précisent que la maturation du geste particulièrement graphomoteur, nécessite l'intégration des programmes moteurs impliqués dans le contrôle rétroactif à un contrôle proactif de l'écriture manuscrite. Selon les auteurs, c'est vers l'âge de huit-neuf ans que l'enfant commence à accéder aux programmes moteurs (Vaivre-Douret et al., 2021). Leur contrôle et leur exécution dépendraient du système rétroactif sensoriel et de la représentation interne du mouvement (Meulenbroek & Van Galen, 1988 ; cité par Vaivre-Douret et al., 2021). La revue de recherche de Jover et al. (2005) a précisé que la construction des représentations mentales liées à une activation

corticale joue un rôle fondamental dans le développement de l'anticipation posturale lors de la réalisation des mouvements.

3) Le terme mouvement en physiologie recouvre différents mécanismes qui répondent à des systèmes de contrôle différents. Selon Massion (1997), on distingue d'abord le mouvement passif du mouvement actif. Le premier est produit par une force extérieure tandis que l'origine du deuxième est le SNC étant un produit d'une commande motrice. Une deuxième distinction porte sur la nature du mouvement. Par exemple, le mouvement réflexe est caractérisé par une réaction motrice reproductible, déclenché par un stimulus sensoriel précis (Massion, 1997), tels que les réflexes tendineux, les réflexes rotuliens, ou les réflexes palpébraux de la cornée. Les mouvements automatiques sont générés par un réseau nerveux inné comme par exemple le mouvement automatique végétatif (respiration, déglutition), ou acquis (e.g. marche, la nage,). Les mouvements intentionnels qui sont produits pour atteindre un objectif précis dans un contexte motivationnel. Enfin, les mouvements balistiques dont l'exécution est entièrement déterminée par la commande impulsionnelle initiale (e.g. coup de poing du boxeur) (Massion, 1997). Quel que soit le type de mouvement, il est exprimé sous le contrôle du SNC (Figure 19) en faisant appel à différentes structures : le cortex moteur, le cervelet, le système vestibulaire, les ganglions de la base, et la moelle épinière (Massion, 1997). On distingue cependant les structures corticales des structures sous-corticales. Grace au développement de la technologie telle que la tomographie par émission de positons (PET scanner), l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la stimulation magnétique transcrânienne (TMS), et l'imagerie électrique et magnétique (MEG), on peut mieux rendre compte de ces structures impliquées dans le contrôle moteur.

LE SYSTÈME NERVEUX

A. Le système nerveux central

Cerveau:

- deux hémisphères cérébraux
- le diencephale
- le tronc cérébral
- le cervelet

La moelle épinière

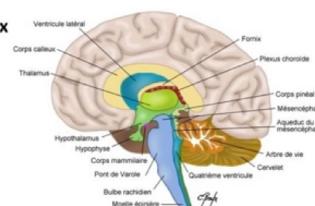


Figure 19: Le système nerveux central humain <https://slideplayer.fr/slide/3328101/>

1.1.1. Structures corticales

Parmi les structures corticales, on distingue le cortex cérébral. Dans le cortex cérébral, on distingue deux grands types de neurones corticaux : 1) les neurones pyramidaux autrement dit « neurones de projection ». Ces neurones disposent d'un axone qui quitte le cortex pour aller vers d'autres parties d'autres parties du cortex ou vers des structures sous-corticales comme les noyaux gris centraux, le tronc cérébral, ou la moelle épinière. Il existe différentes couches de ces neurones pyramidaux, la couche III par exemple donnent naissance aux fibres corticocorticales, ceux de la couche VI donnent naissance aux fibres corticothalamiques, et la couche V donnent naissance aux fibres corticospinales formant le faisceau pyramidal. 2) les neurones non-pyramidaux, ou ce que l'on appelle les interneurones, ne vont pas en dehors du cortex ayant que des connexions locales. On en distingue deux sous-types : les excitateurs et les inhibiteurs.

Concernant les aires corticales, on en distingue trois types (Marin & Danion, 2005) : 1) l'aire corticale sensorielle dont les projections sont dirigées vers d'autres structures sensorielles provoquant des réponses perceptives. Il est question du cortex sensorimoteur, auditif, visuel, olfactif, et gustatif. Ces aires sont spécialisées dans le traitement de l'information en provenance des organes sensoriels. 2) l'aire corticale motrice a des projections en direction d'autres structures motrices provoquant des mouvements, et on en distingue deux aires (figure 20) : - l'aire 4 ou le cortex moteur primaire qui permet l'exécution des mouvements volontaires fins et très localisés. – l'aire 6 est subdivisée en aire prémotrice qui permet la sélection du programme moteur adapté en fonction du contexte, et l'aire motrice supplémentaire qui est spécialisée dans l'organisation de ce programme moteur en assurant la planification et l'initiation du mouvement en fonction des expériences passées. Elle prépare également la coordination des mouvements bilatéraux et assure la programmation des mouvements complexes. Ainsi, les deux sont impliqués dans la planification des mouvements, mais l'aire prémotrice les génère à partir de stimuli sensoriels alors que l'aire motrice supplémentaire les initie à partir de mouvements mémorisés. 3) l'aire corticale associative qui est impliquée dans les fonctions complexes telles que les fonctions cognitives (pensée, raisonnement, langage, etc.), comme son nom l'indique elle met en relation les informations issues des autres aires.

- Aires fonctionnelles du cortex cérébral : rôle dans le mouvement (1)

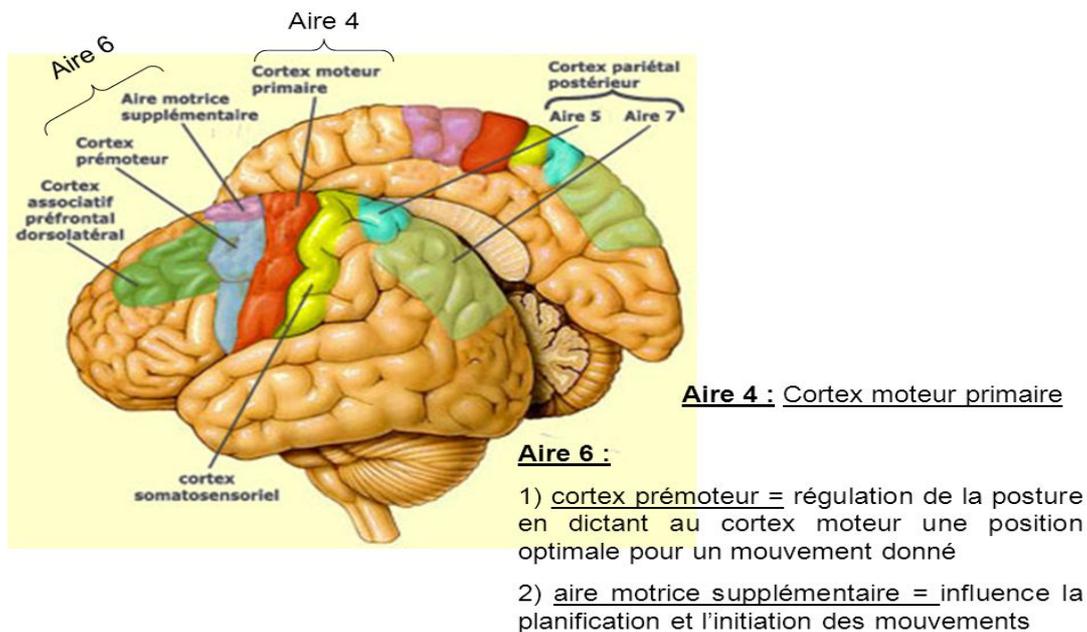


Figure 20: Les aires fonctionnelles du cortex moteur impliquées dans le mouvement
http://bhpocard.free.fr/Files/sn_3_voies_motrices

L'ensemble de ces éléments rend compte de la nécessité de rappeler les voies neuromotrices impliquées. Le contrôle moteur s'assure à l'aide des voies descendantes issues du cortex moteur et pré-moteur sur la moelle épinière. Elles sont responsables de la planification et du contrôle des séquences complexes de mouvements volontaires et de l'expression somatique des états émotionnels. C'est à l'aide de ces voies descendantes que le cortex moteur peut contrôler l'activité des motoneurones médullaires. On en distingue les voies directes de la motricité volontaire, d'origine corticale ou ce que l'on appelle habituellement la voie pyramidale ; des voies indirectes de la motricité involontaire transmettant l'information relative au mouvement, qu'il soit réflexe ou automatique, elles sont d'origine sous-corticale et appelées habituellement le système extra-pyramidal (figure 8).

Le système pyramidal est constitué principalement de la voie cortico-spinale (faisceau ou tractus pyramidal). Celle-ci est l'unique liaison entre le cortex moteur (lobe frontal) et les motoneurones spinaux. Elle émerge des cellules de Betz qui sont des cellules pyramidales du cortex moteur (Latash, 2008) pour arriver au niveau du tronc cérébral. Ensuite, elle arrive au niveau du bulbe rachidien formant les pyramides bulbaires et les pédoncules cérébraux au niveau du mésencéphale. Une grande partie des axones vont croiser la ligne médiane et plus précisément au niveau du bulbe (décussation au niveau de la jonction bulbo-médullaire) pour former le faisceau

corticospinal latéral (figure 21). Celui-ci arrive alors sur les motoneurones au niveau de la corne ventrale de la moelle épinière. Ainsi, les mouvements d'un hémicorps sont contrôlés par l'hémisphère controlatéral. Cependant, quelques fibres ne croisent pas la ligne médiane et descendent pour constituer le faisceau corticospinal ventral. Celui-ci est impliqué dans le contrôle des muscles axiaux pour le maintien de l'équilibre et la posture.

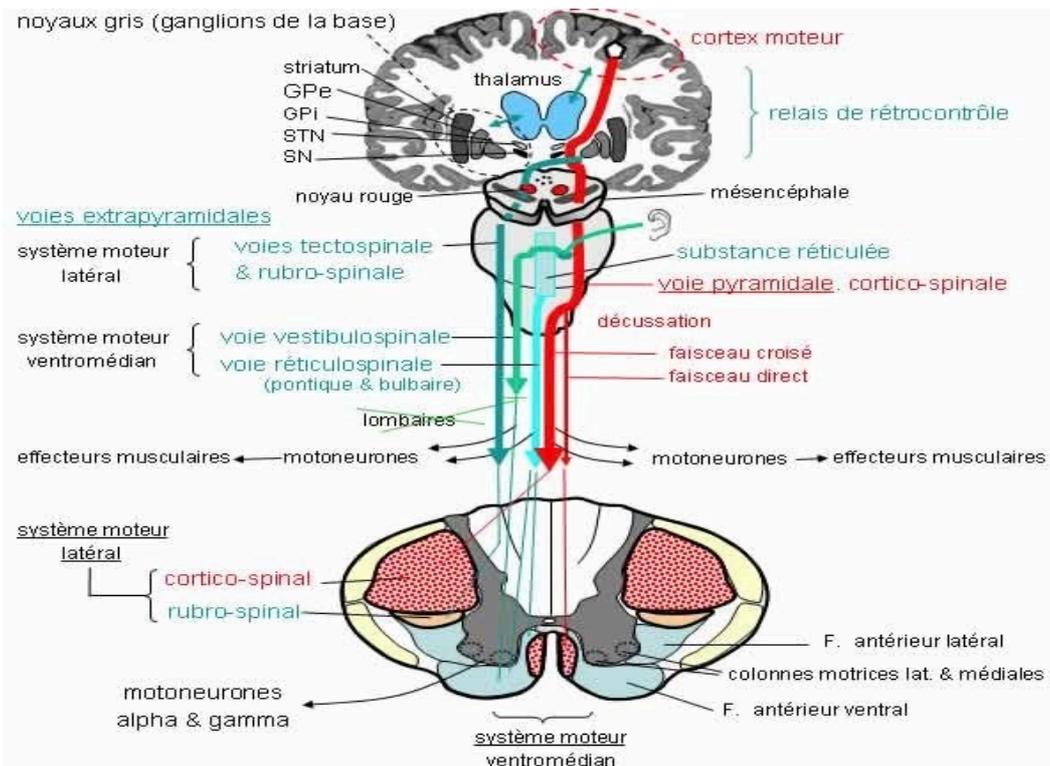


Figure 21: Voie pyramidale et extra-pyramidale impliquées dans le mouvement
http://www.dilingco.com/DilingcoPro/contenttf/physio1_2.htm

Le système extra-pyramidal (sous-corticospinal) comporte les aires motrices du cortex cérébral, les ganglions de la base, et la substance réticulée du tronc cérébral. Il définit les circuits nerveux assurant la motricité involontaire, notamment des réflexes et du contrôle de la posture. Les voies neuromotrices de transmission vont du cerveau jusqu'à la moelle épinière en passant par différents relais permettant différents rétrocontrôles sur la commande motrice. De façon contrastée avec le système pyramidal, le système extra-pyramidal est constitué de plusieurs faisceaux qui sont impliqués dans le contrôle de l'équilibre, la marche, le tonus musculaire, et les ajustements posturaux automatiques (Shapovalov, 1973). Le maintien de l'équilibre, du tonus et de la posture, l'exécution et la coordination de mouvements sont assurés également par les voies neuromotrices cérébelleuses.

Au niveau neurophysiologique (figure 22), lors d'un mouvement volontaire, le potentiel d'action (ondes électriques : les ions) se propage le long de la voie cortico-spinale pour transmettre l'influx nerveux (transmission de l'information entre le neurone pyramidal et le motoneurone). La conduction du flux nerveux permet d'activer plusieurs motoneurones et se transmet, via les nerfs périphériques, le long des dendrites jusqu'à l'extrémité. L'arrivée du flux nerveux au niveau de la jonction entre l'axone du motoneurone et la fibre musculaire, appelée la plaque motrice, provoque la libération du neurotransmetteur acétylcholine. Cela déclenche une nouvelle impulsion électrique dans le muscle et donc la contraction musculaire. Purves et al. (2011) ont montré que le premier sous-système impliqué dans la physiologie neuromusculaire est constitué essentiellement de la substance grise de la moelle épinière et du tegmentum du tronc cérébral. Les axones des motoneurones α quittent le tronc cérébral et la corne antérieure de la moelle épinière pour innervier les muscles squelettiques. Il est question d'interaction entre névraxe du SNC et le système nerveux périphérique (SNP). Il est important ici de rappeler que le SNP est constitué de nerfs sensitifs et moteurs et des ganglions qui envoient et qui reçoivent les signaux du SNC. Le deuxième sous-système est constitué de corps cellulaires de neurones supra-segmentaires se situant au niveau du tronc cérébral et du cortex. Les troisièmes (cervelet impliqué dans la réduction de l'écart entre le mouvement en cours et le mouvement souhaité) et quatrième système (ganglions de la base permettant de supprimer les mouvements non souhaités et préparent les motoneurones aux mouvements) régulent l'activité neurale motrice d'où sont issues les voies dites descendantes (Purves et al., 2011).

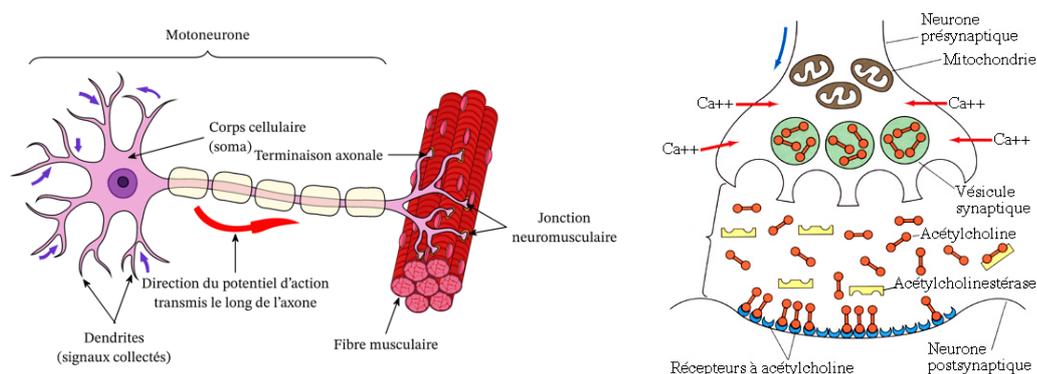


Figure 22: Unité motrice et synapse neuromusculaire (<https://eleves-tpe.skyrock.com/2975190745-B-La-transmission-neuromusculaire.html/>) (<https://www.nagwa.com/fr/explainers/676192534258/>)

Le dysfonctionnement de ces deux voies se manifestera par deux syndromes distincts : 1) Le syndrome pyramidal : atteinte de la voie cortico-spinale, plus précisément au niveau du faisceau pyramidal responsable de la commande motrice

(Marcel, 1944). Il se caractérise par des signes déficitaires et des signes de spasticité. Il s'agit d'une atteinte de la voie pyramidale entraînant une exagération des contractions musculaires autrement dit l'hypertonie, et des réflexes, ou ce que l'on appelle en neurologie, la spasticité. Le déficit est controlatéral à la lésion si l'atteinte se situe au-dessus du bulbe et ipsilatéral si la lésion est médullaire. Dans la sémiologie du syndrome pyramidal, on retrouve également une hyperexcitabilité du réflexe myotatique évoquant une perturbation des voies descendantes et une hypertonie spastique. Celle-ci se manifeste par des stretches : soit phasique qui se traduit par une contraction réflexe « *accroche tonique* » résistant au mouvement passif rapide, ou tonique qui se traduit par un « *blocage tonique* » résistant au mouvement passif rapide (Bourbonnais, et al., 1986). Dans le cas d'hypertonie, les réflexes ostéo-tendineux sont vifs. Au niveau symptomatique, on retrouve habituellement une faiblesse motrice (paralysie, gêne, lourdeur, maladresse, mauvais équilibre), une claudication motrice dite intermittente poussant le patient à se plaindre d'une faiblesse indolore des membres inférieurs survenant après un temps de marche par exemple et qui disparaît au repos pour réapparaître par la suite (atteinte médullaire), et des sensations de contractures et/ou de raideur liées à la spasticité. Le syndrome pyramidal peut se manifester également par une hypotonie musculaire avec des réflexes ostéo-tendineux faibles ou absents.

2) Le syndrome extra-pyramidal : dysfonctionnement du système dopaminergique (substance noire, striatum constitué des noyaux caudés et du putamen). Cliniquement, il se manifeste par un ensemble de syndromes moteurs : tremblement au repos, trouble de la marche notamment au niveau de l'initiation de la marche, lenteur des gestes notamment au niveau des mouvements fins comme boutonner sa chemise ou écrire. Il est ainsi caractérisé par la triade « *tremblement-akinésie-rigidité* ». A ceci s'articule d'autres symptômes comme la dysarthrie, douleur due à la rigidité, ou encore la dépression en lien avec le circuit dopaminergique perturbé (Lugaresi et al., 1988).

1.1.2. Structures sous-corticales

Parmi les structures sous-corticales, on distingue : les ganglions de la base, le tronc cérébral, et le cervelet (figure 23).

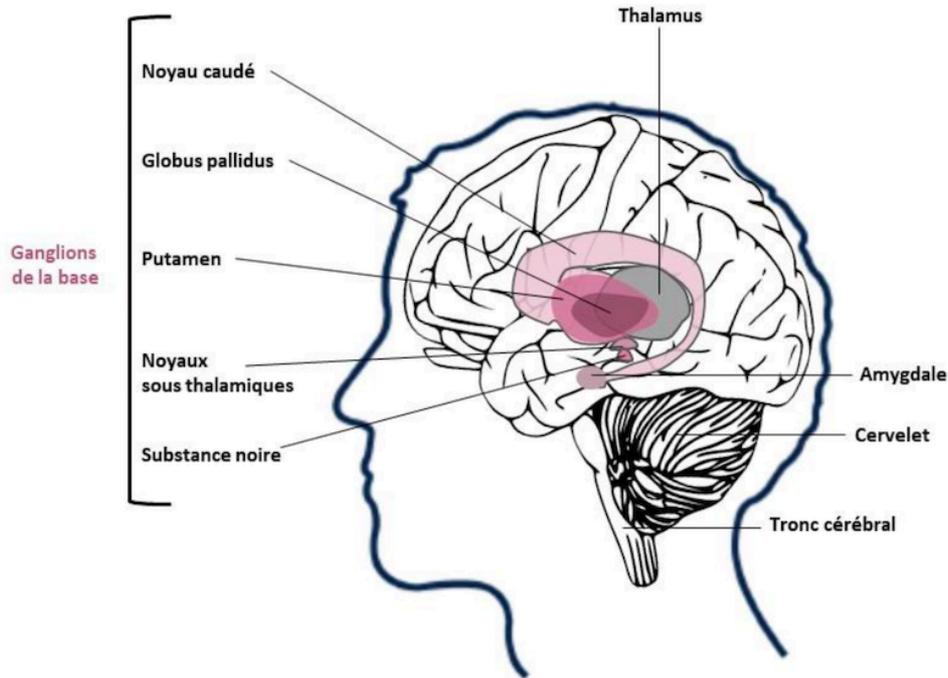


Figure 23: Structures sous-corticales <https://institutducerveau-icm.org/fr/paralysie-supranucleaire-progressive/causes/>

- **Les ganglions de la base**

Les ganglions de la base, ou ce que l'on appelle les noyaux gris centraux, jouent un rôle indirect dans le contrôle moteur. Ils ont des projections sur l'aire motrice, prémotrice, et sur l'aire motrice supplémentaire, participant ainsi à la boucle squelette-motrice. Celle-ci détermine quels mouvements seront effectués et les contrôle (Percheron, et al., 1994). C'est un ensemble de structures sous-corticales constitué principalement des noyaux caudés, putamen, globus pallidus interne et externe, noyaux sous-thalamiques, et substance noire. Ces noyaux sont interconnectés aux niveaux télencéphalique et diencephalique. Depuis les remarquables travaux de Spatz (1927), ce domaine a permis de mieux comprendre le dysfonctionnement des ganglions de la base. Celui-ci se manifestera soit par une perte de mouvements comme dans la maladie de Parkinson chez les adultes (hypokinésie), ou par une hyperkinésie comme dans le cas de la chorée d'Huntington ou la chorée athétosique dans la neurodégénérescence avec surcharge cérébrale en fer (NBIA, anciennement appelée syndrome d'Hallervorden-Spatz).

- **Le tronc cérébral**

Le tronc cérébral est le centre de régulation involontaire et automatique de l'organisme. C'est la voie par laquelle passent des influx sensitifs et moteurs entre le cerveau et la moelle épinière avec un croisement des faisceaux moteurs. Il se compose de 3 régions : le bulbe rachidien, le pont et le mésencéphale (Nandi et al., 2002). Il est impliqué essentiellement dans le contrôle du tonus, dans la coordination des muscles distaux des membres supérieurs et proximaux des membres inférieurs (le noyau rouge dans la région mésencéphalique). De plus, il joue un rôle primordial dans les générateurs des patterns locomoteurs en modulant le rythme et les coordinations. Il assure également le contrôle des mouvements oculaires conjugués et participe au mouvement de la tête (Colliculus supérieur), la régulation de la posture et du tonus (moyeux vestibulaire), le maintien du corps contre la gravité via l'activité des muscles axiaux et de la ceinture (formation réticulée ; également impliquée dans le contrôle cardio-vasculaire et respiratoire, régulation de la veille et du sommeil).

Quant aux fonctions neuropsychologiques, le tronc cérébral est impliqué dans le maintien de la vigilance, le contrôle de la douleur, et la régulation de l'humeur. Cela est assuré principalement par les noyaux raphés qui font partie du système sérotoninergique et se situent au niveau du bulbe rachidien, du pont, et du mésencéphale (Pearlstein et al., 2005). Au niveau physiopathologique, une atteinte ou un dysfonctionnement au niveau du tronc cérébral peut se manifester par une altération des fonctions citées ci-dessus. Chez les enfants, ce dysfonctionnement peut être retrouvé dans différents cas notamment dans le cas de malformations (e.g. malformation de Chiari), ou de kystes arachnoïdiens pré-bulbo-médullaire, mais aussi dans certaines pathologies psychiatriques comme la dépression (Bourgeois-Rambur et al., 2019).

- **Le cervelet**

Au niveau anatomique, le cervelet est constitué de deux hémisphères et se situe à la jonction du tronc cérébral et de l'encéphale. On distingue trois régions principales dans le cervelet : 1) l'archécervelet autrement dit le vestibulocerebellum qui est principalement impliqué dans l'équilibre. 2) Le néocervelet ou cerebrocerebellum qui est connecté au cortex et principalement impliqué dans la coordination des mouvements volontaires. 3) le palécervelet ou spinocerebellum comprenant le vermis au niveau du lobe postérieur (phylogénétiquement plus récent), connecté à la moelle épinière et s'implique principalement dans le contrôle du tonus musculaire. Le vermis

joue également un rôle très important dans le contrôle adaptatif de la poursuite oculaire douce et dans les mouvements de saccades. Plus précisément, le vermis dorsal intervient dans la calibration de l'amplitude des saccades et l'initiation de la poursuite (Robert et al., 2014). Une étude plus récente de Hamdioui et al. (2022) a également souligné, à l'aide d'un cas clinique issu d'une approche clinique intégrative, utilisant des examens neuropsychomoteurs, neuropsychologiques, psycho-affectifs, électrophysiologiques (Eye-Tracking), l'hypothèse de l'implication du cervelet dans les capacités oculomotrices et les troubles neurodéveloppementaux tels que la dyspraxie. Ici, il est important de dissocier le contrôle sensori-moteur (vision pour l'action, dont l'oculomotricité est fortement impliquée) du traitement de l'information visuelle (vision pour la perception) bien qu'ils soient en interaction tous les deux (Milner & Goodale, 2008). Ces deux systèmes sont liés à deux voies cérébrales distinctes : la voie ventrale ou occipito-temporale (dite la voie du quoi) et la voie dorsale ou occipito-pariétale (dite la voie d'où) (Milner & Goodale, 2008). La voie dorsale joue un rôle très important dans la localisation, l'exécution et le contrôle du mouvement. Elle entretient une relation importante avec les réseaux oculomoteurs impliquant le lobe pariéto-occipito-frontal, le cervelet, les ganglions de la base, et le tronc cérébral. (Ingster-Moati et al., 2009 ; Robert et al., 2014).

Le cervelet est une structure sous-corticale impliquée non seulement dans les fonctions motrices, mais également dans les fonctions oculomotrices et cognitives. C'est pourquoi des études s'intéressent de plus en plus à cette structure sous-corticale. Par exemple, l'étude longitudinale et transversale russe (Kiseleva et Kiselev, 2021) sur 35 enfants dont 18% de filles, âgés en moyenne de cinq ans (écart-type de 0.45), a tenté d'ouvrir de nouvelles perspectives dans le champ de l'intelligence à travers les fonctions sensorimotrices, où le cervelet joue un rôle primordial. Elle s'est basée sur l'utilisation d'un test de QI (WISC-V) à l'âge de cinq ans et le temps de réaction à l'aide d'un système informatique à l'âge de huit ans. Les auteurs ont montré que le temps de réaction visuo-motrice prédit le niveau de QI non verbal chez les enfants. Cependant ces résultats sont à considérer avec prudence, car utiliser le temps de réaction visuo-motrice comme un test unique pour prédire et/ou comprendre l'intelligence ne serait pas raisonnable, notamment en cas de trouble neurovisuel, neuromusculaire, etc. En revanche, cela serait plus pertinent si l'on s'intéresse à la caractéristique de conduction et aux mécanismes sous-jacents ainsi qu'aux stratégies adoptées par les enfants lors d'une telle tâche pour mieux appréhender le niveau

d'intelligence. Les auteurs soulignent en général la pertinence de la technologie d'Eye-Tracking et l'intérêt d'étudier les régions sous-corticales dans le diagnostic précoce et rapide de l'intelligence des enfants.

Quant aux fonctions cognitives, le cervelet participe au fonctionnement cognitif de haut niveau notamment la mémoire, les capacités d'apprentissage, le langage, la régulation et la gestion émotionnelle, l'expression et le ressenti affectif, ainsi que la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles (Camoreyt, et al., 2017 ; Jaber, 2017). Pour mettre en exergue le rôle majeur du cervelet dans les fonctions cognitives de haut niveau, Jaber (2017) a montré auprès des enfants avec troubles du spectre de l'autisme (TSA) le rôle primordial des cellules Purkinje (qui se déploient dans différentes parties du cervelet), dans la motricité, le langage et les habilités socio-affectives. D'autres études comme celles de Beaulne (2009), Boddaert et al. (2009), Boddaert et al. (2012), Martinot et al. (2002), Zilbovicius et al. (1995), ont montré l'implication du cervelet dans la cognition sociale et la reconnaissance des visages à travers l'étude du trouble du spectre de l'autisme, et il est question d'une unanimité sur des anomalies similaires au niveau du cervelet chez les enfants autistes et ceux ayant une déficience intellectuelle non spécifique.

L'atteinte du cervelet entraîne un ensemble de symptômes qui peuvent s'inscrire dans le cadre d'un syndrome cérébelleux. Les symptômes se manifestent principalement au niveau de la marche et de l'équilibre (ataxie cérébrale), une maladresse dans les mouvements rapides, dysarthrie et des troubles oculomoteurs (Azulay, 2015). On distingue deux formes de symptomatologies : 1) troubles avérés avec principalement une ataxie, un élargissement du polygone de sustentation, une démarche de mise en forme ébrieuse avec les bras écartés du tronc, un tremblement d'action (épreuve doigt-nez), hypermétrie et asynergie des mouvements volontaires (le patient dépasse le but lors de la manœuvre doigt-nez par exemple, absence du décollement des talons lors de la position accroupie). 2) troubles mineurs se manifestant principalement par une contraction incessante des tendons des jambiers antérieurs, un bon équilibre statique mais oscillation du tronc lorsque l'on demande au patient de fermer les yeux, hypotonie, réflexes rotuliens pendulaires, nystagmus, poursuite saccadique, nystagmus optocinétique difficile à mettre en évidence, fixation binoculaire stable mais avec de nombreux micro-saccades et micro-oscillations relevés uniquement à l'enregistrement électrophysiologique (oculométrie) (Adamsbaum & Rey-Salmon, 2016 ; Charollais et al., 2013 ; Denis et al., 2008 ;

Hamdioui et al., 2022 ; Robert et al., 2014 ; Vaivre-Douret, 2007). Il est important de différencier le nystagmus optocinétique qui est un nystagmus physiologique du nystagmus qui relève de l'ordre pathologique. Le premier est un réflexe optocinétique mettant en jeu des circuits oculo-vestibulaires impliquant la proprioception visuelle. Il permet de stabiliser le regard lorsque l'enfant est immobile par rapport à un stimuli en mouvement. Le deuxième se manifeste par une oscillation rythmique involontaire des yeux (mouvement d'aller-retour).

2. Signes neurologiques mineurs

Une spécificité anatomique du cervelet fait également partie des signes neurologiques mineurs (SNM). La CIM-10 mentionne l'existence des troubles moteurs indépendants des lésions neurologiques identifiables en citant les troubles spécifiques du développement moteur. Dans la CIM-11, aucune référence aux SNM n'est existante. En 1971, Wender a utilisé le terme de « *syndrome de dysfonction cérébrale à minima* » (*Minimal Brain Dysfunction : MBD*), en faisant la distinction entre symptomatologie neurologique mineure et sévère, pour décrire un large panel de trouble chez l'enfant, dont le trouble du comportement moteur. Aussi, hyperactivité psychomotrice, impulsivité, trouble de la coordination, troubles perceptifs, trouble de l'attention, des difficultés de l'apprentissage ou encore troubles affectifs (Wender, 1971). Les signes neurologiques mineurs ne sont pas pathognomiques d'une atteinte focalisée du système nerveux, ils sont non focaux en foyer, intrinsèques et légers. Ils sont ainsi difficiles à localiser et à identifier exigeant une formation spécifique des praticiens. Au niveau clinique, nous citons les catégorisations faisant consensus entre les auteurs dans la littérature scientifique (Servant et al., 2018 ; Vaivre-Douret, 2006) : Traitement des informations spatiales comprenant l'orientation dans l'espace extérieur et dans l'espace corporel (localisation des points simultanément stimulés sur la peau, perception des formes ou stéréognosies), anomalie au niveau du tonus et plus précisément l'hypertonie pyramidale (stretch) comme le précise Vaivre-Douret (2006), augmentation ou réduction des réflexes rotuliens, déficit d'intégration sensorielle, syncinésies. Il est cependant primordial de dissocier les SNM chez l'adulte de leur sémiologie chez l'enfant qui est en cours de développement. Au niveau anatomique, aucune étude à notre connaissance n'a été effectuée chez l'enfant avec l'imageries

par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), mais une étude chez l'adulte (26 patients schizophrènes et 26 patients avec TSA, âgés entre 18 et 35 ans, avec un QI moyen) a montré que les SNM peuvent être associés à une atrophie du gyrus frontal inférieur, du putamen bilatéral, du cervelet, et du gyrus temporal supérieur (Hirjak, 2014a et b, 2015), soulignant aussi la structure ponto-thalamique-préfrontal.

La méta-analyse de Hamdioui et Lotfi (2016) a également souligné l'implication de la structure ponto-thalamique-préfrontal et du cervelet dans la manifestation des SNM dans certaines pathologies psychiatriques chez l'adulte comme la schizophrénie, mais elle s'est intéressée à l'approche développementale des SNM. Hamdioui et Lotfi (2016) ont ainsi détaillé l'unique étude qui s'inscrit dans cette approche (Biswas et al., 2007) sur 15 enfants avec début de schizophrénie dans l'enfance, 20 adolescents et adultes schizophrènes, qui ont tous passé un examen clinique neuropsychiatrique des SNM à l'aide de l'échelle de Cox et Ludwig (1979) avec un étalonnage neurodéveloppemental, sur une population typique et psychopathologique, et un test de QI (WAIS et WISC). Les résultats ont montré que les types d'apparition précoce de pathologie psychiatrique sont significativement et fortement associés à une perturbation générale de la fonction cérébrale et plus particulièrement de la structure ponto-thalamique-préfrontale. La non-disparition des réflexes primitifs notamment le réflexe de succion et le réflexe glabellaire (un mouvement automatique involontaire qui consiste à fermer les yeux lorsque l'on tapote avec un doigt sur la glabella- figure 24) et des syncinésies avec la maturation neurologique chez les enfants, indiquerait un neurodéveloppement disharmonieux. Ces auteurs précisent que les anomalies neurodéveloppementales conduisant au SNM entraînent également un QI inférieur et un niveau d'éducation inférieur (Biswas et al., 2007).

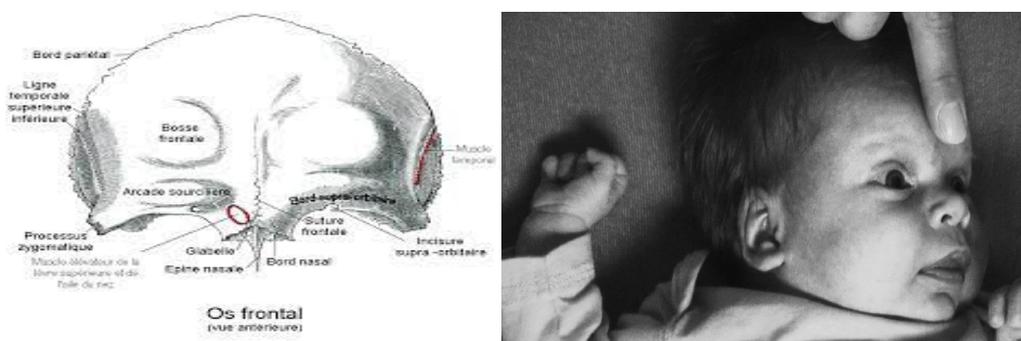


Figure 24: Anatomie du crâne mettant en évidence la glabella impliquée dans le réflexe primitif glabellaire
<https://slidetodoc.com/le-squelette-axial-prsent-par-dr-makhlouf-alla/> -
<https://www.slideshare.net/AMRITAAS/newborn-assessment-72328207>

D'autres études issues de la recherche clinique appliquée évoquent l'implication des structures cérébelleuses, des ganglions de la base et de la structure ponto-thalamique-préfrontale dans le TSA chez l'enfant (Zilbovicius et al., 1995 ; Martinot et al., 2002 ; Boddaert et al., 2012 ; Paquet et al., 2015 ; Paquet, Olliac, Bouvard, et al., 2016 ; Paquet, Olliac, Golse, et al., 2016). Par exemple, Paquet et al. (2016) ont mené une étude transversale sur trente-quatre enfants avec TSA, avec ou sans déficit intellectuel, recrutés dans un service de pédopsychiatrie, qui ont tous passé des évaluations initiales pour le diagnostic (psychiatrique ; psychologique ; psychomotrice) et la batterie d'évaluation neurodéveloppementale des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT). Les résultats ont montré la présence significative des SNM dans le TSA, les auteurs suggèrent ainsi l'existence d'anomalies au niveau des structures sous-corticales notamment au niveau du cervelet et des ganglions de la base, et de la voie cortico-spinale ventrale, ou des voies descendantes médianes en lien avec le tronc cérébral, du corps calleux, du cortex occipital-pariétal, et temporo-frontal (Paquet et al., 2015 ; Paquet, Olliac, Bouvard, et al., 2016 ; Paquet, Olliac, Golse, et al., 2016). Les signes neurologiques mineurs (syncinésies, diadococinésies) sont également impliqués dans le TDC, avec des déficits spécifiques de la coordination motrice des membres supérieurs-inférieurs, trouble de dextérité manuelle, et certaines comorbidités (troubles des fonctions exécutives, déficits de mémoire auditive et difficultés d'attention auditive) (Vaivre-Douret et al., 2016). Nous détaillerons la méthodologie de cette étude dans le chapitre « troubles neurodéveloppementaux dans le HP ».

Nous retenons que la structure ponto-thalamique-préfrontale et le cervelet sont impliqués dans la manifestation des SNM et qu'il existe des liens significatifs avec la maturation neurologique harmonieuse et le niveau d'intelligence. De plus, Chan et al. (2010, 2011) rapporte que l'atrophie de la région cérébrale corticale et sous corticale impliquée dans la pathogénie des SNM est également impliquée dans l'altération des fonctions cognitives. Si l'on suit le modèle des recherches basées sur l'étude des mécanismes pathologiques tentant de comprendre le fonctionnement physiologique, il apparaît pertinent de prendre en compte les signes neurologiques mineurs dans une perspective développementale (telle qu'avec la batterie NP-MOT normée, détaillée plus loin), de façon à savoir à quel moment ils sont quantitativement et qualitativement absents afin de faire un lien avec le développement cognitif et psychologique.

3. Caractéristiques du développement neuro-posturo-locomoteur chez l'enfant à Haut Potentiel par rapport aux échelles du développement

3.1. Outils d'évaluation neuropsychomotrice auprès d'enfants et intérêt d'une telle évaluation

S'il existe différents tests d'évaluation de la motricité surtout à l'âge scolaire, ils ne renseignent pas tous sur la maturation neurologique sous-jacente aux performances motrices. En effet, la majorité de ces évaluations se sont basées sur le test russe d'Bruininks-Oseretsky destiné aux individus âgés de 4 à 21 ans (BOTMP ; Bruininks & Bruininks, 2005) (coordination statique, dynamique, et manuelle, vitesse motrice, mouvements volontaires, et syncinésies). Parmi ces batteries de tests habituellement utilisés en France on peut citer : la batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant (M-ABC 2 : Henderson et al., 2007), l'échelle de développement psychomoteur de la première enfance (Brunet-Lézine, 1965), l'échelle de coordinations motrices de Charlop-Atwell (Albaret et Noack, 1994). Cependant, si ces batteries sont des tests de dépistage global permettant d'obtenir une note globale et des sous-scores de performances motrices en fonction de l'âge, ils ne permettent pas d'obtenir des informations neurodéveloppementales fines renseignant sur les processus de maturation neurodéveloppementale qui sous-tendent les performances motrices.

A l'inverse, l'évaluation du développement fonctionnel moteur (DF-MOT) (Vaivre-Douret, 1999a) pour le jeune enfant âgé de 0-4 ans et l'évaluation neurodéveloppementale des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT : Vaivre-Douret, 2006) applicable aux enfants à partir de 4 ans, avec sa version digitalisée permettant de générer le profil du bilan numérique à l'aide d'une application « Neuralix Editions-Web en médecine et neurosciences® » (Vaivre-Douret, 2021a), sont des batteries neurodéveloppementales standardisées et normées sur les aspects qualitatifs et quantitatifs de la motricité qui respectent l'évolution physiologique. Nous nous détaillerons ici que la NP-MOT, puisque notre étude s'intéresse aux enfants d'âge scolaire. Neufs domaines indépendants sont explorés prenant en compte la composante qualitative et quantitative du geste sous forme d'étalonnages (moyennes et écart-types, Z scores et notes standardisées) (tonus, motricité globale, praxies

manuelles,gnosies, latéralité, habiletés oculo-manuelle, intégration corporelle de l'orientation spatiale, rythme, attention auditive soutenue et sélective). Les épreuves de la batterie sont essentiellement issues des travaux précurseurs de la neurologie française notamment les méthodes d'examen du tonus présentés ci-dessus (Bergès & Lézine, 1965 ; Guilmain & Guilmain, 1971 ; Thomas & Ajuriaguerra, 1949).

Il permet également de repérer les troubles fonctionnels à valeur symptomatique, de déceler des troubles neurologiques mineurs avant qu'ils ne retentissent sur des fonctions de l'apprentissage et qu'ils ne s'y surajoutent des troubles comportementaux/ psychologiques liés aux difficultés d'adaptation de l'enfant. La batterie NP-MOT apparaît d'ailleurs comme un outil incontournable complétant l'évaluation du QI de Wechsler (Vaivre-Douret, 2020). De par ses épreuves, la NP-MOT permet d'examiner de manière très fine le tonus afin de déterminer la typologie du sujet (typique, tonique, ou hypotonique), d'identifier le côté dominant grâce à l'examen de la résistance et de l'extensibilité, de déceler des troubles neuromusculaires ou neurologiques qu'ils soient avérés ou mineurs, et de les différencier des réactions tonico-émotionnelles, d'apprécier l'intégration des voies neuromotrices extra-pyramidales, le développement des voies neuromotrices pyramidales et cérébelleuses dans leur fonctionnement statique et dynamique (Vaivre-Douret, 2007). De plus, il est le seul outil neurodéveloppemental normé qui permet de suivre l'évolution physiologique et d'apprécier le niveau d'un retard de maturation du système nerveux central ou le niveau de précocité développementale comme dans le cas du HP (Vaivre-Douret, 2004) dont les caractéristiques développementales au niveau moteurs sont spécifiques.

L'identification des enfants HP a conduit à divers champs de recherche sur l'intelligence supérieure. Cependant peu d'études ont été menées sur les relations avec le développement neuropsychomoteur, alors que les études basées sur la compréhension du fonctionnement cognitif sont plus nombreuses. Auparavant, la motricité globale et fine n'avait que peu ou pas d'intérêt pour la recherche sur le Haut Potentiel. Récemment, il existe de plus en plus des nouvelles lignes de pensée qui sont avancées soulignant que la motricité peut être un marqueur très pertinent dans l'identification du Haut Potentiel (Escera, 2017 ; Kiseleva & Kiselev, 2021 ; Navas-Sánchez et al., 2014 ; Peyre et al., 2017 ; Vaivre-Douret, 1997, 2004, 2011, 2020 ; Ziegler et Stoeger, 2010). Les travaux longitudinaux de Vaivre-Douret (1997) sur la

continuité foëto-néonatale ont mis en lumière un modèle « *interne de la perception* » basé sur les bases neurophysiologiques des systèmes sensoriels et moteurs. Il s'agit d'un modèle d'un modèle basé sur « *l'expérience propre de chaque fonction du système nerveux instaurant progressivement la corticalisation de chaque système sensoriel et moteur, et, à partir d'une carte corticale en jeu, mettant en corrélation la commande motrice et l'effet sensoriel qui en résulte* » (Vaivre-Douret, 1997). Ce modèle souligne la hiérarchisation de l'organisation cérébrale qui s'effectue progressivement et de façon hétérogène en fonction des apprentissages et de l'entraînement de chaque fonction. Dès les premiers mois d'ontogénèse, la vitesse de maturation du système nerveux et neuromusculaire est propre à chaque individu. Il existe une interaction entre le milieu biologique-génétique et environnemental se poursuit en extra-utérin et qui va moduler l'évolution de la maturation motrice en fonction de l'expérience propre à chacun (milieu socio-économique, niveau éducatif et motivationnel de l'entourage) (Vaivre-Douret, 2004). Ce modèle rend compte du rôle important que joue la neuroplasticité et l'environnement dans la singularité du développement cérébral de chacun.

Nous avons vu précédemment que les différences individuelles d'intelligence sont principalement associées à l'organisation structurale du cerveau, et en particulier les scores plus élevés aux tests d'intelligence sont liés à une plus grande efficacité globale du réseau cérébral (Li et al., 2009). Il est également montré une spécificité de la maturation neurologique chez les enfants HP étant caractérisée par une rapidité ainsi qu'une efficacité plus élevée des réseaux neuronaux (Li et al., 2009 ; Navas-Sánchez et al., 2014). Ceci souligne un transfert d'informations cognitives et motrices plus efficace dans le cerveau grâce à une grande activité synaptique et une myéline plus épaisse (Geake, 2008 ; Navas-Sánchez et al., 2014 ; Thompson & Oehlert, 2010). En effet, l'étude comparative espagnole de Navas-Sánchez et al. (2014) a porté sur un échantillon de treize enfants HP, recrutés dans le cadre d'un programme national des enfants HP (WISC-R ; $QI \geq 130$; $ICV_M = 125$; $IRP_M = 128$) et vingt-trois enfants non-HP recrutés à l'école ordinaire (WISC-R ; $QI \geq 105$; $ICV_M = 106$; $IRP_M = 99$). Tous les enfants étaient âgés entre onze et quatorze ans. Des enregistrements d'imageries par résonances magnétiques fonctionnelles (IRMf) ont été effectuées auprès de tous les enfants et analysées au regard des QI au sein des deux groupes. Les résultats ont montré que le QI était significativement et positivement corrélé avec une connectivité importante au niveau du corpus callosum soulignant l'idée qu'un transfert d'information

efficace entre les hémisphères. De plus, les enfants HP notamment avec des capacités très élevées en mathématiques ont montré une connectivité significativement élevée au niveau des voies de la substance blanche reliant les lobes frontaux aux ganglions de la base et aux régions pariétales, le foriceps occipital et splenium (partie postérieure du corps calleux), ces régions sous-tendant particulièrement le contrôle de la motricité, le raisonnement fluide, la mémoire de travail visuo-spatiale, les capacités de planification visuo-spatio-constructives et pensée divergente selon Navas-Sánchez et al. (2014). Cette étude confirme que les enfants HP disposent d'un cerveau particulièrement plus efficace avec une grande activité synaptique notamment au niveau du corps calleux, des ganglions de la base, des régions frontales et pariétales (Navas-Sánchez et al. 2014). De façon congruente, Vaivre-Douret (2004) a évoqué qu'un plus grand champ de potentialités chez les enfants HP fait référence à une architecture cérébrale fonctionnelle spécifique. Des études rétrospectives (Vaivre-Douret, 2002, 2004), longitudinales sur dix-huit ans, basées sur les données du développement psychomoteur recueillies à la période néonatale et durant la petite enfance des enfants HP ne présentant aucun problème de santé, a apporté un nouvel éclairage dans ce domaine. L'auteur a rapporté l'idée d'une maturation neurologique précoce spécifique des enfants HP dans le domaine sensorimoteur et neuromoteur engendrant une émergence précoce des capacités de coordination posturo-locomotrices et visuo-manuelle au même titre que les processus cognitifs très développés chez ces enfants (Vaivre-Douret, 2004). Toutefois, si cette maturation se poursuit durant le développement des enfants HP, ce dernier n'est pas indemne de présenter des troubles du développement dans certains secteurs (Vaivre-Douret, 2002).

Un autre exemple qui conduit à la même conclusion, une des plus anciennes études (Kincaid, 1969) sur un grand échantillon d'enfants HP recrutés dans des écoles au sein des programmes de jeunes talents ($n=561$; 62% de garçons ; $QI \geq 150$ au test Standfort-Binet), âgés de trois ou quatre ans à onze ou douze ans, avait également montré un développement moteur précoce, notamment au niveau de la marche autonome (12 mois), avec 2 écart-type au-dessus en moyenne, par rapport aux enfants non-HP. Plus récemment, Bildiren (2018) a aussi confirmé, avec une étude rétrospective et qualitative utilisant des questionnaires chez cent douze enfants HP (WISC-R ; $QIT_M = 137$), une avance de la marche et de la parole chez les enfants HP. Des résultats similaires ont été retrouvés dans l'étude prospective française de Peyre

et al. (2017) qui a été menée sur un échantillon de mille cent enfants, avec un âge moyen de cinq à six ans (1058 non-HP, 19 enfants avec déficience intellectuelle, et 23 enfants HP : $QI > 130$), tous les enfants ont été évalués à l'aide de l'échelle de Wechsler (WPPSI-III) et le questionnaire de développement (Brunet & Lézine, 2001). Les enfants ont été recrutés dans une cohorte nationale de recherche dans un service d'examens obstétriques et de gynécologiques. Les résultats ont montré que l'acquisition précoce de la motricité globale et fine à l'âge de huit et douze mois, telle qu'elle est évaluée par le Brunet-Lézine, prédisaient significativement le niveau de QI élevé chez les enfants HP. Le domaine du langage notamment l'expression des premières phrases et la socialisation prédisaient également significativement un niveau de QI élevé et ce chez tous les enfants de façon plus forte que les autres domaines, à partir de douze mois. Dans leur étude longitudinale sur dix-neuf enfants HP suivi sur plus de dix-huit ans, Winisdorffer et Vaivre-Douret (2012) ont souligné un développement précoce des capacités posturales, locomotrices, cognitives, et linguistiques chez les enfants HP. Ces études confirment la synchronicité entre développement intellectuel et neuropsychomoteur à un âge précoce retrouvé par d'autres auteurs (Stoeger et al., 2008 ; Vaivre-Douret, 2011a ; Sweetland et al., 2006 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2021). À contrario, l'étude de Louis et al. (2005) ne retrouve pas cette avance développementale chez les enfants HP. Toutefois, l'échantillon de cette étude, représentant les enfants HP inclut des participants recrutés dans des consultations psychologiques et pédopsychiatriques en libéral, ce qui biaise évidemment les résultats, qui ne peuvent pas être généralisés sur tous les enfants HP tout-venant non consultants. De plus, cette avance développementale concerne aussi les enfants HP nés prématurés comparés aux enfants HP nés à terme, ce qui a été montré dans une étude française rétrospective basée sur une cohorte nationale de sept cent vingt-cinq enfants HP (Vaivre-Douret et al., 2010). Cela a été confirmé par une autre étude belge (Loureiro et al., 2010). Par ailleurs, les études Vaivre-Douret et al. (2010) se sont particulièrement intéressées aux données anthropométriques néonatales rétrospectives chez les enfants HP prématurés. Les auteurs ont confirmé une avance du développement moteur chez l'enfant né prématuré, marquée par une hypertrophie néonatale de toutes les mesures anthropométriques (poids, taille, et périmètre crânien : Percentile 90) comparées aux nouveau-nés à terme alors qu'il est courant que les enfants prématurés soient hypotrophiques (Lauria, 2015).

Stoeger et Ziegler (2012) attestent que le domaine moteur occupe peu de place dans les recherches sur le HP au niveau international et particulièrement en Europe, alors que les résultats des études issues principalement de neurosciences montrent l'intérêt d'investiguer le domaine moteur chez cette population. Une étude transversale menée en Allemagne (Ziegler et Stoeger, 2010), auprès de sept cent quatre-vingt-sept élèves de quatrième année dont quatre-vingt-quinze HP (QI > 90^{ème} Percentile à l'échelle allemande : *Prüfsystem für Schul- und Bildungsberatung* cité par Ziegler & Stoeger, 2010), recrutés dans des écoles publiques, s'est particulièrement intéressée au lien entre motricité fine et niveau d'intelligence. La motricité fine a été évaluée par des questions d'anamnèse (dessiner, colorer, tenir un crayon, utiliser ses couverts pour manger, utiliser des ciseaux, tourner les pages d'un livre, assembler des légos ou des puzzles). Les enfants ont été invités à reproduire des lettres grecques le plus précisément possible. Cette mesure est couramment appliquée en recherche sur l'évaluation de l'intégration visuomotrice selon Ziegler et Stoeger (2010). Les résultats ont montré que la motricité fine détermine une valeur significativement prédictive pour le niveau intellectuel et aussi pour les capacités de réussite en mathématiques. Les auteurs ont conclu sur l'importance de la prise en compte de la motricité dans les recherches sur le HP et dans les réflexions cliniques autour du Haut Potentiel. De plus, la motricité a un rôle important influençant les résultats aux tests de QI et donc sur l'identification du HP selon Ziegler et Stoeger (2010). Les études de Vaivre-Douret (Vaivre-Douret, 2004, 2011a) sont les seules dans la littérature détaillant en moyenne et écart-type les stades de développement des enfants HP comparés à des enfants non-HP, contrairement aux normes de l'échelle Brunet-Lézine (2001) ne renseignant pas sur l'écart-type mais sur un pourcentage de niveau d'acquisition à un âge donné. Ces études (Vaivre-Douret, 2004, 2011a) ont montré que les enfants HP acquièrent significativement et précocement les stades du développement moteur avec deux mois d'avance globalement (Tableau. 4). Cette comparaison est basée sur les normes du développement fonctionnel moteur (DF-MOT) (Vaivre-Douret, 1999a), permettant l'évaluation du développement posturo-moteur et locomoteur et de la préhension-coordination visuo-manuelle du jeune enfant de la naissance à quatre ans (NP-MOT à partir de 4 ans). Au niveau de la latéralité, Vaivre-Douret (2004, 2011a) a montré une acquisition également précoce avec une mise en place entre l'âge de trente et quarante-six mois en moyenne. L'auteur a précisé qu'il existe une prédominance tonique et fonctionnelle en faveur du membre supérieur droit avec une intégration

précoce de l'orientation spatiale par rapport à l'axe corporel et de la droite et la gauche sur soi. Cependant, qu'en est-il dans la littérature du lien avec le profil intellectuel de chacun ? Les enfants HP avec un profil de QI homogène disposent-ils des mêmes caractéristiques développementales que les enfants HP avec un QI hétérogène ?

Tableau 4: Comparaison entre les items du développement moteur des enfants HP (suivis en longitudinal : n = 60) et les normes développementales françaises sur les deux premières années de vie (Vaivre-Douret, 2004).

Stade de développement neuropsychomoteur	Age moyen de l'échantillon HP* (n=60) (mois, semaines)	Normes du DF-MOT (Vaivre-Douret, 1999a) pour les enfants typiques (mois, semaines, jours)	Normes du Brunet-Lézine (2001) (mois)
Tient sa tête dans l'axe	1 mois ± 1 semaine	2 mois 4 jours ± 1 mois 1 jour	3 mois
Préhension volontaire	3 mois ± 1 semaine	4 mois 10 jours ± 1 mois 2 jours	8 mois
Retournements	4 mois ± 4 semaines	6 mois 10 jours ± 1 mois 9 jours	8 mois
Station assise sans appui	6 mois ± 3 semaines	8 mois 6 jours ± 1 mois 2 jours	10 mois
Se met assis seul	7 mois ± 3 semaines	8 mois 24 jours ± 1 mois 6 jours	10 mois
Se hisse debout avec appui	8 mois ± 4 semaines	10 mois 18 jours ± 1 mois 18 jours	10 mois
Quatre pattes	8 mois ± 3 semaines	10 mois 12 jours ± 1 mois 3 jours	9 mois
Saisit la perle entre pouce et index	8 mois ± 2 semaines	9 mois 10 jours ± 1 mois 6 jours	9 mois
Marche autonome	12 mois ± 4 semaines	14 mois 20 jours ± 2 mois 6 jours	14 mois
Commence à manger seul à la cuillère	12 mois ± 2 semaines	18 mois 14 jours ± 1 mois 2 jours	17 mois
Monte les escaliers avec aide sans changer de pied	15 mois ± 2 semaines	17 mois 4 jours ± 1 mois 10 jours	-
Descendre les escaliers avec aide sans changer de pied	16 mois ± 3 semaines	19 mois 1 jours ± 1 mois 2 jours	-
Tour d'au moins 8 cubes	23 mois ± 4 semaines	29 mois 1 jours ± 1 mois 2 jours	30 mois
Monte seul sans rapport en changeant de pied	24 mois ± 1 semaines	34 mois 1 jours ± 2 mois 1 jour	-
Met ses chaussons seul	24 mois ± 3 semaines	30 mois 8 jours ± 1 mois 5 jours	30 mois
Fait du tricycle ou du vélo (avec stabilisateurs)	24 mois ± 3 semaines	36 mois 3 jours ± 1 mois 1 jour	-

DF-MOT : Développement fonctionnel moteur (DF-MOT) (Vaivre-Douret, 1999a) ; * Items significatifs (p < 0,01 comparé aux normes Dev-Mot) ; - : absence de données

3.2. Lien entre le développement moteur et le profil du Quotient Intellectuel (homogène/hétérogène)

Concernant le profil de QI, très peu d'auteurs se sont intéressés à prendre en compte la disparité des scores des subtests. Vaivre-Douret (2004) a précisé dans son étude longitudinale rétrospective évoquée ci-dessus, que cette avance développementale concernait les enfants HP tout-venant (n=60) ne présentant pas une différence significative de plus de douze points entre le QI de Performance et Verbal au WISC-III, étant considéré, à l'époque, comme le seuil significatif d'hétérogénéité du profil psychométrique (Wechsler, 1991). De plus, cette étude est l'une des rares recherches longitudinales qui apportent beaucoup d'informations précises sur les étapes du développement moteur chez les enfants HP. Il est retrouvé un contrôle postural néonatal précoce chez ces enfants suggérant, selon Vaivre-Douret (2004), une avance de la maturité neuromotrice de la voie cortico-spinale (pyramidale). Cela serait corroboré par une très bonne synergie entre les muscles fléchisseurs et extenseurs qui sous-tendent le tonus axial, reflétant un très bon équilibre. Il apparaît une coordination précoce à travers une réponse active lors des sollicitations (tenue de la tête, retournement, etc.), disparition précoce du réflexe de Babinski (12 mois vs 18 mois chez les non-HP), disparition du réflexe de Moro et de la marche automatique (1 mois vs 3-4 mois chez les typiques) (Vaivre-Douret, 2004). Nous pouvons supposer un lien avec cette disparition de la marche automatique et l'acquisition précoce de la marche démontrée par l'ensemble de ces études citées ci-dessus.

Des résultats similaires ont été mis en exergue par une étude française, transversale et rétrospective (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2022). Les données ont été recueillies dans un échantillon de soixante-seize enfants en bonne santé (58 enfants HP et 18 enfants non-HP), âgé de six à treize ans, recrutés dans des écoles (avec classes spéciales HP sans aide particulière et sans troubles avérés) et dans le grand public. Les auteurs se sont appuyés sur l'échelle de WISC-V, un questionnaire d'anamnèse, les données du carnet de santé, et des vidéos illustrant le développement des enfants. Les comparaisons des deux groupes appariés (nombre d'enfants, sexe et âge chronologique) ont montré une avance développementale significative, de deux mois environ, au niveau du langage (expression des premières phrases à 18 mois en

moyenne) et de la motricité (station assise sans appui à 7 mois en moyenne et marche autonome à 12 mois en moyenne). De plus, les auteurs ont précisé une différence significative entre les profils homogènes et hétérogènes de QI et cette avance, avec un taux de développement moteur précoce plus élevé dans le profil homogène et un taux de développement langagier précoce plus élevé dans le profil hétérogène. Par ailleurs, l'âge précoce du babillage (4 mois en moyenne) était en faveur du profil homogène, alors que l'âge précoce de l'expression des premières phrases (18 mois) s'avérait en faveur des enfants HP avec un profil de QI hétérogène. Rappelons que le babillage fait appel aux capacités bucco-praxiques alors que l'expression des premières phrases est liée aux capacités cognitives linguistiques. Les auteurs ont approfondi leur analyse et ont montré que la distribution des indices était cohérente avec ce résultat, car l'ICV était plus élevé dans le profil hétérogène, tandis que l'IVS, l'IRF, l'IMT et l'IVT étaient plus élevés dans le profil homogène. Toutefois, si l'hypothèse de caractéristiques neurobiologiques souligne une maturation cérébrale précoce permettant un développement neuropsychomoteur et intellectuel précoce, des facteurs environnementaux et génétiques, un contexte favorable à l'école et au sein de la famille, l'expérience individuelle et les ressources motivationnelles, ainsi que les facteurs éducatifs auraient une influence positive sur l'expression de cette avance développementale et inversement (Feinstein, 2003 ; Loureiro et al., 2010 ; Schick & Phillipson, 2009 ; Thomas, 2018 ; Vaivre-Douret et al., 2010).

D'autres auteurs ont tenté d'étudier le développement moteur chez l'enfant HP, cela reste cependant très descriptif (Stoeger & Ziegler, 2012 ; Rinn et al., 2010). Les outils neurodéveloppementaux pour l'évaluation neuropsychomotrice standardisée, normée, restant peu nombreux au niveau international, sont alors moins utilisés que les outils d'évaluation cognitive plus facilement disponibles. Au niveau de la motricité oculaire, il a été observé de manière rétrospective chez les enfants HP, avec un profil de QI homogène, une poursuite oculaire performante sur quatre-vingt-dix degrés de chaque côté dès la naissance, suivie d'une avance du développement de la capacité du maintien de la tête dans l'axe (Vaivre-Douret, 2004). L'ensemble de tous les éléments présentés plus haut, évoquant un développement neuropsychomoteur précoce, pourrait suggérer l'existence des marqueurs d'une avance de la maturation céphalo-caudale et proximo-distale impliquant des corrélations possibles avec le développement cognitif et langagier (Kiseleva et Kiselev, 2021 ; Escera, 2017). Dans ce sens, bien qu'elle ne soit pas intéressée à l'analyse des résultats au regard du profil

intellectuel (homogène/ hétérogène), l'étude russe de Kiseleva et Kiselev (2021), qui est une étude longitudinale et transversale, s'est basée sur le dispositif d'Eye-Tracking pour étudier le lien entre l'intelligence et le comportement oculaire des enfants. En effet, cette technique non-invasive, appelée en français l'oculométrie, permet l'étude du comportement oculaire à travers la poursuite, les saccades ou encore la fixation d'une cible visuelle. Elle permet de déclencher un processus intellectuel de traitement de l'information. L'utilisation de cette technique nous permet non seulement d'analyser le gain de la poursuite qui se définit comme l'exactitude, plutôt que la précision, mais également la durée, le nombre de séquences saccadiques, la vitesse et la précision du mouvement oculaire. Il s'agit de l'oculométrie, technique électrophysiologique non-invasive, qui vise à capter et à décoder le parcours fovéal à l'aide des électrodes. Ces derniers sont placés sur la peau au niveau de la glabelle permettant de poser des caméras infra-rouges devant les deux yeux. Les caméras traduisent ainsi le mouvement oculaire en signal, qui est lui-même analysé par un algorithme mathématique (que nous détaillerons dans la partie méthodologie). Cette approche analytique peut aider à la détection des déficits mineurs des mouvements oculaires reflétant des anomalies neurologiques, mais peut être également utilisée pour déterminer des biomarqueurs d'un fonctionnement cognitif et moteur spécifique, sans anomalie (McIlreavy et al., 2019).

Kiseleva et Kiselev (2021) se sont alors appuyés sur un échantillon de trente-cinq enfants (18% filles), âgés de cinq ans en moyenne, recrutés dans des écoles. Les auteurs ont utilisé le test de QI (WISC-V) à l'âge de cinq ans et le temps de réaction à l'aide de l'Eye-Tracking à l'âge de huit ans. Les résultats ont montré que le temps de réaction visuo-motrice prédit significativement le niveau de QI non verbal chez les enfants. Cependant, ces résultats sont à considérer avec prudence car utiliser le temps de réaction visuo-motrice comme une caractéristique unique pour prédire et/ou comprendre l'intelligence ne serait pas très pertinent notamment en cas de trouble neurovisuel, neuromusculaire, etc. En revanche, il serait plus pertinent de s'intéresser à la caractéristique de conduction et aux mécanismes sous-jacents ainsi qu'aux stratégies adoptées par les enfants lors d'une telle tâche pour mieux appréhender le niveau d'intelligence et le fonctionnement cognitif. Dans la revue de littérature que nous avons analysée, aucune étude à notre connaissance n'a étudié le développement de la poursuite oculaire douce chez les enfants HP. Cependant, il existe des normes développementales de la population générale d'enfants non-HP, ce

qui pourrait permettre de mener une étude comparative pouvant apporter des données pertinentes pour aider à mieux comprendre la maturation neurologique sous-jacente à la maturation motrice et cognitive des enfants HP. En effet, l'étude française de Ingster-Moati et al. (2009) est l'une des rares à avoir mis en place des normes développementales des mouvements oculaires permettant une comparaison des patterns du développement. Les auteurs ont étudié la poursuite oculaire chez soixante-cinq enfants tout-venant âgés de sept à onze ans, recrutés dans des écoles élémentaires, à l'aide d'un enregistrement électrophysiologique (Eye-Tracker). Les résultats ont montré une maturation de la poursuite oculaire lisse horizontale vers l'âge de sept ans, alors que la poursuite verticale est acquise plus tardivement, à l'âge de onze ans. Ainsi, si le lobe pariétal postérieur et le lobe temporal supérieur sont impliqués dans la poursuite lisse en général (Ross et al., 1993), les régions cérébrales (le tronc cérébral et le cervelet) impliquées dans le contrôle de la poursuite oculaire lisse verticale sont matures plus tardivement que celles impliquées dans la poursuite lisse horizontale (Ingster-Moati et al., 2009).

Résumé du Chapitre 5 : Caractéristiques neuromotrices du Haut Potentiel :

Alors que les études s'intéressant aux caractéristiques cognitives et psychologiques des enfants HP, celle s'intéressant aux caractéristiques motrices sont très peu nombreuses. Il en résulte deux grands résultats divergents. Le premier montrant un développement moteur précoce en harmonie avec le développement cognitif. Ce résultat s'inscrit dans le cadre des études neurologiques affirmant une connectivité significativement élevée chez les enfants HP, au niveau des voies de la substance blanche reliant les lobes frontaux aux ganglions de la base et aux régions pariétales, le forceps occipital et splenium (partie postérieure du corps calleux). Ces régions qui sous-tendent particulièrement le contrôle de la motricité, la mémoire de travail visuo-spatiale, et les capacités de planification visuo-spatio-constructives. Le second ne montrant aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP au niveau moteur créant ainsi une dyssynchronie de développement cognitif/psychomoteur.

Ces contradictions sont principalement liées aux biais méthodologiques déjà expliqués (échantillon pris dans des consultations, utilisation des méthodologies d'évaluation différentes, non consensus par rapport à la définition du HP). Aucune étude à notre connaissance n'a examiné de façon standardisée et normée la maturation neurodéveloppementale des fonctions motrices chez les enfants HP. Pourtant, cette évaluation pourrait renseigner selon différents auteurs sur les bases cérébrales impliquées et sur les phénotypes physiques intrinsèques au HP. Au même titre que le développement cognitif, la typologie de profil de QI (homogène/hétérogène) s'avère jouer un rôle très important dans l'évaluation et l'analyse du développement moteur chez l'enfant HP.

Chapitre 6 : Haut Potentiel et troubles

1. Troubles neurodéveloppementaux chez l'enfant HP

1.1. Troubles spécifiques des apprentissages chez l'enfant HP

Bien que le QI et les différentes caractéristiques présentées ci-dessus aident à repérer le Haut Potentiel, les différences interindividuelles peuvent en compliquer l'identification, les difficultés de repérage peuvent être majorées par la présence de troubles associés (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020 ; Loureiro et al., 2009, 2010, 2013 ; Tordjman et al., 2018 ; Tordjman & Kermarrec, 2019 ; Tursz & Vaivre-Douret, 1999 ; Vaivre-Douret, 1999b, 2002, 2020 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020). Liratni (2018) affirme que le Haut Potentiel peut s'associer à des troubles, mais qu'aucune étude avec des données robustes ne certifie qu'il constitue un facteur de risque. A contrario, Wood et Laycraft (2020), dans leur revue de littérature, précisent que les enfants HP sont, bien au contraire, plus vulnérables et présenteraient un facteur de risque « *de par leur hypersensibilité* ». D'ailleurs, une revue de littérature (Lovett & Sparks, 2013) a analysé quarante-six articles sur les troubles des apprentissages chez l'enfant HP, avec une attention particulière sur l'impact de ces troubles sur les indices du QI et par conséquent sur le QIT qui peut baisser. Ces auteurs ont montré que dans la littérature scientifique, le QI moyen utilisé lorsque l'on parle d'enfant HP avec trouble n'est plus à 130 mais plutôt entre 120 et 130 avec une hétérogénéité importante entre les indices, ce qui pourrait poser problème quant à l'identification du HP (Lovett & Sparks, 2013), comme nous l'avons déjà évoqué le long de ce travail. D'autres études récentes (De Lassalle et al., 2021 ; Hamdioui et al., 2022 ; Hamdioui et Vaivre-Douret, 2020 ; Yaman & Sökmez, 2020) ont également évoqué le QI entre 120 et 130 lorsqu'il s'agit d'enfants HP avec troubles pouvant impacter les indices du QI et donc baisser le QIT, avec une hétérogénéité très importante entre les indices.

Hamdioui et al. (2022), Hamdioui et Vaivre-Douret (2020, 2021), Vaivre-Douret (2020), Vaivre-Douret et al. (2020) ont également montré dans ses différentes études transversales, descriptives ou encore longitudinales que les enfants HP peuvent présenter des troubles tout comme les enfants non-HP. De plus, Vaivre-Douret a montré de par ses différentes études que les capacités cognitives très élevées et l'avance du développement chez les enfants HP peuvent masquer des difficultés de

l'apprentissage, qu'elles soient d'origine neuropsychologique ou psychopathologique (Vaivre-Douret, 2004). Ses résultats ont pu être confirmés par d'autres études (Boschi et al., 2016 ; Brody & Mills, 1997 ; De Lassalle et al., 2021 ; Guénolé et al., 2015 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020 ; Hamdioui et al., 2022 ; Holocher-Ertl & Seistock, 2019 ; Loureiro et al., 2010 ; Rundkvist, 2015 ; Tordjman & Kermarrec, 2019 ; Tordjman et al., 2018 ; Vaivre-Douret et al., 2020 ; Whitaker et al., 2015 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020 ; Weismann-Arcache, 2006). Ces études s'accordent pour souligner que les troubles neurodéveloppementaux, particulièrement les troubles spécifiques d'apprentissage sont plus présents dans le cas de profil psychométrique de QI très hétérogène. C'est-à-dire plus il y a une différence significative entre les indices du QI, plus la probabilité d'avoir des troubles d'apprentissage augmente.

Rappelons qu'un trouble spécifique des apprentissages est un trouble neurodéveloppemental selon le DSM-5 (APA, 2013) et concernerait 5-7 % des enfants d'âge scolaire en France. Cette appellation correspond aux troubles des acquisitions scolaires selon le DSM-IV (APA, 1944), et ils sont nommés « troubles spécifiques des acquisitions scolaires » dans la CIM-10 (World Health Organization, 1992), et « trouble du développement des apprentissages, avec difficulté en lecture » dans la CIM-11. Le trouble spécifique des apprentissages est défini dans le DSM-5 comme un dysfonctionnement cognitif touchant l'acquisition, l'organisation, la compréhension ou le traitement de l'information verbale et/ou non verbale. Ce dysfonctionnement impacte les apprentissages scolaires (Mathématiques, lecture, écriture, etc.), les compétences sont alors nettement au-dessous du niveau escompté pour l'âge chronologique de l'enfant et ce de manière quantifiable. Les difficultés d'apprentissage débutent au cours de la scolarité et cela exclut un déficit intellectuel, un trouble sensoriel, un trouble neurologique avéré, ou un manque de stimulation (DSM-5 ; APA, 2013). Les troubles des apprentissages peuvent également s'associer à un autre trouble neurodéveloppemental comme le TSA, le TDAH, et/ou le TDC. D'où l'intérêt du dépistage précoce afin de diminuer les conséquences fonctionnelles de ces troubles. Dans ce contexte, Farmer et al. (2021) ont mis en place une démarche aidant au diagnostic précoce en distinguant trois domaines principaux : la motricité, la sensorialité et les interactions.

Par ailleurs, les troubles oculomoteurs occupent également une place importante dans les troubles des apprentissages. Certains auteurs ont étudié les capacités de poursuite, des saccades, et de fixation sous une perspective

développementale (Ingster-Moati et al., 2009) et leur implication dans le TDC, que nous détaillerons plus loin (Bilbao & Piñero, 2021 ; Gaymard et al., 2017 ; Robert et al., 2014). D'autres auteurs se sont plutôt intéressés à la coordination binoculaire des saccades (Kapoula et al., 2008) et aux mouvements de vergence (Ward & Kapoula, 2020 ; Yang et al., 2002), particulièrement dans la dyslexie.

1.1.1. La dyslexie chez l'enfant HP

Chez les enfants HP, un lien significatif et positif entre leur QI élevé et la réussite scolaire sans différence significative entre les filles et les garçons a été démontré dans la littérature scientifique (comme nous l'avons expliqué en détails ci-dessus) (Gauvrit, 2021 ; Guez et al., 2018). Selon Revol (2011) et Revol et Bléandonu (2012) l'échec scolaire, ou ce que l'on appelle « *sortie du système scolaire sans diplôme ni qualification* » (tel qu'il est défini par l'Éducation nationale), reste rare dans la population des enfants HP par rapport à la population générale. En revanche, Revol et Bléandonu, 2010 et Tordjman et al. (2018) attirent l'attention sur les difficultés qui sont, par contre, fréquentes, avec 76.6% de problèmes scolaires, avec 11.9% de redoublement scolaire dans une population de six cent onze enfants HP recrutés au centre national d'aide pour enfants et adolescents HP (CNAHP) (Tordjman et al., 2018) et deux tiers d'enfant HP qui n'atteindront pas le lycée (Revol & Bléandonu, 2010). Parmi ces difficultés scolaires Tordjman et al. (2018) citent un redoublement scolaire (11.9%). Revol et Bléandonu (2010) s'intéresse aux causes sous-jacentes à ces difficultés qui apparaissent paradoxales avec le potentiel cognitif de ces enfants, il évoque ainsi une explication liée à des réponses inadaptées de l'entourage, notamment scolaire. Il ajoute que d'autres causes pourraient être liées à des comorbidités souvent inaperçues chez ces enfants (Revol & Bléandonu, 2010). Plus précisément, une étude américaine génétique sur les compétences de lecture (Berninger & Abbott, 2013), a montré qu'un raisonnement verbal supérieur à la norme peut masquer la dyslexie. A l'aide de l'échelle d'intelligence de Wechsler (1991) (WISC-III), ces auteurs se sont appuyés sur la comparaison de trente-trois enfants d'âge scolaire ayant un QI supérieur à la norme (avec le raisonnement verbal comme l'indice le plus élevé) et trente-un enfant avec un QI moyen (raisonnement verbal moyen). Ils ont ainsi montré que le premier groupe a obtenu des résultats significativement plus élevés que le deuxième groupe en lecture, en orthographe, en

morphologie et en syntaxe, mais pas sur les marqueurs comportementaux de la mémoire de travail verbale de la dyslexie (Berninger & Abbott, 2013). Autrement dit, aucune différence significative n'a été démontrée quant à l'origine génétique liée à une altération du stockage et du traitement des formes de mots phonologiques et orthographiques, à la boucle phonologique, à boucle orthographique, et à l'attention. Nous pouvons constater que la sémiologie clinique connue de la dyslexie est la même chez les deux groupes, mais les capacités cognitives très supérieures des enfants HP leur permettent de compenser les difficultés qui y sont liées notamment avec le niveau de raisonnement verbal très élevé. Ces stratégies de compensations pourraient alors masquer le trouble (Berninger & Abbott, 2013).

Une autre étude néerlandaise (Van Viersen et al., 2015) s'est également intéressée aux troubles spécifiques des apprentissages chez les enfants HP en étudiant la dyslexie. Elle s'est appuyée sur un échantillon de soixante-treize enfants du primaire (56% de garçons) (un groupe d'enfants dyslexiques, un groupe d'enfants HP dyslexiques et un groupe d'enfants HP dyslexiques ayant des problèmes d'alphabétisation relatifs). Tous les enfants ont été évalués par la WISC-III (QI \geq 125 étant le seuil requis pour identifier les enfants HP dans cette étude), sur l'alphabétisation, la phonologie, le langage et la mémoire de travail. Contrairement à l'étude précédente, les résultats n'ont montré aucune indication de compensation des déficits liés à la dyslexie par les points forts liés au HP. Cependant, l'étude a démontré que les enfants HP peuvent présenter un trouble de lecture malgré leurs capacités cognitives élevées, avec les mêmes signes cliniques que les enfants non HP. De plus, les auteurs ont expliqué que les niveaux d'alphabétisation plus élevés des enfants HP du groupe 3 par rapport aux enfants HP du groupe 2, semblaient résulter à la fois de moins de combinaisons de facteurs de risque et de déficits phonologiques moins sévères dans ce groupe (Van Viersen et al., 2015).

1.1.2. La dysgraphie chez l'enfant HP

En ce qui concerne le trouble de l'écriture, il existe une seule étude (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020) (que nous détaillerons plus loin) s'intéressant à l'analyse fine du trouble chez les enfants ayant un QI supérieur à 120 (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020). En revanche, il existe différentes études avançant l'idée que les enfants HP présentent systématiquement des difficultés graphomotrices (Arffa, 2007, Bessou et

al., 2005 ; Terrassier, 2005), mais comme nous l'avons déjà détaillé dans le chapitre 4, ces constats ne sont pas objectivés. Ils sont au contraire infirmés étant biaisés par des erreurs de représentativité (généralités tirées souvent des échantillons consultants). Tout d'abord, rappelons que l'écriture manuscrite est un processus de développement complexe nécessitant des capacités perceptives, motrices, cognitives et émotionnelles (Cornhill & Case-Smith, 1996 ; Costa et al., 2015). La revue de la littérature de Graham et al. (2006) a mis en évidence les différents termes utilisés pour décrire le trouble de l'écriture : mauvaise écriture, dysfonctionnement de l'écriture (Goyen & Duff, 2005), dysgraphie (Berninger et al., 2015) ou apprentissage de l'écriture manuscrite (dont mauvaise écriture et dysgraphie) (Berninger & May, 2011).

D'autres auteurs ont défini la « *dysgraphie motrice* » comme un trouble de la coordination motrice fine, de la proprioception et de la perception visuelle, caractérisé par un ralentissement uniquement lors de l'activité d'écriture manuscrite (Fournier Del Castillo et al., 2010). Cependant, il n'existe toujours pas de consensus dans la littérature concernant la définition des troubles de l'écriture et leur étiologie restant mal connue. Les classifications internationales du DSM-5 « *Troubles de l'expression écrite* » (APA, 2013) et du DSM-4 « *Trouble de l'expression écrite* » (APA, 1994) n'incluent pas les difficultés d'écriture. Cependant, la page 56 du DSM-4-TR indique « *qu'un trouble de l'orthographe ou de l'écriture seule, en l'absence d'autres difficultés d'expression écrite, ne se qualifie généralement pas pour un diagnostic de trouble de l'expression écrite. Si une mauvaise écriture est due à une altération de la coordination motrice, un diagnostic de trouble du développement de la coordination (TDC) doit être envisagé* » (APA, 2000). Lopez et al. (2016, 2018) ont différencié la dysgraphie de « *Poor handwriting* », que nous pouvons traduire au mieux par un déficit d'écriture. Les difficultés d'écriture manuscrite sont souvent liées à des troubles neurodéveloppementaux et plus particulièrement au TDC (87-88%) voire même à un trouble de la commande motrice (Lopez et al., 2016 ; Vaivre-Douret et al., 2011b).

Hamdioui et Vaivre-Douret (2020) ont mené une étude transversale, rétrospective afin d'affiner les caractéristiques cliniques spécifiques des troubles de l'écriture manuscrite chez les enfants avec TDC au regard de leur QI. Les auteurs ont ainsi évalué chez trente-huit enfants, âgés de six à douze ans, les fonctions neurovisuelles, neuropsychologiques, neuropsychomotrices et les performances d'écriture à l'aide de la version française de l'échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant (BHK : Charles et al., 2003). Des résultats d'IRM ont été également

analysés chez tous les enfants ayant un diagnostic TDC (critères DSM-5). Parmi eux, deux groupes appariés ont été étudiés selon le niveau QI : dix-neuf enfants avec un QIT moyen (90-110) et dix-neuf enfants avec un QI>120. Les résultats ont montré que les difficultés d'écriture étaient présentes comme comorbidité au TDC dans les deux groupes sans différence statistique. Les résultats d'IRM anatomique ont montré des anomalies mineures très hétérogènes et non spécifiques (74%).

1.2. Le trouble développemental de la coordination (TDC) chez l'enfant HP

1.2.1. Terminologie et définition du TDC

Le TDC fait de plus en plus l'objet de recherche. Cependant, les études l'ont rarement étudié au regard du niveau de QI supérieur à la norme. Il est l'un des moins étudiés chez les enfants HP tandis que le TDAH par exemple est plus récurrent dans les études s'intéressant aux troubles neurodéveloppementaux chez les enfants HP (Budding & Chidekel, 2012 ; Cordeiro et al., 2010 ; Hartnett et al., 2004 ; Loureiro et al., 2009 ; Tordjman, et al., 2007).

Aujourd'hui, il n'existe aucune étude à notre connaissance portant sur l'investigation du TDC au regard du profil cognitif chez l'enfant avec un QI supérieur à la norme. Nous ne connaissons pas la spécificité des caractéristiques cliniques du TDC chez ces enfants. Sont-elles différentes ou similaires ? C'est pourquoi nous avons axé notre deuxième étude de cette thèse sur l'analyse des signes cliniques de TDC chez les enfants avec un QI supérieur à la norme en comparaison avec les enfants ayant un QI dans la moyenne. Par conséquent, nous présentons plus en détails la littérature scientifique concernant le TDC par rapport aux autres troubles neurodéveloppementaux. Tout d'abord, rappelons que le TDC peut être défini comme un dysfonctionnement neuropsychologique non verbal pouvant entraîner des troubles du comportement et des apprentissages (Vaivre-Douret, 2007). Contrairement à l'apraxie chez l'adulte, le TDC ne témoigne pas de lésion cérébrale, les enfants avec TDC n'ont jamais acquis la capacité d'effectuer des actions motrices complexes adaptées à l'âge (APA, 2013). Selon le DSM-5 (APA, 2013), ce trouble ne doit pas être mieux expliqué par une déficience intellectuelle, ni par une déficience visuelle et/ou une atteinte cérébrale neurologique (dystrophie musculaire, paralysie cérébrale). Il

s'agit d'un trouble fréquent chez les enfants d'âge scolaire avec une prévalence estimée à 5-6 % entre cinq et onze ans (APA, 2013), mais il existe aucune étude sur la prévalence de TDC en France (Inserm, 2019). Cette appellation a connu une évolution historique de « la débilité motrice » en 1900 à « *Trouble développemental de la coordination* » (APA, 2013), en passant par différentes terminologies telles que la maladresse, la dyspraxie, le trouble spécifique du développement moteur, etc. (Vaivre-Douret et al., 2021).

Le terme TDC est celui qui est utilisé aujourd'hui au niveau international, excluant les sous-types. Cependant, l'expertise collective de l'Inserm a convenu récemment d'utiliser le terme TDC pour les recherches scientifiques, mais de garder le terme « *dyspraxie* » comme synonyme à utiliser en France pour les cliniciens, gardant ainsi les sous-types de TDC (Vaivre-Douret et al., 2021b). Toutefois, il n'existe pas de consensus sur la typologie du TDC, probablement en raison de différents biais méthodologiques et de l'utilisation des tests très divergents entre les études. De plus, peu d'études ont utilisé l'analyse par classification hiérarchique pour identifier des sous-types distincts de TDC. Il n'est donc pas facile de comparer les études, mais un seul sous-type est commun à toutes les études : un groupe présentant des troubles de la motricité globale et fine (Vaivre-Douret et al., 2011b ; Vaivre-Douret & Lalanne, 2019). Certaines études ont identifié des groupes avec un TDC visuo-spatial ou un trouble de l'intégration visuo-motrice (Green et al., 2008 ; Hoare, 1994 ; ; Lalanne et al., 2012 ; Lyytinen & Ahonen, 1988 ; Macnab et al., 2001 ; Vaivre-Douret et al., 2011b ; Vaivre-Douret et al., 2016) et seules trois études ont utilisé un séquençage moteur pour identifier une déficience idéomotrice (Dewey & Kaplan, 1994 ; Green et al., 2008 ; Vaivre-Douret et al., 2011c).

En cinquante-cinq ans, différentes typologies et modèles de TDC ont existé, parmi eux nous pouvons citer : 1) Le modèle d'Ajuriaguerra et Stambak (1969) qui distingue deux groupes principaux : l'un avec des signes neurologiques mineurs et l'autre avec des difficultés psychomotrices au niveau spatio-constructif. 2) Le modèle de Gérard et Dugas (1991) qui s'inscrit dans le cadre conceptuel piagétien mettant en évidence trois sous-types : celui lié à des troubles sensorimoteurs ; l'autre est lié aux difficultés d'orientation sur autrui, et le troisième type consistant en des difficultés de représentations figuratives. 3). Le modèle de Mazeau (1995) avec cinq sous-types mais basés sur le modèle des apraxies adultes ce qui peut biaiser complètement la classification (idéatoire, idéomotrice, constructive visuospatiale, constructive non

visuospatiale, et la dyspraxie de l'habillage). 4) Le modèle de Lussier et Flessas (2001) basé sur d'intégration des différents modèles précédents. Enfin, le modèle intégratif de l'organisation de l'action de Vaivre-Douret (2007) (figure 25).

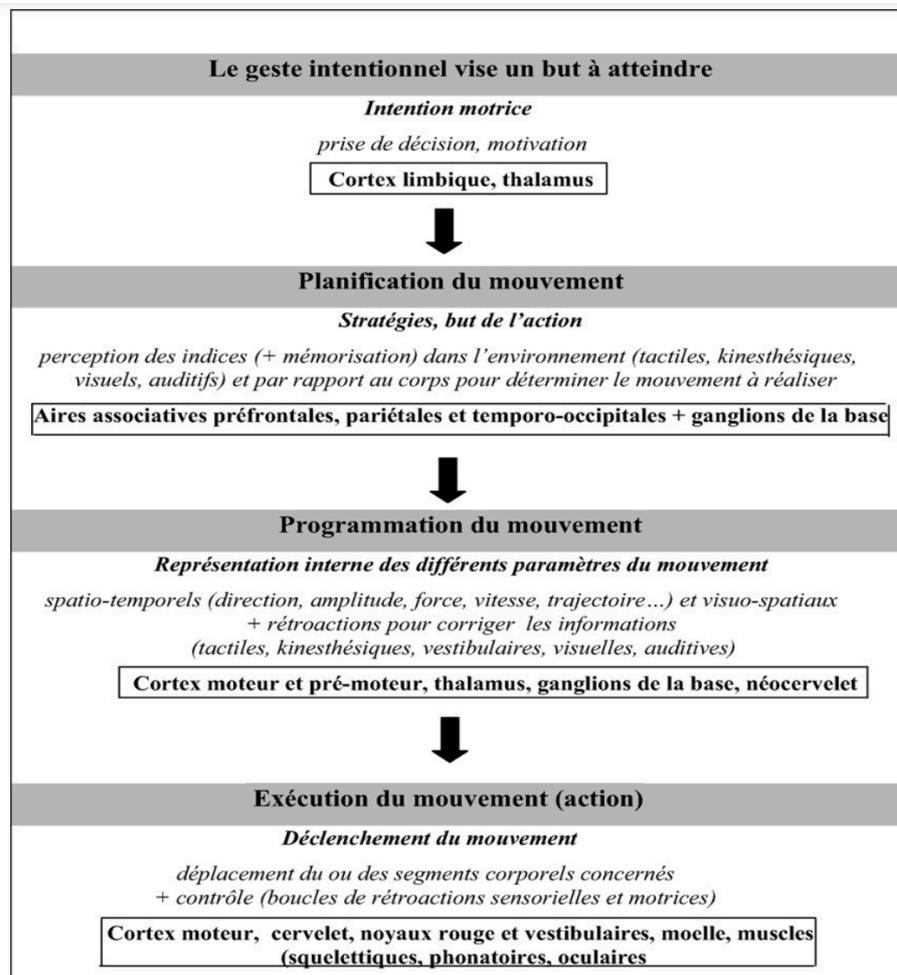


Figure 25:Modèle intégratif de l'action impliqué dans le TDC (Vaivre-Douret, 2007).

Des études récentes (Vaivre-Douret et al., 2011b, 2011c ; Lalanne et al., 2012 ; Vaivre-Douret et al., 2016), basées sur une évaluation standardisée du développement avec des mesures quantitatives et qualitatives, ont fourni une meilleure compréhension du TDC. Ils ont utilisé des données normatives liées à l'âge pour identifier les sous-types de TDC, en utilisant des approches cliniques et statistiques multidimensionnelles. Les auteurs ont identifié trois sous-types purs de TDC, avec des marqueurs diagnostiques spécifiques : idéomoteur (IM) (8 %), visuospatial/ ou visuo-constructif (VSC) TDC (52 %) et un sous-type mixte (MX) (40 %). Les enfants atteints de IM-TDC étaient caractérisés par des déficiences significatives de la perception numérique, de la dextérité manuelle et de l'imitation des gestes, tandis que le sous-

groupe VSC semblait montrer des déficiences dans l'intégration visuomotrice, la structuration visuomotrice spatiale (objectivée par la figure complexe de Rey, le VMI) et/ou les capacités de construction (avec des difficultés en Lego en suivant un modèle, cubes de Kohs). Vaivre-Douret (2004, 2021) a précisé que le TDC visuo-spatiale sans la composante constructive concerne essentiellement les enfants HP utilisant de façon très importante l'imagerie mentale et un haut niveau de fonctions exécutives. Ainsi, l'auteur apporte une critique très pertinente au niveau clinique soulignant que l'épreuve des Cubes de l'échelle d'intelligence au WISC pourrait être réussie par certains enfants HP en dépit d'une présence du trouble, ce qui ne laisserait pas apparaître le TDC, particulièrement le TDC-VSC surtout si d'autres épreuves complémentaires (visuo-spatiales) ne sont pas réalisées en bilan (Vaivre-Douret, 2021b). De plus, des études émettent l'hypothèse de l'implication de la voie occipito-pariétale dorsale (la voie du « où ») qui est responsable de traduire les informations visuospatiales en informations motrices et la voie ventro-latérale du thalamus (Tanaka, 2005). Enfin, le groupe MX-TDC partage des déficiences communes à l'IM-TDC et au VSC et présentait des déficits spécifiques de la coordination motrice des membres supérieurs-inférieurs, une mauvaise dextérité manuelle, des signes neurologiques mineurs (syncinésies, diadococinésies) et certaines comorbidités (par exemple, troubles des fonctions exécutives, déficits de mémoire auditive et difficultés d'attention auditive).

Le taux de prédiction de ces marqueurs de diagnostic est excellent étant entre 94% et 100% (IC95% [0.71-0.99]) (Lalanne et al., 2012). Ainsi, Vaivre-Douret et al. (2011b) ont amélioré le modèle intégratif proposé par Vaivre-Douret (2007) (figure 26), en proposant un modèle anatomo-fonctionnel explicitant les voies neuronales soutenant les fonctions perceptives et motrices, ainsi que la coordination perceptivo-motrice (figure 23). Ce modèle explique le TDC comme étant une perturbation au niveau de la programmation du mouvement intentionnel visant une cible précise (dysfonctionnement dans la zone sous-corticale et le cervelet), ce qui entraînerait un trouble sensori-moteur et un trouble au niveau de l'intégration spatio-temporelle (Vaivre-Douret et al., 2011b). Ceci exclut la perturbation de l'afférence des fonctions perceptives qui serait préservée, alors que la planification du mouvement est perturbée au niveau des ganglions de la base et du thalamus. Les informations envoyées au cortex préfrontal, pariétal, et temporo-occipital sont alors erronées donnant lieu à une planification perturbée des mouvements (Vaivre-Douret et al., 2011b).

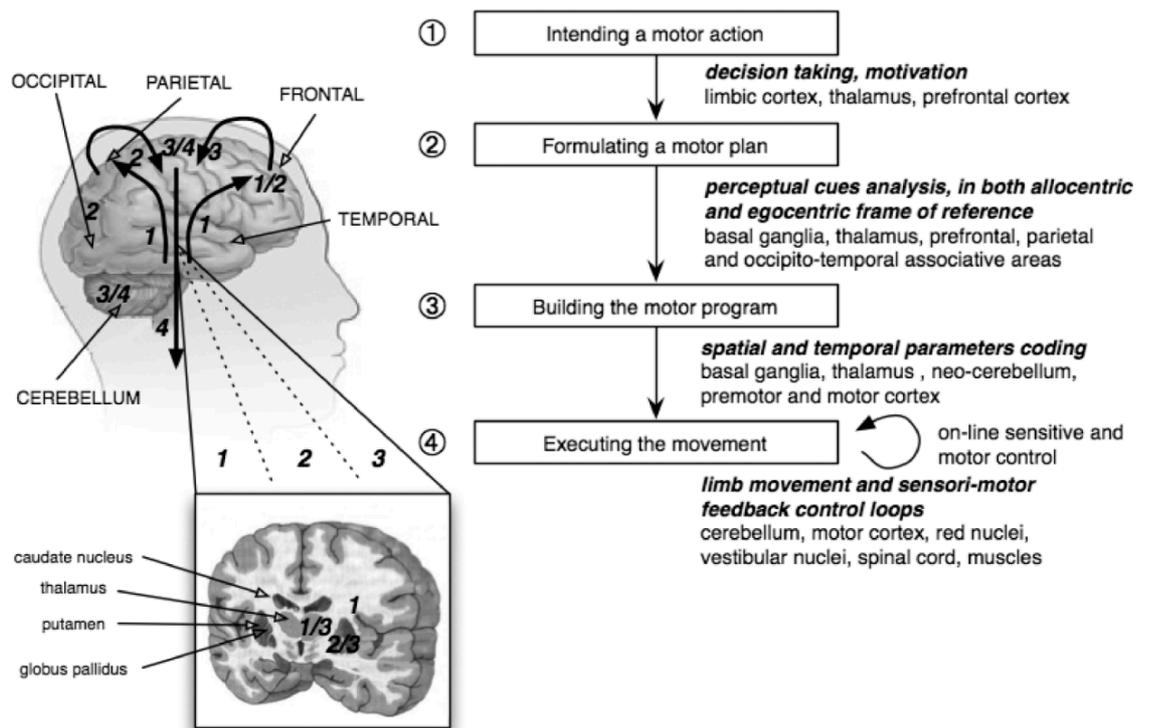


Figure 26: Modèle intégratif de l'action impliquée dans le TDC (Vaivre-Douret et al., 2011b)

Une autre classification a été proposée par Farmer (2016) en étudiant 129 enfants, âgés entre 4 et 18 ans. À l'aide de la méthode de classification de Ward pour le sous-typage l'auteur a montré 100% des sujets étaient lents, 47% gauchers ou ambidextres, 36% avaient une dyspraxie « *buccolingofaciale* », 26% « *une dyspraxie verbale* », 83% étaient anxieux, et 84% étaient décrits comme étant maladroits. L'auteur a conclu qu'un enfant avec TDC exprime plus d'une seule difficulté. Ainsi, trois sous-types ont été significativement mis en évidence : 1) maladresse et autres caractéristiques mais sans atteinte du langage ; 2) mauvaise estime de soi et difficultés de relation avec les pairs sans maladresse ni atteinte du langage ; 3) atteinte du langage et dyspraxie buccolingofaciale.

1.2.2. Diagnostic et marqueurs cliniques du TDC

Le diagnostic de TDC s'appuie essentiellement sur des évaluations normées et standardisées permettant de répondre aux critères du DSM-5 (APA, 2013), tels qu'il est recommandé par le consensus international de Londres (Polatajko & Missiuna, 1995) et est conseillé par l'Académie européenne du handicap infantile (Blank et al., 2012). Il existe différents tests de la coordination motrice qui sont utilisés au niveau

international, tels que « Developmental Coordination Disorder Questionnaire : DCDQ-07 » avec son adaptation française « DCDQ-FE » (Ray-Kaesler et al., 2015) ; « l'Agès and Stages questionnaire : ASQ » d'évaluation globale du développement psychomoteur (Squires & Bricker, 2009). Cependant, deux tests sont principalement utilisés en France (Vaivre-Douret et al., 2021b) : 1) La version française de la batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant (M-ABC 2 : Henderson et al., 2007), avec un seuil pathologique requis de 15-16^{ème} percentile. Il s'agit d'un test de performance évaluant la coordination motrice globale. 2) La batterie neurodéveloppementale française d'évaluation de la maturation neuromotrice (NP-MOT : Vaivre-Douret, 2006). Elle est recommandée par la haute autorité de santé (HAS) depuis 2007, elle permet une évaluation quantitative et qualitative en référence à la norme de la maturation (moyenne, écart-type, note standard de 1-5) (Vaivre-Douret, 2006).

Par ailleurs, si le TDC ne témoigne pas de lésion cérébrale avérée, des études physiopathologiques suggèrent néanmoins des corrélats cérébraux avec des dysfonctionnements au niveau du cervelet, des ganglions de la base, et de la région thalamique (Mariën et al., 2010). Cependant, le dysfonctionnement cérébral est difficile à quantifier par les méthodes neurophysiologiques traditionnelles, d'autant plus que cette étude ne s'est basée que sur une étude de cas pédiatrique. Sur un échantillon plus important, Zwicker et al. (2010) se sont basés sur un échantillon de soixante enfants TDC (DSM-IV et M-ABC) pour effectuer des IRMf sur sept enfants TDC vs sept tout-venant, appariés sur l'âge (8-12 ans). Les quatorze enfants ont subi l'IRMf pendant qu'ils réalisaient une tâche de motricité fine nécessitant de suivre une ligne tracée. Les auteurs ont montré un hypersignal dans le lobe pariétal inférieur gauche, le gyrus frontal moyen droit, le gyrus temporal droit et le lobule cérébelleux droit chez les enfants TDC. Les enfants tout-venant ont montré un hypersignal dans des régions cérébrales différentes, à savoir le pédoncule gauche, le gyrus frontal supérieur gauche, le gyrus temporal supérieur gauche et l'insula. Ces résultats soulignent que les enfants TDC s'appuient majoritairement sur le traitement visuo-spatial pour effectuer la tâche demandée alors que les enfants tout-venant en plus du traitement spatial font appel au contrôle moteur et aux processus d'apprentissage (Zwicker et al., 2010). Chez les adultes, Farmer (2016) a étudié, à l'aide du traceur 18F-fluorodésoxyglucose (18F-FDG) et la tomographie par émission de positrons imagerie (TEP), le métabolisme cérébral chez les sujets (âgés de 21 à 27 ans) atteints de TDC (diagnostic posé par des cliniciens depuis que les sujets étaient âgés de 8 ans) comparés aux sujets tout-

venant au repos et lors de mouvements répétitifs et standardisés des doigts de la main gauche non dominante. Quarante-deux structures cérébrales dans les hémisphères droit et gauche du cerveau ont été étudiées. L'auteur a montré que les images obtenues avec la TEP montraient des différences significatives d'absorption de 18F-FDG chez les sujets TDC par rapport aux sujets tout-venant : « *le thalamus droit était activé chez les sujets TDC car les deux noyaux caudés étaient désactivés, probablement pour une éventuelle compensation d'un dysfonctionnement ou d'un déficit des ganglions de la base* ».

D'autres techniques sont utilisées tels que les enregistrements des mouvements oculaires. Bien qu'ils aient été moins utilisés en raison de difficultés techniques notamment dans le domaine pédiatrique, ils sont aujourd'hui de plus en plus utilisés en neurosciences cliniques. Ainsi, les enregistrements oculomoteurs chez les enfants TDC, ont montré des anomalies au niveau oculomoteur selon différentes études. Nous citons l'étude française de Robert et al. (2014) qui a étudié à l'aide d'électro-oculographie (Eye-Tracking) les mouvements oculaires de poursuite horizontale et verticale chez quatre-vingt-onze enfants. L'échantillon était constitué de vingt-sept enfants (23 garçons, 4 filles), avec TDC (diagnostiqués selon le Critères du DSM-IV-TR) et soixante-quatre enfants tout-venant (26 garçons, 38 filles). Tous les enfants étaient âgés de sept à douze ans. Parmi le groupe d'enfants avec TDC, huit avaient reçu une rééducation de la fixation et des saccades, des capacités visuospatiales et de la coordination œil-main. Les résultats ont montré que la poursuite horizontale était similaire dans les deux groupes alors que la poursuite verticale était significativement altérée avec plus de saccades que ce qui est attendu pour l'âge chez les enfants HP comparés aux enfants tout-venant. Au sein du groupe TDC, la poursuite verticale était plus lisse dans le sous-groupe avec rééducation que dans le sous-groupe sans intervention. Les auteurs ont alors suggéré un retard dans la maturation du système de poursuite chez les enfants avec TDC.

Une autre étude anglaise (Sumner et al., 2016) a utilisé la même technologie pour évaluer la poursuite oculaire, la fixation visuelle, et les performances d'inhibition saccadique chez soixante-dix-sept enfants âgés de six à dix ans. Les auteurs se sont basés sur l'analyse de trois groupes : le groupe TDC (n=23), le groupe tout-venant apparié par âge (n=25) et le groupe d'enfants tout-venant plus jeunes (n=29) pour comparaison développementale avec le groupe TDC. Tous les enfants avaient un supérieur ou égal à cent quatre-vingt au WISC-IV (Wechsler, 2003) ou à la WPPSI-

IV (Wechsler, 2012) selon l'âge. Selon les auteurs (Sumner et al., 2016) le diagnostic TDC a été mis en place sur la base du test de performance MABC-2 (Henderson et al., 2007) : pour les enfants tout-venant le score était supérieur ou égal au vingt-cinquième percentile et pour les enfants TDC le score d'inclusion était inférieur ou égal au seizième percentile. Bien que les critères d'exclusion soient basés que sur des questionnaires parfois insuffisants, les auteurs ont précisé que les enfants n'avaient pas de comorbidités comme le TDAH. Au même titre que l'étude précédente, les résultats ont montré des difficultés oculomotrices chez les enfants avec TDC comparés aux enfants tout-venant sans TDC, avec un retard développemental au niveau de la poursuite oculaire verticale. Ces difficultés concernaient l'inhibition saccadique et le maintien de l'attention sur une cible visuelle (Sumner et al., 2016). Cependant, les auteurs précisent que les difficultés d'attention visuelle soutenue pourraient être liées à des problèmes attentionnels plus larges même si ces enfants n'avaient pas de diagnostic de TDAH. Si les troubles oculomoteurs chez les enfants TDC sont confirmés par différentes études (Bilbao & Piñero, 2021 ; Gaymard et al., 2017 ; Gonzalez et al., 2016 ; Hamdioui et al., 2022 ; Vaivre-Douret et al., 2020), les potentiels évoqués visuels (PEV) et l'électrorétinogramme (ERG : permettant d'évaluer le fonctionnement des cellules ganglionnaires et bipolaires de la rétine, des bâtonnets et des cônes) s'avèrent quant à eux normaux, confirmant l'absence de déficits neurovisuels purs dans le TDC (Vaivre-Douret et al., 2011b, Vaivre-Douret et al., 2021b). En revanche, il est relevé dans la littérature scientifique une co-occurrence (35%) du trouble moteur de la commande motrice d'origine pyramidal reflété par une spasticité distale et soulignant une atteinte de la voie pyramidale (qui sous-tend la mise en place de la motricité volontaire comme nous l'avons expliqué dans les chapitres précédents) (Blank et al., 2012 ; Vaivre-Douret, 2011b, c ; Vaivre-Douret et al., 2020). Ce trouble à caractère mineur est rarement dépisté en clinique, seul l'examen neurologique du tonus (NP-MOT) permet de le mettre en exergue. De plus, la dysgraphie apparaît aussi une comorbidité souvent relevée dans le TDC (87-88%) (Lopez et al., 2016 ; Vaivre-Douret et al., 2011b) et semble significativement liée au trouble de la motricité volontaire (Hamdioui et Vaivre-Douret, 2020 ; Lopez et al., 2018).

1.3. Le trouble déficitaire d'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) chez l'enfant HP

Si le TDC n'a jamais été étudié chez les enfants HP, le TDAH a occupé néanmoins plus de place dans l'étude des troubles neurodéveloppementaux chez ces enfants. Ce constat est probablement dû aux différentes tentatives qui essaient de nuancer l'hypothèse de similarités entre les caractéristiques du HP et les critères diagnostiques du TDAH (Budding & Chidekel, 2012 ; Flint, 2001 ; Loureiro et al., 2009 ; Shi et al., 2013). En effet, dans différentes études que nous détaillerons plus loin (Cordeiro et al., 2010 ; Gomez et al., 2020 ; Hartnett et al., 2004 ; Kaplan et al., 2000 ; Leroux & Levitt-Perlman, 2000 ; Reis & McCoach, 2002 ; Rinn & Reynolds, 2012), il y'a une généralisation de certaines caractéristiques d'enfants HP consultants sur la population générale d'enfants HP, ce qui a entraîné de nombreuses confusions, couvrant entre autres le champ de l'attention. Toutefois, certaines études plus sensibles à ces limites (que nous détaillerons plus loin) montrent que les enfants HP peuvent présenter un TDAH, mais que, de tous les enfants, les HP ne présentent pas systématiquement de TDAH (Flint, 2001 ; Katusic et al., 2011 ; Loureiro et al., 2009 ; Shi et al., 2013 ; Tordjman et al., 2007 ; Tordjman et al., 2018, 2019). La « *National Society for the Gifted and Talented* » (Hopkins & Bruce, 2011), quant à elle, rapporte qu'il s'agit des confusions et que de nombreuses caractéristiques comportementales divergent chez les sujets HP et ceux avec TDAH, notamment la rapidité d'apprentissage chez les enfants HP.

Rappelons que le TDAH a été défini pour la première fois dans le DSM-III, sur la base de la triade symptomatologique qui consiste en : déficit d'attention, impulsivité, hyperactivité. Aujourd'hui, le TDAH est considéré comme un trouble neurodéveloppemental dont le diagnostic est précisé dans le DSM-5 (APA, 2013). Il est basé sur la présence de six symptômes d'inattention ou six symptômes d'hyperactivité-impulsivité ayant persisté pendant au moins six mois (critère A du DSM-5), d'apparition avant l'âge de douze ans (critère B), et présents dans au moins deux types d'environnement différentes, par exemple à l'école et à la maison (critère C), cela impacte significativement la qualité de vie de l'enfant (critère D), et les symptômes ne doivent en aucun cas être expliqués par un trouble psychotique, déficit intellectuel, neurologique, ou un abus de substance (critère E). Ainsi, selon les critères du DSM-5, pour que le diagnostic du TDAH puisse être posé l'ensemble de ces critères

doit être respecté. Or le TDAH décrit chez les enfants HP serait spécifique au milieu scolaire (Fumeaux et Revol, 2014 ; Robert et al., 2010 ; Silverman & Knopper, 1994 ; Webb & al., 2005). Ceci apparaît alors contradictoire avec le « critère C » du DSM-5 qui requiert que les symptômes soient présents dans au moins deux types d'environnement différents pour qu'un diagnostic de TDAH soit valide. De plus, bien que cela ne figure plus dans le DSM-5, il était précisé dans le DSM-IV-TR (APA, 1994), dans la section des diagnostics différentiels du TDAH : « *on peut également observer de l'inattention en classe chez des sujets d'intelligence élevée placés dans des environnements scolaires insuffisamment stimulants* ».

Généralement, en France la prévalence du TDAH est de 3.5% à 5.6% des enfants âgés de six à douze ans selon l'unique étude disponible de Lecendreux et al. (2010). Chez les enfants HP, il existe que des données internationales qui évoquent que la prévalence du TDAH serait en réalité similaire à celle retrouvée dans la population générale, 10% des sujets avec TDAH sont également HP selon l'étude américaine de Antshel (2008). Une fréquence similaire a été évoquée dans une étude coréenne (Chae et al., 2003), 9.4% d'enfants TDAH étaient également HP.

D'ailleurs cette étude comparative (Chae et al., 2003) a été menée sur un échantillon de cent soixante-dix-sept enfants scolarisés en primaire, âgés de six à neuf ans : cent six enfants HP (QIT_M= 138 au WISC, version coréenne) recrutés dans « *l'Institut éducatif pour enfants HP* » et soixante et onze enfants non-HP (QIT_M= 109 au WISC, version coréenne) recrutés dans des écoles élémentaires. Dans tout l'échantillon, 9.4% des enfants TDAH étaient identifiés HP. Tous les enfants avaient passé un test de l'attention (CPT ; Zillessen et al., 2001), la version coréenne de l'échelle du comportement de l'enfant (CBCL ; Oh et al., 1997) et un formulaire de rapport de l'enseignant. Les résultats ont montré de meilleurs résultats au test de l'attention chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP. Ils faisaient moins d'erreurs d'omission et de commission (reflétant la capacité d'inhibition). Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre l'intelligence et le temps de réponse. De plus, les enfants HP avec TDAH ont obtenu de meilleurs résultats sur les tâches d'erreur d'omission, d'erreur de commission et de sensibilité de réponse que les enfants non HP avec TDAH.

L'étude expérimentale chinoise de Shi et al. (2013) s'est basée sur un échantillon de cinquante enfants, âgés de dix ans en moyenne : vingt-quatre enfants HP et vingt-six enfants non-HP pour investiguer les fonctions attentionnelles. Les

enfants HP ont été sélectionnés de manière aléatoire sur un échantillon plus large (plus de 1000 enfants), à l'aide des matrices de Raven pour évaluation de l'intelligence. Tous les scores d'intelligence des enfants HP se situaient dans les cinq centiles supérieurs de la norme de leurs pairs, alors que tous les scores d'intelligence du groupe non-HP se situaient entre 25% et 75% dans la norme de leurs pairs. Trois sous-groupes ont été constitués : 1) Enfants non-HP qui ont reçu une éducation standard ; 2) des enfants HP avec une éducation standard ; 3) et des enfants HP avec une éducation axée sur un enrichissement cognitif plus élevé. Les auteurs n'ont pas donné plus de détails sur les types de ces éducations ni sur le nombre d'enfants dans chaque sous-groupe. Shi et al. (2013) ont précisé que tous les enfants étaient tout-venant ; sans troubles ni maladies, avaient tous une vision normale ou normale corrigée et ils étaient tous droitiers. Tous les participants ont passé la tâche de performances continues évaluant l'attention soutenue (CPT ; Zillessen et al., 2001), elle dure douze minutes et est composé de cinq cent quarante chiffres projetés (un après l'autre) au centre de l'écran de l'ordinateur, pendant deux cents ms. Les participants ont été invités à appuyer sur la barre d'espace si le chiffre neuf a été précédé du chiffre un. Plusieurs mesures dépendantes sont générées lors de cette tâche : le temps de réaction, le taux d'erreur d'omission, le taux d'erreur de commission (reflétant les capacités d'inhibition) et les paramètres de détection du signal mesurant la vigilance. Les résultats ont montré que les enfants HP présentaient de meilleures capacités d'attention soutenue et d'attention sélective, avec moins d'erreurs d'omission et de commissions (meilleur contrôle inhibiteur). De plus, les enfants HP qui ont reçu une éducation d'enrichissement ont obtenu de meilleurs résultats que ceux qui ont reçu une éducation standard.

Une étude transversale belge (Loureiro et al., 2009) a défendu l'idée que le TDAH ne concernerait pas tous les enfants HP de façon systématique. Loureiro et al. (2009) ont montré que les enfants HP répondant aux critères caractéristiques du TDAH auraient un profil neuropsychologique spécifique, avec un écart important entre les indices (≥ 20 points à l'échelle d'intelligence de Wechsler pour les enfants : WISC-III ; Wechsler, 1996), comparés aux enfants HP sans TDAH. Plus précisément, les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de quarante-cinq enfants HP (23 garçons et 22 filles), âgés entre sept et onze ans, sans troubles neurologiques ni sensoriels avérés, Ils étaient tous recrutés par des psychologues (pratiquant dans des cabinets libéraux). Deux groupes ont été constitués : quinze enfants HP présentant un QI homogène (< 12

points seuil d'homogénéité entre les indices au WISC-III) et trente enfants HP avec un profil hétérogène (>12 points). Pour l'évaluation de l'attention et des fonctions exécutives, Loureiro et al. (2009) se sont appuyés sur les critères du DSM-IV-TR et ont utilisé les batteries neuropsychologiques (NEPSY ; Korkman et al., 2003 ; TEACH ; Manly et al., 1999). Les enfants HP avec un profil de QI hétérogène présentaient significativement plus de déficits neuropsychologiques, répondant aux caractéristiques cliniques du TDAH, que les enfants HP avec un profil de QI homogène. Les déficits étaient principalement notés au niveau de la mémoire de travail, de la planification, de l'attention visuelle et auditive, avec un impact significatif sur la vie quotidienne de l'enfant.

Une étude comparative française (Tordjman et al., 2007) a été menée au CNAHP (rappelons qu'il s'agit du Centre National d'Aide pour enfants et adolescents HP) analysant les taux de TDAH selon les critères DSM-IV-TR auprès d'un groupe d'enfants HP (n=105) comparé à un groupe d'enfants non-HP (n=260). Les auteurs se sont basés sur l'échelle de l'intelligence WISC-IV (Wechsler, 2005), des observations parentales (père et mère de manière indépendante), et le questionnaire de Conners (Conners, 1998 ; cité par Tordjman et al., 2007) remplis par le père, la mère, l'enseignant, et l'enfant, permettant de relever les comportements du TDAH au quotidien notamment l'indice de l'hyperactivité. Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les deux groupes concernant les comportements de TDAH. Les auteurs précisent que de façon inattendue, uniquement chez les enfants HP, l'Indice d'Hyperactivité du questionnaire de Conners des enseignants est significativement plus bas que celui des parents. De plus, dans le même groupe, cet indice s'avère plus élevé dans l'évaluation paternelle comparée aux réponses maternelles et celles des enseignants. Une interprétation très pertinente a été avancée par Tordjman et al. (2018) concernant ces résultats : *« il est important de replacer l'hyperactivité dans un contexte relationnel entre un enfant qui s'exprime au travers d'un comportement, et une personne qui y réagit avec son propre seuil de tolérance. On peut faire ici l'hypothèse que l'enfant HP n'aurait pas le même comportement vis-à-vis de son père qui représente une figure d'autorité, et ce dernier n'aurait pas non plus la même perception de l'agitation motrice de son enfant que la mère, l'enseignant ou l'enfant lui-même. »*.

Dans la même année, une étude américaine comparative (Antshel et al., 2007) a comparé quatre-vingt-douze enfants tout-venant ayant un QI supérieur à cent-vingt

(WISC-R) et quarante-neuf enfants TDAH (diagnostiqués à « *Massachusetts General Hospital* ») ayant un QI supérieur à cent-vingt. Les résultats ont montré qu'au même titre que les enfants avec QI moyen consultant dans le service, les enfants ayant un QI élevé et présentant un TDAH avaient plus de comorbidités (anxiété, troubles de l'humeur, troubles du comportement) et plus de difficultés au niveau des relations sociales que les enfants avec un QI élevé et sans TDAH. Les auteurs ont alors conclu que les enfants avec une intelligence élevée et ayant un TDAH présenteraient un profil familial ainsi que des caractéristiques cognitives, et comportementales similaires à ce qui est retrouvé dans la population générale.

Une étude plus récente transversale et comparative (Gomez et al., 2020) a été menée en Australie auprès de cinq cent sept enfants (359 garçons et 148 filles), âgés de dix ans en moyenne. Ils ont été répartis en quatre sous-groupes : enfants d'intelligence moyenne avec TDAH (n=350), enfants d'intelligence moyenne tout-venant (n=124), enfants HP tout-venant (n=15), et enfants HP avec TDAH (n=18). Les auteurs ont utilisé des évaluations cliniques pour évaluer les symptômes du TDAH à du DSM-IV-R, du « Anxiety Disorders Interview Schedule for Children : ADISC-IV » (Silverman & Albano, 1996) et du WISC-IV (Wechsler, 2008). Avec un appariement des groupes au niveau du nombre d'enfants dans chaque sous-groupe, les résultats ont montré que les enfants HP avec TDAH avaient tendance à être moins inattentifs que les enfants TDAH non-HP. De plus, les enfants HP avec TDAH avaient un profil neuropsychologique significativement différent que celui des enfants HP sans TDAH, avec des troubles du comportement et d'attention (Gomez et al., 2020).

Le TDAH serait alors un trouble neurodéveloppemental qui pourrait être présent chez les enfants HP, mais il ne serait pas une caractéristique systématiquement retrouvée chez eux (Antshel et al., 2007 ; Chae et al., 2003 ; Gomez et al., 2020). Selon toutes les études comparatives présentées plus haut, le TDAH n'est pas un fait développemental des enfants HP. Il serait plus présent dans le cas de profil de QI hétérogène et pourrait également être en comorbidité avec d'autres troubles neurodéveloppementaux au même titre que chez les enfants non-HP (Antshel et al., 2007 ; Chae et al., 2003 ; Gomez et al., 2020 ; Loureiro et al., 2009). Cependant, Boschi et al. (2016) ont évoqué que différentes caractéristiques du TDAH semblent être régulièrement associées dans la littérature à la symptomatologie du trouble du spectre autistique (TSA), mais aussi aux enfants HP, notamment lorsque le profil de QI est trop hétérogène. Si le TDAH occupe une place très importante dans cette

confusion entre caractéristiques développementales et troubles, la question de la co-occurrence du TSA a également souvent été abordée.

1.4. Le trouble du spectre de l'autisme (TSA) chez l'enfant HP

Selon Grégoire (2021), les relations entre le TSA et le HP restent une question ouverte encore aujourd'hui et son origine provient essentiellement de l'instabilité de la sémiologie et des critères requis pour le diagnostic du TSA. En effet, l'autisme a été défini pour la première fois avec Kanner (1943) qui a évoqué qu'il portait attention depuis 1938 à un certain nombre d'enfants qui présentaient des caractéristiques comportementales différentes de leurs pairs. Il a alors décrit dans son article (Kanner, 1943) le comportement de onze enfants (8 garçons et 3 filles) âgés tous de plus de onze ans environ, qui s'inscrivait selon lui dans le cadre d'un syndrome unique caractérisé par des stéréotypies importantes et une socialisation très faible, et qui pourrait ressembler à la schizophrénie infantile (Kanner, 1943). Contrairement à la définition de l'autisme de Kanner généralement véhiculée (autisme avec un retard mental), les cas cliniques de Kanner (1943) diffèrent au niveau intellectuel : « le cas de Virginia avait un QI non verbal de 94 à l'échelle de Binet, alors que le cas d'Alfred avait un QI global de 140).

En sept décennie, la considération du TSA a connu une évolution considérable étant introduite d'abord dans le DSM-III (APA, 1980) sous la terminologie « *autisme infantile* » dans la catégorie du « trouble global du développement ». Ensuite, « *trouble autistique* » dans la catégorie « trouble envahissant du développement : TED » (DSM-III-R), « *trouble autistiques* » dans la catégorie « TED » dans le DSM-IV (APA, 1994) et DSM-IV-R (APA, 2000), mais de façon distincte par rapport aux autres catégories « syndrome de Rett, troubles désintégratifs de l'enfance, syndrome d'Asperger, et TED non spécifique ». Enfin sous la terminologie « *trouble du spectre autistiques* » dans le DSM-5 (APA, 2013) mais en incluant les troubles désintégratifs de l'enfance, syndrome d'Asperger (sans déficience intellectuelle), et TED non spécifique dans le TSA, alors que « le syndrome de Rett » est resté dans une catégorie distincte avec l'apparition de « trouble de la communication sociale » dans cette classification. Par conséquent, nous passons de la triade symptomatologique avec le DSM-IV : 1) troubles de la communication sociale, 2) troubles des interactions sociales, 3) Comportements répétitifs et restreints (APA, 2000) ; à une dyade symptomatologique

avec le DSM-5 : 1) Déficit de la communication et des interactions sociales (Critère A du DSM-5 ; APA, 2013), 2) Caractère restreint et répétitif des comportements, intérêts, et activités (Critère B). Ces symptômes doivent être présents de manière précoce au cours du développement de l'enfant (critère C), Ils interfèrent significativement dans les domaines de fonctionnement (social, scolaire, etc.) (Critère D), Ils ne sont pas mieux expliqués par un retard général du développement ni par une déficience intellectuelle (Critère E). Il est néanmoins précisé que la déficience intellectuelle et le TSA surviennent souvent ensemble, mais pour que les deux diagnostics soient requis, il faut que la communication sociale soit inférieure à celle prévue pour le niveau de développement global (APA, 2013). Par ailleurs, au même titre que le DSM-5, la CIM-11 inclut également « le syndrome de Rett, troubles désintégratifs de l'enfance, syndrome d'Asperger, et TED non spécifique » dans la catégorie TSA. Cependant, quelques divergences entre ces deux classifications internationales sont à noter : Par exemple, la CIM-11 met en évidence des directives précises pour distinguer l'autisme du déficit intellectuel, alors que le DSM-5 souligne seulement que l'autisme et la déficience intellectuelle peuvent être simultanément présents. Ces divergences mettent les cliniciens et les chercheurs en difficulté et ajoutent des confusions quant à la considération des groupes cliniques selon Grégoire (2021).

Aujourd'hui, si le diagnostic du TSA est essentiellement basé sur les critères du DSM-5, il est également appuyé par des évaluations cliniques standardisées et normées, principalement « l'échelle d'observation du diagnostic de l'autisme : ADOS (Lord et al., 2012) » et « l'entretien pour le diagnostic de l'autisme : ADI-R (Rutter et al., 2003) ». De plus, grâce aux travaux mettant en évidence les marqueurs neuromoteurs impliqués dans le TSA (Boddaert et al., 2012 ; Licari et al., 2020 ; Zilbovicius et al., 1995 ; Martinot et al., 2002 ; Paquet et al., 2015, 2016, 2019), d'autres évaluations complémentaires des fonctions neuropsychomotrices et motrices sont recommandées dans la démarche diagnostic de ce trouble (NP-MOT, MAB-C) (Vaivre-Douret, 2006).

Nous ne détaillerons pas toutes ces études car le TSA n'est pas le sujet principal de ce travail, mais nous donnons l'exemple de l'étude transversale de Paquet et al. (2016) qui a été menée sur un échantillon de trente-quatre enfants (31 garçons et 3 filles, âgés de 4-11 ans) avec TSA (DSM-5 et ADI-R) quel que soit leur niveau intellectuel, recrutés dans le service de pédopsychiatrie de l'hôpital de Limoges en France. Tous les enfants ont été évalués par la batterie d'évaluation

neurodéveloppementale standardisée et normée d'évaluation des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT) et l'évaluation des performances psychomotrices (M-ABC). En plus des mouvements stéréotypés reconnus dans le DSM-5 comme un des critères diagnostiques du TSA, les résultats ont mis en exergue un déficit au niveau de la coordination bi-manuelle et des praxies digitales (88%), du contrôle postural statique (64%) et dynamique (52%), de la coordination entre les membres supérieurs et inférieurs chez (58 %), une dysrégulation tonique (61%) avec une hypotonie distale des membres (pieds et mains) et une hypertonie du troc et des muscles proximaux des membres inférieurs (angle articulaire talon-oreille réduit), indétermination de l'organisation gestuelle spontanée et une perturbation de la mise en place de la latéralité hémisphérique avec un taux de gauchers plus élevé (Paquet et al., 2016). Certains de ces déficits moteurs (dysrégulation tonique, trouble de la latéralité et de la coordination) ont été retrouvés dans d'autres études, et ont été mis en lien, d'une part, avec les troubles du langage et de la communication retrouvés dans le TSA, et d'autre part avec l'hypothèse de perturbation majeure au niveau de la fonction cérébelleuse (au niveau des cellules Purkinje). Celle-ci étant impliquée, à la fois, dans les fonctions motrices, cognitives, et socio-émotionnelles (Jaber et al., 2017 ; Marko et al., 2015 ; Planche & Lemonnier, 2012 ; Rinehart et al., 2006 ; Rogers & Benetto, 2002).

Aucune étude à notre connaissance n'a investigué ces marqueurs dans le Haut Potentiel, pourtant la comparaison avec cette sémiologie reconnue dans le TSA pourrait énormément participer à l'éclairage et à la compréhension des phénotypes impliqués et aux confusion évoquées entre la similarité des profils. Cependant, l'étude de Boschi et al. (2016) a tenté de comparer des groupes d'enfants HP et d'autres avec TSA, mais malheureusement l'évaluation neuropsychomotrice n'a couvert que quelques champs d'évaluation ne prenant pas en compte l'évaluation du tonus. De plus les auteurs ont précisé que la petite taille de leurs échantillons ne permettait pas de prendre en compte les résultats non significatifs concernant les champs moteurs évalués. Pour détailler cette étude (Boschi et al., 2016), il est important de rappeler qu'elle s'inscrit dans l'idée du lien significatif entre profil de QI très hétérogène et particularités socio-cognitives pouvant aider à repérer plus précocement le TSA chez les enfants HP. En effet, Boschi et al. (2015, 2016) ont exploré les différences entre les profils de QI chez les enfants HIP et les enfants avec TSA, au regard des évaluations neuropsychologiques et cliniques, auprès de quarante-neuf enfants (âge moyen= 11 ans) : groupe un (20 enfants neurotypiques), groupe deux (6 enfants avec

autisme de haut niveau sans déficience intellectuelle suivant le DSM-IV), groupe trois (11 enfants avec syndrome d'Asperger suivant le DSM-IV), groupe quatre (38 enfants HP, 8 avec un profil homogène et 30 avec un profil hétérogène). Les enfants HP et non-HP ont été recrutés dans des écoles et les enfants avec TSA ont été recrutés dans le service de pédopsychiatrie (Necker et Salpêtrière). Les auteurs ont utilisé l'échelle d'intelligence (WISC-IV) et différentes échelles psychologiques pour la comparaison entre les groupes (AQ, EQ, CCC).

Les résultats ont montré des similarités de distribution d'indices de QI entre les enfants avec syndrome d'Asperger et les enfants HP avec un profil de QI hétérogène avec l'ICV comme l'indice le plus élevé suivi des indices de raisonnement perceptif, de mémoire de travail et de vitesse de traitement. Les autres échelles montrent que les scores des enfants HP avec un QI homogène étaient tous dans la moyenne. En revanche, Les enfants HP avec un QI hétérogène montraient un score supérieur à la moyenne sur l'AQ (habiletés sociales attention aux détails), tandis que les enfants avec TSA obtenaient un score très supérieur à la norme sur tous les sous-échelles de l'AQ soulignant un dépistage positif du TSA. De plus, les enfants HP avec un QI hétérogène montraient des difficultés de la pragmatique de langage au questionnaire CCC remplis par les parents (centre d'intérêts restreints) ce qui était très supérieur à la norme indiquant un trouble chez les enfants TSA. Les auteurs ont conclu que les enfants HP avec un profil de QI hétérogène, présentant des scores élevés au QA et des difficultés de communication et de pragmatique du langage avaient le même profil socio-cognitif des enfants avec un diagnostic d'Asperger. Ces résultats vont dans le sens d'autres études qui défendent l'idée de similarités de signes cliniques du TSA chez les enfants qu'ils soient HP ou non, et que le HP ne sert pas de facteur protecteur contre les difficultés liées au TSA, mais que le TSA n'est pas un fait développemental des enfants HP (Assouline et al., 2009 ; Dempsey et al., 2021 ; Foley Nicpon et al., 2010 ; Liratni & Pry, 2011 ; Neihart, 2000). De plus, il convient de noter qu'il existe dans la littérature que nous avons analysé un biais méthodologique majeur qui réside dans les lieux de recrutement des enfants HP, à savoir souvent des enfants consultants. Dans ce sens, Liratni et Pry (2011) ont mené une étude comparative sur un groupe de vingt-trois enfants HP non-consultant (QI=134 au WISC-IV ; bénéficiant d'un cursus scolaire accéléré ou d'un programme d'enrichissement) comparé à un groupe de douze enfants HP consultants en milieu hospitalier (QI=134 au WISC-IV). L'échelle d'évaluation des comportements socio-adaptatifs (Vineland ; Sparrow et al.,

1984) a été administrée pour tous les enfants. Cette échelle est sous forme de questionnaire destiné aux parents, se compose de trois sous-échelles : communication, socialisation, et autonomie dans la vie quotidienne ; permettant de générer un Quotient Social Total (QST). Les résultats de cette étude ont montré une différence significative entre les deux groupes au niveau des comportements socio-adaptatifs : les enfants HP tout-venant montrent des compétences normatives alors que les enfants HP consultants montrent des performances significativement inférieures à la norme et au premier groupe. Les deux groupes montraient une hétérogénéité inter-scalaire significative par rapport aux normes de la WISC-IV (>15 points), avec trente et un de points d'écart entre les indices pour le premier groupe et de trente-huit points d'écart pour le deuxième groupe, mais le groupe clinique montrait significativement plus d'hétérogénéité que le groupe d'enfants HP tout-venant. Pour le premier groupe la distribution des scores moyens d'indices était comme suivant : IVC= 139, IRP=124 ; IMT=120 ; IVT=108 ; tandis que pour le deuxième groupe était comme suivant : IVC= 145, IRP=116 ; IMT=123 ; IVT=107. Le groupe clinique se distingue par rapport au groupe HP tout-venant par un IVC plus élevé et un IRP plus faible. L'échelle de Vineland a montré, quant à elle, des résultats normatifs pour les enfants HP tout-venant. En revanche, les scores de socialisation, d'autonomie dans la vie quotidienne et le QST étaient inférieurs aux scores du groupe HP tout-venant et des normes (entre -1 et -2 écart-type), mais le score de communication se situait dans la norme. Aucune relation significative n'a été montrée entre le niveau de QI et le score QST. En revanche, un lien significatif a été établi entre IRP élevé et QST faible, ce qui a conduit les auteurs à mener des réflexions sur les similarités entre HP et TSA en mettant en avant le surinvestissement des aspects visuoperceptifs/spatiaux impliqués dans la cognition du TSA. Cependant, bien qu'elle soit intéressante, quelques limites sont à relever dans cette étude notamment au niveau de la taille des échantillons qui est, à la fois, petite et pas équilibrée entre les deux groupes. De plus, ces hypothèses de rapprochement entre le profil psychométrique spécifique aux enfants HP en lien avec le comportement socio-adaptatif et le TSA restent théoriques et une comparaison avec un groupe d'enfants avec TSA reste manquante dans cette étude. Néanmoins, quelques points intéressants sont à souligner : une hétérogénéité qui apparaît spécifique aux enfants HP comparés aux normes que ce soient des enfants consultants, mais une distinction significative entre le profil socio-adaptatif des enfants HP tout-venant qui semble être similaire aux normes de l'échelle et celui des enfants

HP consultants qui montrent plus de difficultés à ce niveau, comme pourrait l'être tout autre enfant consultant non-HP.

Plus récemment, l'étude descriptive de De Lassalle et al. (2021) fait également la distinction entre enfants HP tout-venant et consultants en expliquant que les diagnostics tardifs de TSA chez certains enfants HP par leurs capacités cognitives élevées, qui leur permettent de mettre en place des stratégies d'adaptation, et qui pourraient donc camoufler certains critères du diagnostic selon ces auteurs. Dans cette étude belge (De Lassalle et al., 2021), sur un échantillon de soixante-cinq enfants (âgés de 11-12 ans en moyenne) avec TSA sans déficience intellectuelle, dix-sept enfants (4 filles et 13 garçons) ont été identifiés avec un profil cognitif correspondant au HP (QIT \geq 130 au WISC-IV), soit 26%. Les auteurs (De Lassalle et al., 2021) se sont ensuite intéressés à ces dix-sept enfants HP avec un diagnostic de TSA, recrutés dans le service psychiatrique infanto-juvénile de Bruxelles, afin de comprendre leurs profils. Ils ont ainsi analysé le motif de la demande du bilan et les demandeurs parents, spécialistes), les caractéristiques du WISC-IV, l'échelle d'observation du diagnostic de l'autisme (ADOS ; Lord et al., 2012), le test projectif (Rorschach, 1942), les tests psychomoteurs (MABC et BHK) et neuropsychologiques (la batterie NEPSY-I ; Korkman et al., 2003 et le test de mémoire CMS ; Cohen, 2001), ainsi que des évaluations de la communication et de la pragmatique du langage (CCC ; Bishop, 1998).

Les résultats ont montré que la demande du bilan vient principalement des parents et de l'école, alors que les neuropsychologues, neuropédiatres, et/ou pédopsychiatres se trouvent en dernière position. Les motifs des bilans étaient principalement au regard des difficultés d'interactions sociales. De plus, 53% avaient des diagnostics antérieurs soulignant des comorbidités principalement TDAH et troubles des apprentissages. A l'évaluation par l'ADOS, les caractéristiques les plus fréquents sont le manque de réciprocité dans l'interaction (82%), un visage peu expressif ou des expressions faciales mal ajustées à l'émotion (82%), et un contact oculaire fuyant (76%). Au niveau, cognitif, tous les enfants de cette étude avaient un profil de QI hétérogène avec comme point fort l'indice verbal et comme point faible l'IVT. Au niveau neuropsychologique, 64% des enfants adoptaient une stratégie privilégiant le perfectionnisme à la vitesse aux tests cognitifs, une excellente mémoire de travail avec plus rarement de difficultés de flexibilité cognitive (18%) et d'organisation (9%). Aux tests projectifs, les résultats ont montré une faiblesse au

niveau de l'imagination et des réponses peu élaborés, avec peu d'aspects relationnels, une anxiété, réponses répétitives, et un mode de pensée concret chez 20% des enfants. Enfin, les auteurs ont noté de façon totalement clinique les éléments qui pourraient masquer certains signes de TSA : beaucoup d'efforts pour s'adapter aux différentes situations, recherche du lien dans l'interaction, une gestuelle bien modulée, stock lexical très riche, attentif à l'autre, mais avec des difficultés pour maintenir la communication et faire preuve d'empathie (De Lassalle et al., 2021). Cette étude apporte une analyse très pertinente et détaillée des profils cognitifs, comportementaux, et psychologiques des enfants HP avec TSA. Cependant, un groupe de comparaison (enfants non HP avec TSA) aurait été très pertinent pour tester l'hypothèse de similarité de profils. Très peu d'études se sont intéressées à cette comparaison. Nous citons l'étude comparative récente de Vaivre-Douret et Planche (2020) qui avait pour objectif d'analyser les capacités de la cognition sociale chez soixante-deux enfants, âgés de sept à quinze ans et onze mois au regard de leurs profils psychométriques au WISC-IV. Elles se sont basées sur un échantillon de trente-sept enfants HP (13 avec un QI homogène et 24 avec un QI hétérogène) et vingt enfants non-HP (recrutés dans des écoles privées et publiques ; classes spéciales HP et classes mixte pour enfants HP et non-HP), ainsi qu'un groupe de cinq enfants avec HP et syndrome d'Asperger (DSM-IV) recrutés dans des centres d'évaluation neuropsychologique et des Centres de Ressources Autisme d'Ile de France et de Bretagne. Les auteurs ont utilisé le quotient empathique (EQ ; Sonié et al., 2011), le quotient autistique (AQ ; Sonié et al., 2013), l'échelle de dépression pour enfant (MDI-C ; Berndt & Kaiser, 1999), et le VMI (Beery et al., 2004) perceptif et moteur pour évaluer les fonctions visuo-perceptives et visuo-motrices. Les résultats ont montré des liens significatifs entre le type de profil de QI (très hétérogène) et les capacités interactionnelles des enfants HP. Certaines caractéristiques cognitives relevant du registre de la cognition sociale et de l'affectivité pourraient selon les auteurs servir d'indicateurs pour distinguer les enfants HP avec et sans TSA. Plus précisément, de meilleures capacités dans le domaine de la cognition sociale et aux tests perceptifs ont été objectivées en faveur des enfants HP avec un QI homogène. De plus, les enfants HP avec un profil de QI très hétérogène et les enfants HP avec syndrome d'Asperger présentaient un score élevé à certains subtests du quotient autistique comparés aux neurotypiques (précisément dans le domaine de la communication, imagination, flexibilité attentionnelle, attention aux détails). Aucune différence significative n'a été notée concernant l'échelle de dépression mais les

scores étaient plus élevés dans le groupe d'enfants HP avec un QI très hétérogène notamment au niveau de l'humeur triste et l'anxiété (Vaivre-Douret et Planche, 2020). Les auteurs ont conclu que les enfants HP avec un profil de QI très hétérogène et des difficultés sociales et émotionnelles importantes sont à haut risque d'être des enfants ayant un syndrome d'Asperger (DSM-IV) (Vaivre-Douret & Planche, 2020).

Par ailleurs, une autre étude expérimentale récente, issue du domaine de la recherche neuropsychiatrique (Riccioni et al., 2021), a également défendu l'idée que le HP et le TSA sont en réalité deux choses différentes puisqu'ils sont respectivement une trajectoire développementale à part entière et un trouble neurodéveloppemental. Mais, partageant certaines caractéristiques cliniques et neurobiologiques sont similaires dans les deux profils. Cette étude à laquelle des auteurs de différents pays ont participé (Angleterre, Italie, France, et Allemagne), est la première et l'unique étude qui s'est basée sur une technique neurophysiologique non invasive (très étudiée dans les activités de recherche neuropsychiatrique : les potentiels liés aux événements « *Event-Related-Potentials* : ERP ») pour comparer les processus neurocognitifs et attentifs impliqués le HP et le TSA. Cette technique consiste à enregistrer à l'aide de l'EEG l'activité cérébrale des participants après le début d'un stimuli peu fréquent entremêlé dans des séries de stimuli répétitifs. Les ondes enregistrées reflètent soit « *l'indice de négativité de mésappariement : MMN-P300* » qui est une onde négative localisée dans les régions cérébrales fronto-centrales, provenant du cortex auditif et frontal. Elle représente un processus de discrimination cérébrale passif automatique, soit « *l'indice de l'onde positive-P300* » qui reflète généralement les capacités des fonctions attentionnelles et exécutives. Les auteurs précisent que cette dernière est étroitement liée aux fonctions cognitives et largement reconnue comme un marqueur sensible de la déficience intellectuelle.

Les auteurs ont alors recruté trois groupes d'enfants, âgés de six à seize ans : groupe un : dix-sept enfants avec TSA selon les critères du DSM-5 et ADOS, recrutés dans le service psychiatrique de l'hôpital de Rome), groupe deux : seize enfants HP (WISC-IV) et dix enfants tout-venant recrutés dans un club de sport. Ils ont également utilisé différents tests psycho-socio-cognitifs tels que l'ADOS, la NEPSY-II, et différentes évaluations du comportement. Les résultats ont mis en évidence la présence de similarités entre les enfants HP et TSA (profil psychométrique hétérogène en lien significatif avec une déficience des capacités d'adaptation sociale, des symptômes autistiques, sans atteindre le seuil du diagnostic et un perfectionnisme très

élevé). Cependant, les auteurs (Riccioni et al., 2021) précisent qu'une caractéristique neurophysiologique distincte entre les groupes est apparue à l'EEG, avec des ondes d'une amplitude MMN réduite (figure 27) uniquement dans le groupe d'enfants avec TSA. De leur côté, le groupe d'enfant HP a montré une amplitude MMN moyenne similaire à celle des sujets tout-venant, ce qui signifierait l'absence de signal de troubles socio-cognitifs systématiques chez les enfants HP. Ainsi, les auteurs attestent que cette caractéristique d'amplitude MMN (phénotype plus informatif) pourrait aider les cliniciens et les chercheurs à faire la distinction entre HP et TSA (Riccioni et al., 2021).

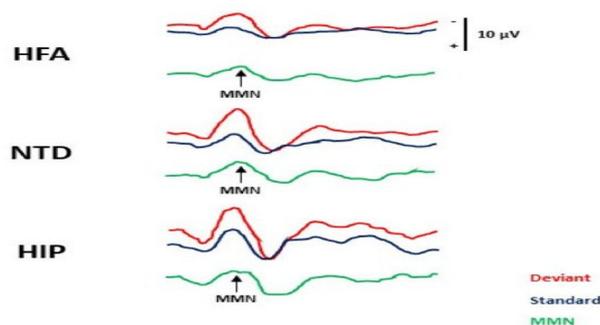


Figure 27: Marqueur neurobiologique (amplitude MMN) chez les enfants HP comparés aux enfants TSA et neurotypiques (Riccioni et al., 2021).

*HFA : High Functioning Autism (Autisme de Haut Niveau) ; NTD : Neurotypically Developed (neurotypiques); HIP (High Intellectual Potential (Haut Potentiel Intellectuel).

De façon plus globale, une étude issue de la génétique telle que celle de Clark et al. (2015) a montré que le risque polygénique de TSA était positivement et significativement corrélé à une capacité intellectuelle plus élevée, avec particulièrement des scores très supérieurs en mémoire et en langage. Ce risque était calculé à partir d'associations à l'échelle du génome dans une cohorte de neuf mille huit cent soixante-trois individus (âge moyen 52 ans) dans la population générale. Les auteurs ont montré que, même parmi ceux qui n'ont jamais développé un TSA, ceux portant les traits génétiques associés au trouble montraient de meilleurs résultats aux tests psychométrique du QI que les témoins. Toutefois, le lien ici est fait entre QI élevé et risque polygénique de TSA. Par conséquent, étant donné que le HP ne se résume pas aux valeurs de QI, comme nous avons pu le voir tout au long de ce travail, nous ne pouvons pas faire des raccourcis entre HP et TSA. En revanche, les auteurs ont affirmé des scores significativement plus élevés en mémoire et en langage, ce qui signifierait une hétérogénéité importante entre les indices de QI, et donc une

particularité de profil psychométrique qui pourrait être plus pertinente comme indicateur sur les investigations complémentaires.

D'autres théories amènent les cliniciens et chercheurs à faire face à cette confusion entre HP et TSA, supposant même une seule origine neurobiologique. Premièrement, la théorie de « *l'hyperexcitabilité* » de Dabrowski (1964) que nous avons évoquée plus haut. La seconde théorie est celle issue des travaux neurobiologiques de Markman (Markman et al., 2008) à partir d'un modèle d'animal. Ces auteurs se sont basés sur la caractéristique principale du TSA, à savoir l'altération des interactions sociales sous-tendues par le traitement de l'amygdale entre autres. Ils ont alors fait recours à la méthode de l'acide valproïque chez le rat en comparaison avec des rats témoins. Il s'agit d'un modulateur dont la synthèse est [2-(propy-1-¹³C) Pentanoic-3-¹³C], il fonctionne avec deux types d'action : le premier est un effet direct en lien avec les concentrations en acide valproïque du plasma et du cerveau. Le second est dit indirect en lien avec des modifications des neurotransmetteurs ou avec des effets membranaires directs. Il joue un rôle important en empêchant une excitation prolongée des neurones en inhibant la dégradation du neurotransmetteur GABA énergétique en bloquant l'enzyme GABA transmise (GABA-T) (utilisé comme antiépileptique), mais il a également un rôle neurotrophique car il favorise la croissance de certains neurones notamment au niveau du cervelet, du tronc cérébral (Servens et al., 1985).

Markman et al. (2008) ont utilisé cette méthode pour dépister les symptômes de type autistique chez le rat, tester les altérations du traitement de la peur au niveau de l'amygdale et évaluer la réactivité neuronale et la plasticité synaptique dans l'amygdale au moyen d'enregistrements électrophysiologiques unicellulaires in vitro. Des injections intra-péritonéales d'acide valproïque P ont été effectuées chez les rats femelles entre le douzième et treizième jour de la période embryonnaire correspondant à la fermeture du tube neural. Le but était de provoquer des caractéristiques similaires à ce qui est connu dans le TSA, à savoir des anomalies au niveau du cervelet, du tronc cérébral, et un dysfonctionnement du système sérotoninergique. Au niveau comportemental, cette exposition à l'acide valproïque a induit une diminution des interactions sociales, des mouvements stéréotypés, anxiété accrue, moindre sensibilité à la douleur, hyperactivité, et une hypersensibilité sensorielle, souvenirs de peur anormalement élevés et plus durables, trop généralisés et plus difficiles à éteindre. Au niveau cellulaire, l'amygdale était hyperactive à la stimulation électrique

et présentait une plasticité synaptique accrue ainsi qu'un déficit d'inhibition chez les rats qui ont été exposés à l'acide valproïque comparés aux rats témoins (figure 28).

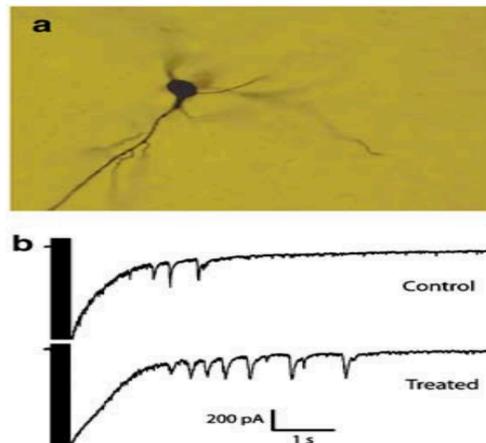


Figure 28: Excitabilité accrue du réseau neural principalement au niveau du noyau amygdaloïde latéral (a) et tracé de l'enregistrement électrophysiologique correspondant (b) (Markman et al., 2008).

Les auteurs avaient alors montré, pour la première fois, des souvenirs conditionnés et renforcés de la peur, sur-généralisés et résistants dans un modèle animal TSA. Ils ont conclu qu'une telle peur très élevée est gardée en mémoire pourrait être causée par l'hyperréactivité et l'hyperplasticité locale, retrouvées dans l'amygdale latérale, qui peuvent être elles-mêmes être liées à un déficit du système inhibiteur de l'amygdale. Après conditionnement à la peur à l'aide du protocole classique d'association « son/choc électrique », les rats avec acide valproïque gardaient en mémoire l'expérience traumatique de façon significativement plus importante que les rats témoins. Par conséquent, les auteurs émettent une hypothèse neurobiologique environnement dépendant pour comprendre la physiopathologie impliquée dans le TSA. En effet, pour Markman et al. (2008), étant donné que l'environnement nourrit et enrichit le développement cérébral, si les mécanismes s'avèrent hypersensibles, les stimulations environnementales pourraient alors accélérer quantitativement et qualitativement le développement cérébral, particulièrement le système glutaminergique.

2. Troubles psychopathologiques chez l'enfant HP

2.1. L'anxiété chez l'enfant HP

Dans la littérature scientifique analysée (tableau 5), nous avons fait face à des résultats contradictoires à ce sujet et nous pouvons en tirer trois grandes théories : La

première est celle qui postule sur le fait qu'il existerait une anxiété comme trait spécifique au fonctionnement des enfants HP, avec des troubles anxieux significativement plus élevés dans cette population comparativement aux enfants non-HP. De ce fait, il est suggéré que le HP soit un facteur de vulnérabilité aux troubles anxieux. La seconde montre paradoxalement significativement moins de troubles anxieux chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP, suggérant ainsi que le HP soit un facteur protecteur contre les troubles anxieux. Enfin, celle qui ne trouve aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP concernant les troubles anxieux. Ces divergences sont essentiellement liées à trois raisons : 1) biais méthodologique lié au lieu de recrutement ; 2) manque de consensus sur la terminologie et la définition du HP ; 3) Le test utilisé pour évaluer l'anxiété (auto-questionnaire), souvent évaluation isolée.

Tout d'abord rappelons que les troubles anxieux apparaissent dans le DSM-5 (APA, 2013) en plusieurs catégories : anxiété de séparation, mutisme sélectif, phobie spécifique, anxiété sociale, trouble panique, agoraphobie, anxiété généralisée, trouble anxieux induit par une substance/un médicament, trouble anxieux dû à une affection, trouble anxieux non spécifié. Celle étudiée chez l'enfant HP s'évalue à l'aide des questionnaires souvent étayés par un entretien clinique afin de soulever si l'individu ressent une peur excessive et durable sans lien avec un danger ou une menace réelle. Ceci est considéré comme une anxiété lorsqu'il perturbe significativement et cliniquement le fonctionnement et le quotidien scolaire, sociale, et les activités de l'enfant (Denis & Baghdadi, 2017). En se basant sur cette définition, Guérolé et al. (2013) ont mené une étude transversale sur un échantillon de cent onze enfants HP ($QI \geq 130$; WISC-III), âgés de huit à douze ans, recrutés en consultations à l'hôpital de Bron, France, dans le service de psychopathologie d'enfants et d'adolescents et aux cabinets de consultations psychologiques à Lyon. Tous les enfants avaient comme motif de consultation l'existence de difficultés scolaires et sociales. Tous les enfants n'avaient ni trouble mental ni dépression (CIM-10 et CDRS-R). Tous les enfants ont rempli l'échelle d'anxiété (R-CMAS ; Reynolds et al., 1999), qui est un auto-questionnaire constitué de trente-sept items et peut être présenté à l'enfant à partir de huit ans pour une évaluation quantitative de l'anxiété trait (score à 85 Percentile). Les normes sont établies en fonction de l'âge et du sexe permettant de calculer un score global mais également quatre sous-scores correspondant à quatre sous-échelles : 1) Anxiété physiologique ; 2) Hypersensibilité/Inquiétude ; 3) Préoccupations

sociales/Concentration ; 4) Mensonge. Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre le groupe d'enfants HP et les normes du questionnaire, que ce soit pour le score global ou pour les sous-scores. De plus, au même titre que les normes du R-CMAS, aucune différence n'a été notée entre les filles et les garçons dans le groupe d'enfants HP étudié.

Ces résultats apportent un éclairage quant à la généralisation de l'anxiété comme trait systématique chez les enfants HP. En effet, dans cette étude de Guérolé et al. (2013), il convient de noter que même lorsque les enfants HP sont en difficultés scolaires et sociales comme c'est le cas dans cet échantillon. Le HP ne constitue pas un facteur de vulnérabilité chez eux, laissant suggérer même une meilleure gestion du stress et des émotions comme il a été déjà mentionné dans la revue de littérature de Neihart et Yeo, 2018 précédemment. Toutefois, une limite est à noter dans cette étude de Guérolé et al. (2013). En effet, les résultats de cette étude ont mis en évidence que 94,3 % des enfants avaient des parents mariés, 96% des pères et 71% des mères avaient une activité professionnelle, 81% des pères et 84% des mères avaient un niveau d'études supérieures. Or, par rapport à la population générale représentée par les normes du R-CMAS, il existe une sous-estimation d'autres caractères sociodémographiques (statut marital, niveau d'études, etc.). Par conséquent, un groupe témoin d'enfants non-HP aurait été intéressant pour étayer les résultats de cette étude. De plus, une analyse des résultats au regard des profils de QI aurait été pertinente. Une autre étude de Guérolé et al. (2015), bien qu'elle ne porte pas principalement sur l'anxiété mais plus globalement sur les troubles émotionnels et comportementaux, a étayé ces résultats en y apportant une analyse au regard des profils psychométriques au WISC-III (homogène/hétérogène). Les auteurs ont utilisé l'échelle de comportement CBCL (1991 ; version française : Fombonne et al., 1988) que nous avons déjà évoqué plus haut à cent-quarante-trois enfants HP (QI>130), âgés entre huit et douze ans, recrutés dans un service de psychopathologie. La CBCL est une échelle d'évaluation dimensionnelle de la psychopathologie générale chez l'enfant et l'adolescent, constituée de cent dix-huit questions, interrogeant sur le comportement de l'enfant durant les six derniers mois, auxquelles les parents sont invités à répondre. Elle est cotée sur l'échelle de Likert en 3 points. La CBCL fournit un score total (trouble comportemental), avec deux composantes : 1) problèmes d'intériorisation (comme des sentiments de dévalorisation ou d'infériorité, de dépendance, d'anxiété, de tristesse excessive ou de retrait social, évoquant un

contrôle excessif du comportement), 2) problèmes d'externalisation (tels que l'hyperactivité, l'irritabilité, le non-respect des règles ou l'agressivité, qui dénotent sous-contrôle du comportement et des émotions).

Basée sur des analyses factorielles, la CBCL permet également de générer huit sous-scores dimensionnels : replis sur soi, plaintes somatiques, anxieux/dépression, problèmes sociaux, problèmes de pensée, problèmes d'attention, comportement délinquant et comportement agressif. Les résultats ont montré que les scores des huit sous-échelles se situent au-dessus de la norme pour les enfants HP, évoquant de façon contradictoire avec l'étude précédente du même auteur des difficultés au niveau du comportement en général et significativement plus d'anxiété. Cependant, les auteurs soulignent le caractère modéré de ces symptômes compte tenu des caractéristiques de l'échantillon (HP consultant en psychopathologie). De plus, l'indice d'externalisation était significativement plus élevé chez les enfants HP avec un QI hétérogène ($ICV > IRP$). Les auteurs ajoutent que les enfants ayant un profil de QI très hétérogène présentaient aussi des particularités au niveau moteur, à savoir une maladresse et hyperactivité psychomotrice. Une autre étude comparative de Guérolé et al. (2015), portant sur trois groupes d'enfants HP, tente d'approfondir l'analyse des profils psychopathologiques en portant une attention sur l'hétérogénéité de profil de QI au WISC mais au regard des processus de raisonnement et de la pensée logique à partir d'une tâche de raisonnement de Piaget. Pour ce faire, les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de trois groupes indépendants : enfants HP âgés de huit à onze ans évalués au R-CMAS ($QI > 130$; $n=107$; dont 45 profils de QI hétérogène), enfants HP âgés de huit à onze ans évalués au CBCL ($QI > 130$; $n=136$, dont 46 profils de QI hétérogène), enfants HP âgés de sept à quinze ans évalués avec l'échelle de la pensée de logique de Piaget. Cette échelle est un outil d'évaluation des processus de raisonnement chez l'enfant, basé sur l'expérimentation, s'inscrit dans le cadre théorique portant sur les travaux et le modèle de développement de Piaget et Inhelder (1958). Elle se compose de cinq tâches principales, dont chacune implique une structure logique : invariance de grandeurs physiques, permutation, quantification de probabilité, représentation spatiale et raisonnement hypothético-déductif. La stratégie logique utilisée par le sujet sur chaque tâche est notée d'un à cinq, selon son niveau dans la hiérarchie développementale des processus de raisonnement (pré-opérationnel, opérationnel concret, opérationnel formel). Elle a été standardisée et permet de calculer un indice d'homogénéité de raisonnement allant de zéro à cent, qui

décroît avec le nombre d'écarts entre les niveaux de différents domaines logiques. Les résultats appuient les conclusions précédentes car ils montrent à nouveau qu'un profil très hétérogène au QI pourrait être lié à des troubles notamment psychopathologiques. Ici, l'analyse des trois groupes a mis en exergue significativement plus de symptômes d'anxiété-préoccupation sociale, de dérégulation émotionnelle et de dysharmonie cognitive pathologique sur les tâches de type Piaget chez les enfants HP avec un profil de QI hétérogène comparés aux enfants HP avec un profil de QI homogène (Guérolé et al. 2015).

Une étude récente de Guignard et al. (2020) montre des résultats similaires. Elle a été menée sur un échantillon de trente-trois enfants HP comparés à vingt-cinq enfants non-HP appariés, âgés de dix ans en moyenne. Les auteurs n'ont pas explicité les critères d'inclusion ni les évaluations utilisées, mais les résultats ont montré que les enfants HP ayant un QI hétérogène avaient des scores d'anxiété et de dépression significativement plus élevés que les enfants HP avec un QI homogène. Les auteurs ont conclu que les enfants HP avec un QI hétérogène seraient plus à risque d'anxiété et de dépression (Guignard et al. (2020).

Nous constatons que le profil très hétérogène au QI revient souvent avec des comorbidités au niveau moteur, cognitif et socio-émotionnel faisant ainsi un carrefour entre les troubles neurodéveloppementaux et psychopathologiques.

Tableau 5: Analyse des études portant sur les caractéristiques d'anxiété trait chez les enfants HP

Études	Population étudiée et âge	Lieu de recrutement	Évaluation intellectuelle	Évaluation de l'anxiété	Principaux résultats
Kermarrec et al. (2020) : Étude française comparative	2 groupes âgés de 8 à 16 ans : enfants HP (QI \geq 130 ; n=211), enfants neurotypiques (QI<130 ; n=397)	Centre National d'Aide pour enfants et adolescents HP (CNAHP) ; les enfants accueillis dans ce centre sont en difficultés, principalement scolaires	WISC-IV (Wechsler Intelligence Scale for Enfants)	R-CMAS (Revised Children's Manifest Anxiety Scale), critères DSM-5 et CIM-10, entretien clinique avec les parents	Selon l'évaluation psychiatrique (DSM-5, CIM-10, et R-CMAS), les enfants HP montrent significativement plus de troubles anxieux que les enfants neurotypiques. Au regard des profils de QI, les enfants avec ICV \geq 130 présentent significativement plus de troubles anxieux que les enfants ayant un ICV<130. Les enfants avec un IRP \geq 130 présentent significativement moins de troubles anxieux que les enfants ayant un IRP<130. L'entretien avec les parents ne montre pas de différence significative entre les deux groupes.
Vaivre-Douret et Planche (2020) : étude française transversale comparative	4 groupes âgés de 7-15 ans : enfants HP (QI \geq 130) avec QI homogène (n=13), enfants HP (QI \geq 130) avec QI hétérogène (n=24), enfants neurotypiques (n=20), enfants HP avec syndrome d'Asperger (n=5)	Les enfants HP et les neurotypiques ont été recrutés dans des classes spéciales HP et des classes mixte (HP et typique). Les enfants HP avec un syndrome d'Asperger (DSM-IV) ont été recrutés dans un centre d'évaluation et de traitement neuropsychologique pour autisme	WISC-IV	R-CMAS MDI-C (Échelle composite de dépression pour enfants)	Dans le registre anxiété-dépression, les résultats n'ont pas révélé de différences significatives entre les groupes (syndrome d'Asperger, HP homogène, HP hétérogène). Mais différence significative entre les enfants HP et témoins avec des scores plus élevés chez le groupe HP, ce significativement plus élevé dans le groupe d'HP hétérogène. Les enfants HP avec un profil de QI très hétérogène et des difficultés sociales et émotionnelles considérables sont à haut risque d'être des enfants avec un syndrome d'Asperger.
Lancon et al. (2015) : Étude française comparative	2 groupes âgés en moyenne de 40 ans : sujets HP (QI \geq 130 ; n=20), sujets neurotypiques (n=3656 ; QI _M =100), individus (115 \leq QIT \leq 130 ; n=8)	Service psychiatrique	WAIS (Wechsler Intelligence Scale for Adult)	STAI (State-Trait Anxiety Inventory) et entretien clinique	Chez les sujets HP, il est relevé 57% d'anxiété généralisée, présentant ainsi significativement plus de symptômes d'anxiété et une faible estime de soi.
Guénolé et al. (2015) : Étude française comparative	3 groupes : enfants HP âgés de 8 à 11 ans évalués au R-CMAS (QI \geq 130 ; n=107 ; dont 45 profils de QI hétérogène),	Cliniques ambulatoires de pédopsychiatrie spécialisées dans la psychopathologie des enfants HP	WISC-III	R-CMAS CBCL	Les enfants HP avec un profil de QI hétérogène présentaient significativement plus de symptômes d'anxiété-préoccupation sociale, de dérégulation émotionnelle et de dysharmonie cognitive pathologique

	enfants HP âgés de 8 à 11 ans évalués au CBCL (QI ≥ 130 ; n=136, dont 46 profils de QI hétérogène), enfants HP âgés de 7 à 15 ans évalués avec l'échelle de la pensée logique de Piaget (Langeot, 1979)	Pratique privée de pédiatres et de psychologie, où ils étaient adressés en raison de problèmes socio-émotionnels et/ou scolaires			sur les tâches d'évaluation de la pensée logique de Piaget (Langeot, 1979).
Guénolé et al. (2013) : Étude française descriptive	1 groupe : enfants HP (QI ≥ 130) âgés de 8 à 12 ans (n=111)	Service de psychopathologie d'enfants et d'adolescents	WISC-III	R-CMAS	Les scores d'anxiété des enfants HP ne diffèrent pas significativement des normes de l'échelle d'anxiété.
Guignard et al. (2012) : Étude française comparative	3 groupes âgés en moyenne entre 10 et 11 ans : enfants HP en 6 ^{ème} (QI ≥ 130 ; n=61), enfants HP en 5 ^{ème} (QI ≥ 130 ; n=71), enfants neurotypiques en 6 ^{ème} (n=51), enfants neurotypiques en 5 ^{ème} (n=20)	Classes spéciales HP	R-CMAS CAPS (Children and Adolescent Perfectionism Scale)	WISC et test de lecture et de compréhension (Cattel's Culture Fair Test)	Les enfants HP montrent des scores de perfectionnisme significativement plus élevés que le groupe contrôle en 6 ^{ème} , mais présentent le même niveau d'anxiété. En revanche, en 5 ^{ème} , les enfants HP montrent le même niveau de perfectionnisme que les neurotypiques, mais des scores d'anxiété significativement plus élevés.
Zeidner et Shani-Zinovich (2011) : Étude israélienne transversale comparative	2 groupes âgés de 15 ans moyenne : enfants HP (n=374), enfants neurotypiques (n=428)	Programme d'enrichissement pour HP sans aide et sans difficultés particulières	Réussite scolaire	EMAS (Endler Multidimensional Anxiety Scale)	Les enfants HP montrent des scores d'anxiété significativement plus faibles que les enfants neurotypiques
Loureiro et al. (2010) : Étude belge transversale comparative	2 groupes âgés de 7 à 11 ans : 45 Enfants HP (QI ≥ 125 ; n=45 ; 15 profils de QI homogène), enfants neurotypiques (QI < 125 ; n=30)	Cabinets de psychologie	WISC-IV	Diag-80 (Questionnaire destiné aux parents)	Les enfants HP avec un profil de QI hétérogène sont significativement plus anxieux que les enfants HP avec un QI homogène et que les neurotypiques. Ils présentent également significativement plus de réactions excessives au niveau familial et social.
Fehm et Schmidt (2006) : Étude allemande descriptive	1 groupe : jeunes HP, âgés de 15 à 19 ans (n=74)	École de musique spécialisée pour HP.	Pas d'évaluation cognitive Considération sur désignation d'enseignants	Version allemande du questionnaire d'anxiété de performance (PAQ), et observations des stratégies d'adaptation	Fréquence significativement élevée d'anxiété de performance dans cet échantillon sans différence statistique entre les filles et les garçons (environ un tiers du groupe était handicapé par son anxiété, 78% de symptômes corporels comme la nervosité et 60% de

					<p>symptômes cognitifs tels que l'appréhension d'erreur ou l'autocritique de sa propre performance).</p> <p>Les stratégies d'adaptation défavorables (telles que la drogue ou l'abus d'alcool) ont été significativement rarement signalés (20%). La plupart des élèves (81%) avaient des pensées positives (externaliser l'anxiété par évocation langagière, se laver les mains avec l'eau tiède, faire du nettoyage, demander du soutien soit des enseignants ou de l'extérieur de l'école) pour faire face à leur anxiété.</p>
Robert et Lovett (1994) : Étude canadienne transversale comparative	3 groupes âgés de 12 à 14 ans : enfants HP (n=20), enfants à hautes performances académiques (n=20), enfants neurotypiques (n=20)	Programme spécial pour les élèves HP dans lequel ils passent environ 1-2 jours/semaine, dans une classe spéciale, le reste de leur scolarité se déroulant dans des classes ordinaires.	Réussite scolaire (Standford Achievement Test Series) : un score composite ≥ 90 Percentile des deux dernières années scolaires, recommandations des parents et des enseignants, évaluation de la rédaction et des capacités créatives, et recommandation d'un comité d'examen à l'aveugle des candidats.	SFT (School Failure Tolerance, avec des sous-scores d'affects négatifs) Examen de la réponse au stress physiologique à l'aide d'un capteur digital mesurant le changement de température de la peau	Les enfants HP présentent significativement plus d'affects négatifs et des réponses au stress physiologique que les enfants à hautes performances académiques et les enfants neurotypiques.
Scholwinski et Reynolds (1985) : Étude américaine transversale comparative	2 groupes âgés de 7-18 ans : enfants HP (QI \geq 130 ; n=584), enfants neurotypiques (QI<130 ; n=4000)	Classes spéciales HP, sans difficultés et sans aide particulière	Binet ou WISC	R-CMAS	Les enfants HP présentent des scores d'anxiété significativement plus bas que les enfants de la population générale.
Reynolds et Bradley (1983) : Étude américaine transversale comparative	2 groupes : enfants HP (QI \geq 129 ; n=465), enfants neurotypiques (QI<130 ; n=329)	Classes spéciales HP, sans difficultés et sans aide particulière	Binet ou WISC	R-CMAS STAIC	Les enfants HPI montrent des scores d'anxiété significativement plus faibles que les enfants neurotypiques, indiquant selon les auteurs un meilleur ajustement global. Remettent en question le mythe « <i>emotionally unstable genius_ Génie émotionnellement instable</i> ».

Milgram et al. (1976) : Étude israélienne transversale comparative	2 groupes âgés de 9 à 12 ans : enfants HP (QI \geq 140 ; n=182), enfants neurotypiques (QI<140 ; n=310)	Classes spéciales HP dans des écoles publiques, sans difficultés et sans aide particulière. Les enfants suivaient des programmes d'enrichissement	WISC	SAS (échelle Sarason Scale of Anxiety)	Les enfants HP montrent des scores d'anxiété significativement plus faibles par rapport aux enfants neurotypiques.
--	---	---	------	--	--

2.2. La dépression chez l'enfant HP

Les divergences décrites plus haut concernant l'anxiété ne nous permettent pas de conclure s'il s'agit d'une symptomatologie singulière aux enfants HP comparés aux enfants non-HP, comme une caractéristique développementale faisant partie du HP ou plutôt comme un trouble psychopathologique qui peut concerner les enfants HP comme les enfants non-HP sans différence significative. Cependant, ce qui est certain c'est que les troubles anxieux non-traités peuvent aboutir à un épisode dépressif (OMS, 1992). Le taux de prévalence de la dépression chez l'enfant et l'adolescent en France est de 9.6% selon Chee et al. (2012). Il est constaté une augmentation de 2,1 %-3,4 % chez l'enfant, et 14 % chez les adolescents d'après les statistiques de l'Inserm. Récemment, la prévalence de dépression est estimée à 13.5% avec une hausse significativement liée à la crise Covid-19 et particulièrement au confinement (Irving et al., 2020). Chez les enfants HP, aucune étude de prévalence n'a été effectuée et, contrairement à l'anxiété, il existe peu d'études concernant les troubles de la dépression au niveau international.

On parle d'un diagnostic de dépression lorsqu'au moins cinq symptômes parmi les suivants sont présents pendant au moins une période de deux semaines, représentant un changement par rapport au fonctionnement antérieur : une humeur dépressive (tristesse reflétant une douleur psychique) ou une anhédonie marquée, qui se reflète par une perte de plaisir pour les activités que la personne trouvait auparavant plaisantes (Critère A du DSM-5 ; APA, 2013). Perte ou gain du poids significatif en l'absence de régime, insomnie ou hypersomnie presque tous les jours, agitation ou ralentissement psychomoteur presque tous les jours, fatigue ou perte d'énergie, sentiment de dévalorisation ou de culpabilité excessive, diminution des aptitudes cognitives notamment au niveau attentionnel et au niveau de la prise de décision, pensées de morts récurrentes, idées suicidaires avec ou sans plan précis, tentatives de suicide. L'ensemble de ces symptômes induit une détresse cliniquement significative impactant le fonctionnement social, scolaire, ou dans d'autres domaines importants (Critère B). Les symptômes ne sont pas expliqués par une affection médicale ou un abus aux substances (Critère C). L'ensemble définira alors l'épisode dépressif caractérisé qui ne doit pas être mieux expliqué par un trouble psychotique

(Critère D). Ce tableau clinique décrit dans le DSM-5 peut être évalué chez l'enfant à l'aide des échelles standardisées comme la MDI-C (Berndt & Kaiser, 1999). L'échelle MDI-C est un auto-questionnaire destiné à l'enfant, constitué de huit registres de symptômes de la dépression : l'anxiété, l'estime de soi, l'humeur triste, le pessimisme, la provocation, l'introversion sociale, la faible énergie, le sentiment d'impuissance. Elle permet de calculer un score total, mais également des sous échelles au regard des symptômes énumérés ci-dessus. Le score total permet de nuancer trois degrés de sévérité : symptomatologie de dépression légère, modérée et sévère.

Selon Vaivre-Douret (2019), dans une population d'enfants HP avec troubles des apprentissages, une dépression est trouvée avec des scores significatifs pour l'estime de soi et l'anxiété, alors que les autres scores ne s'avèrent pas forcément significatifs. Dans une population d'enfants HP, un constat clinique important est à noter. En effet, il est relevé qu'un trouble non diagnostiqué, notamment dans le domaine des apprentissages, pénalise les résultats scolaires et/ou demande à l'enfant un investissement important en mettant en place instinctivement des stratégies de compensation. N'obtenant pas des résultats à la hauteur des efforts fournis, il montrera un manque de motivation et perdra confiance en lui. Ceci est d'autant plus vrai dans le cas du HP, car les attentes des parents et enseignants concernant les enfants HP sont souvent plus importantes, ignorant alors les raisons sous-jacentes. On lui reprocherait de « ne pas faire d'effort », ce qui aurait un impact sur le fonctionnement psychique de l'enfant. ». Dans ce sens, l'étude de Vaivre-Douret (2019) a étudié la trajectoire développementale de l'enfant HP vers la dépression à des étapes différentes du développement, de l'âge scolaire en primaire au collège. Elle porte sur une cohorte nationale d'enfants HP d'âge scolaire ($QI \geq 130$ au WISC-IV ; $n=725$), recrutés dans des associations notamment l'association nationale pour les enfants intellectuellement précoces (ANPEIP). Les enfants HP sont souvent reçus dans ces associations pour une souffrance à l'école avec un désinvestissement scolaire notable. L'auteur précise que malgré le biais méthodologique de recrutement, cette étude permet tout de même de comprendre le tableau clinique de dépression chez ces enfants HP avec difficultés scolaires. Les parents ont rempli des questionnaires portant, entre autres, sur le développement psychomoteur, le comportement et les habiletés et les apprentissages. Les enfants, quant à eux, ont rempli l'auto-questionnaire MDI-C. Les données traitées concernaient trois cent soixante et un protocoles complets. Les résultats n'ont montré aucune différence significative au

niveau régional. En revanche, au niveau des professions du père et de la mère, il est noté une différence significativement supérieure de cadres, que ce soit pour les enfants de primaire ou du collège. Dans cet échantillon d'enfants HP, caractérisés principalement par des difficultés scolaires, la dépression touche 47 % (n=170) des enfants HP. Il y a également la présence significative d'indicateurs de risques suicidaires significativement en lien avec la dépression, avec un taux de 22% d'enfants en primaire et 19% au collège. Chez tous les enfants, l'auteur a relevé autant de dépressions faibles à modérées que de modérées à sévères, mais le taux augmente de 39 % en primaire et de 58 % au collège. L'auteur a analysé ces résultats de la dépression au regard des troubles des apprentissages et a relevé de façon significative des difficultés en lecture (23 % chez les enfants HP dépressifs scolarisés en primaire vs 6% chez les enfants HP non dépressifs), en expression écrite (respectivement 7% vs 2%) et en calcul (respectivement 7 % vs 2 %). Au collège, il apparaît selon l'auteur une augmentation des difficultés, mais sans différence significative entre les enfants HP, montrant une symptomatologie de dépression et sans dépression (37 % vs 25 % pour l'expression écrite ; 17 % vs 14 % pour le calcul). L'auteur précise que le niveau de QI n'est pas significativement lié à la présence ou non d'une dépression, et ce même pour l'enfant HP né prématuré (nés avant 37 semaines d'aménorrhée ; 18.6%). L'analyse des sous-échelles de la MDI-C a montré que ce n'est pas uniquement l'estime de soi ou l'anxiété qui sont significatifs mais tous les symptômes s'associant ainsi significativement au score de dépression.

Cette étude est d'autant plus intéressante par rapport à l'analyse des symptômes de la dépression en lien avec les données anamnestiques en fonction de la tranche d'âge. Pour les enfants HP en primaire, des liens significatifs ont été montrés entre dépression et des particularités sensorielles apparues entre quatre et douze mois (très sensible au bruit, lumière, etc.), des difficultés liées au sommeil avant trois ans, manque d'intérêt pour les activités ludiques visuospatiales/constructives (puzzles, légos, etc.), des difficultés de graphisme, de latéralité, de maladresse, et un trouble de l'attention et de lecture. De plus, des liens significatifs ont été établis entre dépression et difficultés d'interaction sociale, tristesse et anxiété, et des notes plus faibles aux différentes matières scolaires. Chez les collégiens HP, on note des liens significatifs entre la dépression et les activités ludiques notamment visuospatiales (puzzles) et motrices (jeux de construction, dessins) en bas âge, qui ont été peu utilisées par ces enfants. Ceci s'avérait être en lien avec des symptômes du TDC. De plus, un tableau

clinique relevant du registre de TDAH, dyscalculie, et troubles comportementaux notamment dans le domaine des habiletés sociales a été mis en exergue par l'auteur (Vaivre-Douret, 2019).

Tous ces résultats ont amené l'auteur à conclure sur le fait que certains enfants de cette cohorte peuvent être porteurs de troubles de l'apprentissage en lien avec la dépression avérée mise en évidence (Vaivre-Douret, 2019). De plus, l'auteur a précisé que si le QI n'avait pas de lien significatif avec la dépression, l'hétérogénéité significative des indices, elle, s'avère être un bon indicateur des éventuels dysfonctionnements neuropsychologiques ou neuropsychomoteurs liés aux subttests chutés. Selon Vaivre-Douret (2019) ce constat devrait interpeller les cliniciens car ces enfants HP consultant ont souvent un profil hétérogène, avec ICV élevé, au détriment des autres indices. D'autres études montrent des résultats similaires, telles que celle de Tordjman et al. (2018) qui a montré environ 40 % de troubles anxieux en lien significatif avec un ICV élevé et un IRP faible au WISC-IV. L'étude de Vaivre-Douret et Hamdioui (2021), s'est basée sur un échantillon d'enfants HP ($QI \geq 130$ au WISC-IV ; $n=438$) recrutés dans les mêmes associations avec le même protocole pour effectuer une analyse factorielle sur les mêmes données de l'étude de Vaivre-Douret (2019). L'objectif est de mieux comprendre les facteurs protecteurs et les facteurs de vulnérabilité sous-jacents à cette prévalence de dépression chez la population d'enfants HP. Les résultats ont montré cinq facteurs significativement prédictifs de la dépression au sein de cet échantillon, expliquant ainsi 62,96 % de la variance totale : Facteur un (14,53 %) « *trouble de la motricité* » ; facteur deux (14,04 %) « *relations familiales* » ; facteur trois (14,02 %) « *relations sociales avec les pairs* » ; facteur quatre (11,23 %) « *intégration des codes sociaux* » ; Facteur cinq (10,1 %) « *Troubles d'apprentissages* ». Les facteurs « *trouble de la motricité* » et « *troubles d'apprentissages* » sont considérés comme des facteurs de risque de la dépression chez l'enfant HP, particulièrement lorsque ces troubles ne sont pas identifiés et donc pas pris en charge. Les facteurs « *relations familiales* », « *relations sociales avec les pairs* », et « *intégration des codes sociaux* » sont en revanche des facteurs dits protecteurs. Autrement dit, l'enfant HP qui dispose d'une bonne intégration des codes sociaux et qui se développe dans un environnement favorable, lui permettant de créer des bonnes relations avec sa famille et avec ses pairs, se caractériserait par des facteurs dits protecteurs de la dépression.

Si ces auteurs attirent l'attention sur l'importance de ne pas généraliser ces résultats sur les enfants HP tout-venant et de prendre en considération le contexte de recrutement des échantillons d'études. Une autre étude comparative (Bénony et al., 2007) a pu être menée sur un groupe d'enfants HP tout-venant comparés aux enfants non-HP tout-venant, tous âgés entre neuf et treize ans. Le groupe d'enfant HP ($QI \geq 130$ au WISC, WPPSI ; $n=23$) a été recruté dans des écoles (classes spéciales HP), les professeurs ne témoignent d'aucun signe de l'apprentissage avéré, et aucun antécédent somatique/psychopathologique n'a été noté par les auteurs. Les enfants témoins ($QI_M=106$; $n=23$) ont été recrutés dans des classes classiques. Tous les enfants ont rempli l'auto-questionnaire du comportement (CBCL : Child Behaviour Checklist présenté précédemment) et un questionnaire de l'estime de soi (SEI : Self-Esteem-Inventory ; cité par Bénony et al., 2007). Les résultats ont montré que les enfants HP présentaient des scores de l'estime de soi académique, l'estime de soi totale et l'échelle de mensonge qui étaient significativement inférieurs à ceux observés dans le groupe témoin d'enfants non-HP tout-venant. Les scores de dépression, quant à eux, étaient significativement plus élevés dans le groupe d'enfants HP. De plus, des corrélations significatives ont été notées uniquement dans le groupe des enfants HP : plus les valeurs d'estime de soi générale, d'estime de soi académique et d'estime de soi totale étaient basses, plus il était noté une dépression élevée, hyperactivité élevée, et scores de psychopathologie élevés. De même, une corrélation significative et négative a été notée entre les scores totaux d'estime de soi et l'agressivité. Bien que ces enfants HP ne présentent, à priori, pas de troubles des apprentissages, les analyses de régression ont indiqué que l'estime de soi scolaire est la variable qui explique le plus significativement les scores de dépression (Bénony et al., 2007). Des résultats similaires ont été retrouvés dans d'autres études soulignant une association entre le HP, une faible estime de soi et la dépression (Karande et al., 2008). Ces résultats confirment les propos de Vaivre-Douret (2019) (présentée plus haut, sur une cohorte de 725 enfants HP) où une faible estime de soi était significativement liée à une humeur triste.

Nous constatons que la dépression chez les enfants HP revient souvent et est significativement liée au domaine scolaire, mais nous nous interrogeons sur ces résultats. Si les classes spécialisées ne sont pas constituées essentiellement d'enfants HP avec un profil de QI hétérogène, puisque nous avons vu plus haut que ceci joue un rôle très important dans l'association des troubles ; auraient-ils été similaires chez

des enfants HP qui ne fréquentent pas des classes spécialisées ? Les auteurs ont d'ailleurs souligné la limite du lieu de recrutement même s'ils ont essayé de contrôler différents biais méthodologiques. Ils ont aussi fait des rapprochements entre le profil psycho-affectif qui s'est avéré à la CBCL, dans la dépression, et le milieu scolaire. En effet, d'un côté ils encouragent un apprentissage spécifique à ces enfants, leur permettant de s'épanouir pleinement et d'exprimer leurs potentialités. D'un autre côté, ils postulent sur l'existence d'une vulnérabilité spécifique chez ces enfants HP dans le domaine émotionnel et comportemental, puisque leurs résultats à la CBCL montrent que la dépression est fortement et significativement corrélée à l'agressivité, aux troubles de la communication, à l'hyperactivité et aux somatisations. Ceci souligne ainsi l'importance de la dysrégulation émotionnelle et de son retentissement sur les autres symptômes. Bénony et al. (2007) mettent alors ces résultats en lien avec l'hypersensibilité émotionnelle qui serait caractéristique des enfants HP selon eux et selon d'autres études présentées plus haut.

A l'inverse, une étude comparative italienne (Alesi et al., 2015) a montré des résultats divergents. Elle s'est intéressée à l'analyse de la présence ou non de dépression systématique chez les enfants HP en étudiant les caractéristiques psycho-affectives. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de cent-quatre enfants tout-venant, âgés de neuf ans et demi en moyenne, recrutés tous dans des écoles publiques. Trois sous-groupes ont été constitués : groupe d'enfants avec intelligence très faible (score < 15 Percentile aux Matrices de Raven ; n=25), enfants avec intelligence moyenne ($35 \leq \text{scores aux Matrices de Raven} \leq 75$ Percentile, n=62), et enfants HP (score aux Matrices de Raven > 88 Percentile ; n=17). L'estime de soi a été évaluée par le questionnaire multidimensionnel de l'estime de soi (TMA ; Bracken, 1992), l'anxiété et la dépression ont été évaluées par l'auto-questionnaire (SAFA ; Cianchetti & Fancello, 2001) visant à évaluer la santé mentale. Les résultats ont montré des différences significatives entre le groupe d'enfants ayant une intelligence faible et les enfants HP ; le premier groupe montrait une estime de soi significativement plus faible que les HP. Au regard des symptômes d'anxiété, les enfants ayant une intelligence faible ont montré un niveau d'anxiété scolaire et un niveau d'humeur dépressive significativement plus élevé que les enfants ayant une intelligence moyenne et les enfants HP. De plus, une corrélation positive significative entre l'anxiété scolaire, l'humeur dépressive et le sentiment d'insécurité a été retrouvée dans le groupe d'enfants ayant un niveau d'intelligence moyenne et faible. Les enfants HP

présentaient un profil émotionnel caractérisé par une estime de soi significativement plus élevée et des scores significativement plus faibles au niveaux de la dépression que les enfants avec une intelligence faible. Si ces résultats apportent un éclairage à ce sujet, quelques limites sont à considérer, à savoir la petite taille des échantillons des enfants HP (n=17), la définition du HP qui est ici basée essentiellement sur un test de QI non verbal (Matrices de Raven), et le jeune âge des enfants, car comme les auteurs (Alesi et al., 2015) l'ont mentionné, l'estime de soi est généralement assez élevée et instable pendant l'enfance (Trzesniewski et al., 2003). De façon contradictoire, Weismann-Arcache (2011) affirme que le HP est fréquemment et « *implicitement* » associé à la dépression et à l'anxiété. L'auteur évoque aussi des liens systématiques avec des troubles de l'estime de soi, des difficultés de séparation avec la mère, des troubles du sommeil, l'ennui et l'introversion sociale. Weismann-Arcache (2013) s'est basée sur des tests projectifs (Rorschach, TAT) auprès de treize enfants HP (WPPSI-III) âgés de trois à six ans, recrutés en consultation (motif : ennui et inadaptation scolaire dès la maternelle). L'ensemble de ces tests a montré, de façon totalement empirique, des angoisses de séparation, des troubles des conduites et des comportements, et des symptômes de dépression (DSM-IV). Il convient de noter que cette étude ne permet aucunement de généraliser ces résultats sur tous les enfants HP tout-venant, étant donné qu'elle provient de données empiriques sur un petit échantillon consultant sans aucune validation scientifique.

Par ailleurs, Mueller et Winsor (2018) proposent un modèle théorique qui s'inscrit à la fois dans le cadre de la théorie de l'ajustement social et le Modèle différencié de douance et de talent de Gagné (2009). Ce modèle est destiné selon Mueller et Winsor (2018) aux praticiens afin de mieux comprendre les relations interpersonnelles et intra-personnelles, les facteurs environnementaux, les risques développementaux, ainsi que les facteurs dits protecteurs de dépression chez les enfants HP. Ainsi, à partir de ses différents travaux empiriques tels que Mueller et Haines (2012), Mueller et Winsor (2016, 2018), Mueller (2009). En effet, une des études sur lesquelles s'est basé ce modèle est celle de Mueller (2009). L'auteur s'est basé sur une validation d'échelle d'évaluation visant à interroger les participants sur d'éventuels symptômes de dépression. L'échantillon était constitué d'une cohorte importante de jeunes âgés de douze à dix-huit ans (762 HP et 762 non-HP), issus d'une cohorte d'étude longitudinale antérieure sur la santé des jeunes HP. Les résultats ont montré que les jeunes HP étaient significativement moins dépressifs que

les non-HP et que cela serait lié à des facteurs de protection telles que de meilleures capacités de résilience. Ainsi, Mueller et Winsor (2018) ont essayé d'enrichir la réflexion autour de ce sujet en proposant le modèle théorique qui défend l'idée que d'un côté, les enfants HP disposeraient de meilleures capacités d'introspection personnelle et de résilience (facteurs protecteurs). D'un autre côté, l'hypersensibilité et la dyssynchronie intellectuelle/psychomotrice et affective joueraient le rôle de facteurs de risque et seraient peut-être à l'origine de la dépression trait décrite souvent chez les enfants HP (Mueller & Winsor, 2018). De plus, les facteurs culturels et environnementaux, la pression de devoir être toujours « HP-Parfait » contribueraient à un risque de dépression et de suicide chez les HP. Les auteurs précisent alors qu'il est primordial que les parents, les enseignants et les cliniciens soient sensibles à ces différents paramètres, soulignant aussi l'importance de l'identification du HP. L'ensemble de ces éléments constituent conjointement des facteurs de risque et des facteurs protecteurs permettant un bon ajustement social aux enfants HP, leur permettant ainsi d'exprimer leurs potentialités conformément au modèle différenciateur de la douance de Gagné (figure 29). Cette idéologie est complètement théorique sans aucune validation statistiquement significative. Elle se base en plus sur la dyssynchronie développementale (intellectuelle/ psycho-affective et psychomotrice de Terrassier) qui semble retrouver ses limites face aux études robustes qui ne présentent pas de biais méthodologiques tels que nous les avons présentés plus haut. Cependant, les stratégies de prévention que les auteurs évoquent apparaissent intéressantes et méritent d'être intégrées dans la pratique clinique pour les enfants HP présentant des symptômes de dépression.

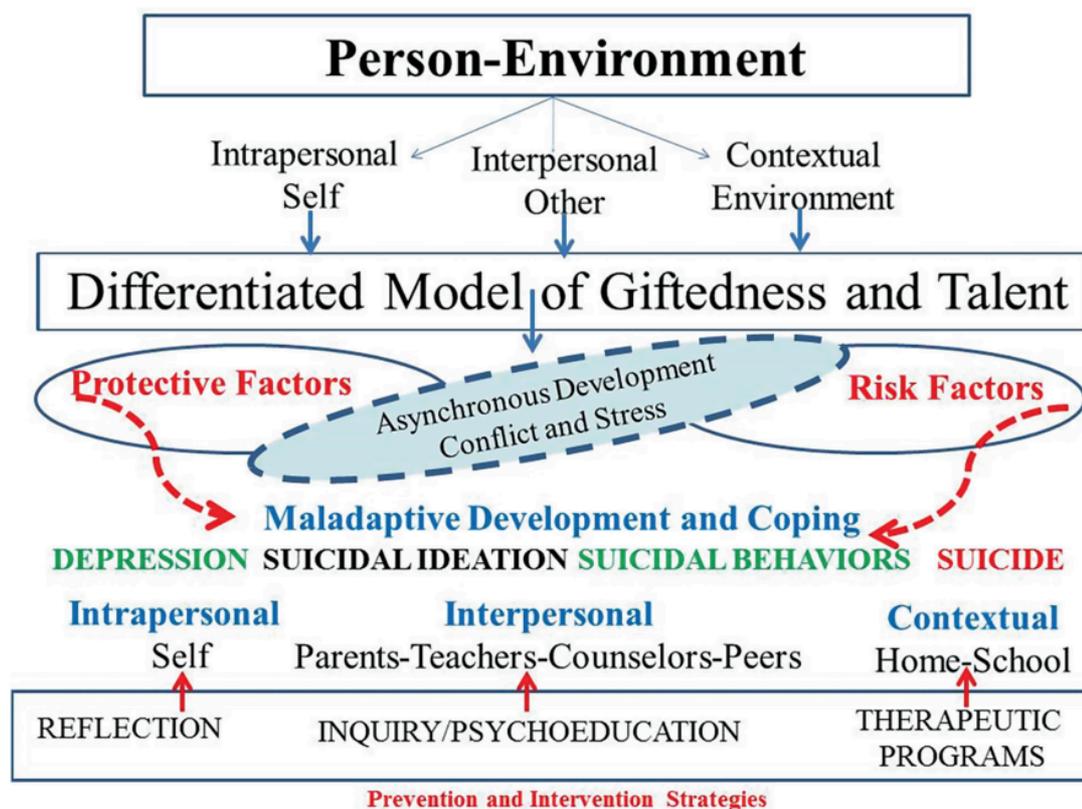


Figure 29: Modèle intégré des mécanismes de la dépression chez l'enfant HP (Mueller & Winsor, 2018)

Une autre étude descriptive américaine (Karpinski et al., 2018) s'est appuyée sur le cadre de la théorie « d'Overexcitabilités » de Dabrowski (1964) pour mener une enquête auprès d'un grand échantillon (n=2213 ; 60 % d'hommes et 40% de femmes ; âgés entre 18 et 91 ans). Les participants ont été recrutés dans l'organisation internationale (Mensa) dont le seul critère d'y accéder est d'avoir un QI supérieur au quatre-vingt dix-huitième percentile à un des tests d'intelligence connus. Les questions couvraient les cinq domaines de l'hyperexcitabilité (intellectuel, psychomoteur et corporel, sensuel, et émotionnelle). Les participants ont été invités à déclarer eux-mêmes la prévalence des troubles de l'humeur et de l'anxiété diagnostiqués et/ou suspectés, mais également des troubles neurodéveloppementaux (TDAH, TSA), et des maladies organiques telles que les allergies, l'asthme et les maladies auto-immunes. Le niveau d'intelligence de tous les participants a été évalué à l'aide de différents tests psychométriques, mais les auteurs n'ont pas explicité le type d'évaluation. Les résultats ont mis en évidence l'association significative entre les personnes ayant une capacité intellectuelle élevée (98^{ème} centile d'intelligence) et des « surexcitabilité » dans divers domaines. Les auteurs attestent que cette « surexcitabilité » peut prédisposer les sujets ayant une intelligence supérieure (décrits comme des individus ayant un *hyper-cerveau*) à certains troubles

psychologiques/psychiatriques (dépression, trouble bipolaire, TSA, TDAH) ainsi qu'à des conditions physiologiques impliquant des réponses sensorielles élevées et des réponses immunitaires et inflammatoires altérées (*hyper corps*) (figure 30). Les auteurs ont conclu sur la considération du QI élevé comme étant un facteur de risque potentiel de troubles notamment psychopathologique, particulièrement la dépression, l'anxiété et les troubles neurodéveloppementaux. Cependant, plusieurs limites sont à prendre en compte : absence de groupe contrôle de comparaison, les participants n'ont pas reçu le même test d'intelligence, ils sont considérés HP sur la base d'un seul critère qui est le QI, ils ont déclaré eux même s'ils étaient atteints de maladies ou non sans aucune évaluation clinique objective. De plus, les participants ont estimé eux-mêmes de façon totalement subjective s'ils étaient hypersensibles au niveau émotionnel, sensoriel, et organique. Ceci remet en question la fiabilité de mesure. Il apparaît alors difficile de faire des raccourcis entre intelligence et maladies qu'elles soient organiques ou mentales.

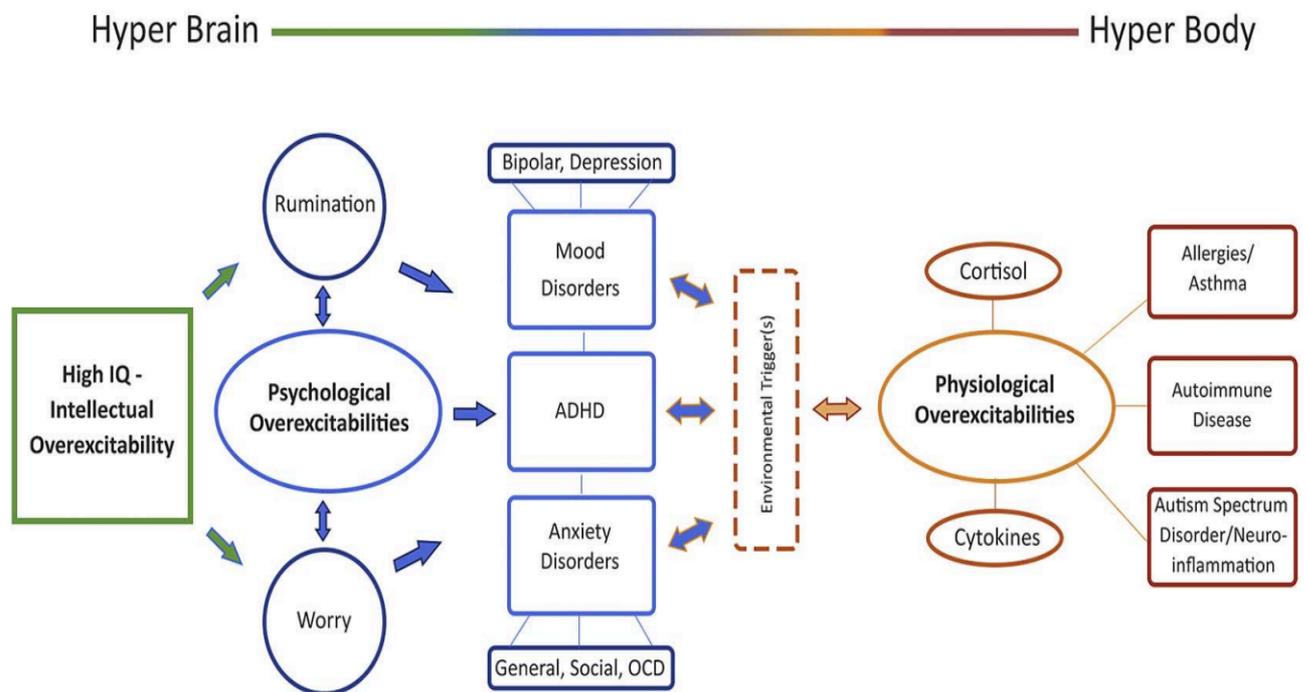


Figure 30: Théorie d'hyper-cerveau/ hyper-corps (Karpinski et al., 2018).

Résumé du Chapitre 6 : Haut Potentiel et troubles :

Un constat très clair dans la revue de littérature est celui lié à l'absence de consensus sur la définition du HP, ce qui rend à la fois l'identification clinique et la comparaison des résultats de recherche difficiles. Cette difficulté à laquelle nous nous sommes confrontés peut-être majorée par les différences interindividuelles, mais aussi par la présence de troubles associés. Il existe de nombreuses études s'intéressant aux troubles déficitaires de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) et aux troubles du spectre de l'autisme (TSA) chez les enfants HP. En revanche, hormis ce travail, il n'existe aucune étude à notre connaissance s'intéressant à l'évaluation standardisée et normée des praxies chez les enfants HP. Ainsi, la littérature scientifique concernant l'analyse et la compréhension du tableau clinique des troubles développementaux de la coordination (TDC) chez les enfants HP est très pauvre.

Les résultats des études existantes sont contradictoires. Certains auteurs considèrent le HP comme un facteur de vulnérabilité aux troubles neurodéveloppementaux (TSA, TDAH, etc.) et/ou aux troubles psychopathologiques (dépression, anxiété, etc.). D'autres, considèrent au contraire le HP comme un facteur protecteur face à ces troubles. Les principales raisons liées à ces résultats contradictoires résident dans le biais de représentativité des échantillons utilisés. En effet, il apparaît très difficile de recruter des enfants HP tout-venant ce qui amènent souvent les auteurs à s'orienter vers des consultations ou dans des associations d'aide. Cependant, il est important de prendre les résultats issus de ces études avec prudence de manière à ne pas les généraliser sur les enfants HP tout-venant.

Un autre constat est important à mettre en exergue dans l'analyse de la revue de littérature est celui lié à l'absence d'évaluation multidimensionnelle des fonctions. Ceci amène dans certains cas à faire des raccourcis pas très justifiés et/ou à tirer des conclusions très réductrices.

Problématique et objectifs

1. Problématique

Le Haut Potentiel est un sujet d'actualité, désormais reconnu au sein de l'Éducation nationale, mais qui reste très controversé. La littérature scientifique met en exergue plusieurs constats justifiant la mise en place d'une recherche portant sur la thématique du phénotypage. Premièrement, les études s'intéressant au Haut Potentiel montrent des résultats divergents et parfois subjectifs. Cela est lié à différentes raisons notamment la multitude de méthodologies utilisées, l'existence d'un biais de représentativité en lien avec la généralisation des résultats issus d'études portant sur des échantillons cliniques. Deuxièmement, les travaux sur les enfants HP sont variés, mais ceux s'intéressant à l'étude des fonctions motrices ont commencé à évoluer que depuis un peu plus de dix ans. Il n'existe cependant pas à notre connaissance de travaux approfondis sur le phénotypage neurodéveloppemental des enfants HP, en lien avec la maturation du système nerveux central et le domaine moteur, cognitif, et psycho-socio-affectif chez ces enfants. Troisièmement, l'absence de consensus concernant la définition du HP. En effet, si le quotient intellectuel ($QI \geq 130$; Wechsler, 2016) est au cœur de la définition officielle utilisée au niveau international pour identifier les enfants HP, le seuil requis ne fait pas l'unanimité et varie entre 125 et 130 selon les études. Cette définition basée essentiellement sur le QI est très réductrice et prend le risque de laisser de côté des enfants HP. C'est d'ailleurs pour cette raison et sur les recommandations des chercheurs, que l'Éducation nationale a abandonné le terme « Haut Potentiel Intellectuel », basé uniquement sur le QI, pour laisser place au terme « Haut Potentiel ». Ceci souligne l'importance de prendre en compte d'autres caractéristiques chez ces enfants. Or, ces caractéristiques restent mal définies aujourd'hui. Enfin, les études existantes tentent d'apporter un éclairage au sujet du Haut Potentiel en étudiant partiellement et indépendamment les différentes fonctions neuropsychologiques, psychomotrices et psycho-affectives. Mais, pour comprendre le fonctionnement physiologique de l'enfant HP tout-venant, il serait pertinent d'étudier de manière multidimensionnelle les différentes fonctions afin de mettre en évidence les mécanismes sous-jacents. Par conséquent, bien qu'il soit complexe à mettre en place, seul le phénotypage neurodéveloppemental du HP permet de comprendre son profil d'efficacité intellectuelle, au regard de son fonctionnement neuropsychologique, neuropsychomoteur, neurovisuel, et socio-psycho-affectif. Cela permettrait de mieux

définir le Haut Potentiel et d'en proposer éventuellement un modèle théorique pouvant aider à mieux identifier les enfants HP.

Par ailleurs, les différences interindividuelles rendent l'identification du HP plus difficile. Cette difficulté peut être majorée par les troubles d'apprentissage non diagnostiqués, pouvant diminuer certains indices du QI et donc la valeur du QIT (Boschi et al., 2016 ; Guénolé et al., 2015 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020 ; Loureiro et al., 2009, 2013 ; Tordjman et al., 2018 ; Tordjman & Kermarrec, 2019 ; Terriot, 2018 ; Tursz & Vaivre-Douret, 1999 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020). D'ailleurs, les recherches cliniques françaises notamment celles du centre national d'aide pour enfants et adolescents à haut potentiel (CNAHP) soulignent la fréquence importante des problèmes scolaires (76,6 %) dans une population de 611 enfants HP consultants (Tordjman et al., 2018). Cette étude précise que les troubles d'apprentissages étaient identifiés comme le premier motif de consultation. Ces constats soulignent non seulement le besoin de mieux définir le Haut Potentiel pour pouvoir mieux l'identifier, mais aussi la nécessité d'investiguer de plus près la sémiologie des troubles d'apprentissage et des troubles psychologiques chez ces enfants comparés aux enfants non-HP. En effet, il existe d'importantes divergences entre les auteurs qui montrent une association systématique entre le Haut Potentiel et les troubles (Bénony et al., 2007 ; Karpinski et al., 2018 ; Kermarrec et al., 2020) et ceux qui au contraire ne montrent pas de différence significative entre les enfants HP et non-HP concernant la prévalence et les la sémiologie des troubles, si ce n'est de meilleures capacités de compensation, de résilience, d'ajustement socio-émotionnel et d'introspection (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020 ; Milgram et al., 1976 ; Vaivre-Douret et al., 2020 ; Zeidner & Shani-Zinovich, 2011).

L'ensemble de ces éléments nous amène à formuler différentes questions de recherche : Existe-il une trajectoire développementale spécifique aux enfants HP ? Existe-il des caractéristiques neuropsychologiques, neurovisuelles, neuromotrices ou encore socio-psycho-affectives spécifiques à ces enfants ? Quelles mesures prédisent-elles mieux le Haut Potentiel ? Le QI est-il suffisant pour identifier le HP ? D'ailleurs, qu'elle est l'influence des variables environnementales sur les indices et les subtests du QI ? Quels sont les subtests les plus sensibles pour identifier un enfant HP ? Le style de traitement de l'information est-il différent de celui des enfants non-HP ? Comment peut-on mieux définir et donc mieux identifier le Haut Potentiel ? Comment peut-on mieux comprendre les mécanismes physiologiques sous-jacents ?

Au niveau pathologique, les caractéristiques cliniques des troubles neurodéveloppementaux, particulièrement le trouble développemental de la coordination (TDC), chez les enfants HP seraient-elles similaires à celles des enfants non-HP ? L'analyse des profils de QI (homogène/hétérogène) est-elle pertinente à prendre en compte dans la compréhension des profils des enfants en général ? La dyssynchronie cognitive/psychomotrice et psycho-affective décrite dans la littérature est-elle un fait développemental du HP ou le reflet de certaines anomalies ?

Pour répondre à ces questions, nous avons mené deux études principales tentant de distinguer les caractéristiques du HP chez un groupe consultant comparé à un groupe tout-venant non-consultant, au regard des groupes témoins non-HP (tout-venant et consultants). Dans ce contexte, nous avons d'abord cherché à comprendre le fonctionnement des enfants HP tout-venant (n=50) appariés aux enfants non-HP (n=30), sur le plan neuropsychologique, neuropsychomoteur, neurovisuel et psychosocio-affectif (Étude-1). Ensuite, afin d'éclaircir la question de la maladresse ou la dyssynchronie cognitive/psychomotrice des enfants HP, souvent avancées au sein de la clinique et de l'Éducation nationale, nous avons comparé deux groupes d'enfants avec trouble développemental de la coordination-(TDC/dyspraxies), antérieurement évalués par la WISC-IV^{FR} : enfants HP (n=19) et enfants non-HP (n=19) (Étude-2). Ainsi, le chapitre suivant portera sur la présentation de nos hypothèses théoriques et nos hypothèses de recherche.

2. Hypothèses

2.1. Hypothèses théoriques

Au regard des éléments de la revue de littérature détaillée précédemment, nous supposons quatre hypothèses théoriques principales :

- ⇒ Il existerait une trajectoire développementale spécifique aux enfants HP, qui se traduirait par des caractéristiques spécifiques au niveau neuropsychologique, neurovisuel, neuromoteur et socio-psycho-affectif.
- ⇒ La dyssynchronie cognitive/ psychomotrice et psycho-affective n'apparaîtrait pas comme un fait développemental du HP, elle serait cependant le reflet d'anomalies.
- ⇒ Les caractéristiques cliniques des troubles neurodéveloppementaux, particulièrement le trouble développemental de la coordination (TDC), chez les enfants HP seraient similaires à celles des enfants non-HP.
- ⇒ L'analyse du QI (homogène/hétérogène) joue un rôle important dans la compréhension des profils des enfants en général.

2.2. Hypothèses opérationnelles de recherche

Avec le type de groupe (HP vs non-HP) comme variable indépendante, les scores à l'examen d'évaluation clinique standardisée et normée des fonctions neuropsychomotrices, neuropsychologiques et neurovisuelles, socio-psycho-affectives, ainsi que les réponses aux questionnaires et les données d'anamnèse, comme variables dépendantes, nous formulons les hypothèses opérationnelles de recherche suivantes :

- ⇒ Les scores quantitatifs et qualitatifs aux examens développementaux, standardisés et normés (neuropsychologiques, neurovisuels, neuromoteurs, psycho-socio-affectifs et données d'anamnèse) seront significativement différents entre les enfants HP tout-venant et non-HP tout-venant.

- ⇒ Chez les enfants HP tout-venant, la trajectoire développementale motrice ne serait pas significativement différente de la trajectoire cognitive et psycho-affective. Ces trajectoires seraient en revanche significativement différentes de celles des enfants non-HP tout-venant.
- ⇒ L'examen oculométrique (Eye-Tracking) montrera des scores de précision et de gain significativement supérieurs chez les enfants HP tout-venant comparés aux enfants non-HP tout-venant. Ainsi, le score d'erreur d'entropie sera significativement plus faible chez les enfants HP tout-venant.
- ⇒ L'investigation multidimensionnelle de l'ensemble de ces fonctions permettra de valider significativement un modèle sensible et spécifique à l'identification du Haut Potentiel.
- ⇒ Enfin, le tableau clinique de TDC (selon les critères du DSM-5) ne serait aucunement significativement différent entre les enfants HP et non-HP avec TDC. En revanche, des liens significatifs seraient établis avec le profil de QI (homogène/hétérogène).

3. Objectifs

3.1. Objectif principal

Aux vues de ces considérations, l'objectif principal de notre recherche est double : Il est nécessaire de commencer par des investigations développementales permettant le phénotypage du Haut Potentiel dans un groupe de participants tout-venant non-consultants. Le but est d'abord de mieux comprendre le profil physiologique des enfants HP (première étude). Ce phénotypage sera effectué sur une population d'enfants HP âgés de 7 à 13 ans, sans troubles neurodéveloppementaux et/ou psychologiques. Cet objectif s'inscrit dans une approche clinique multidimensionnelle, non invasive, basée essentiellement sur des tests développementaux, standardisés et normés confrontés à l'anamnèse. Dans un second temps, nous chercherons à mieux comprendre la sémiologie de TDC chez les enfants HP comparés aux non-HP afin de répondre à la question de dyssynchronie cognitive/psychomotrice (deuxième étude).

L'originalité de notre étude consiste en une approche développementale, multidimensionnelle et fine grâce à l'utilisation d'un ensemble d'outils cliniques et oculométriques standardisés et normés. Ce qui permet d'investiguer et de comprendre la trajectoire du développement et les mécanismes sous-jacents au HP.

3.2. Objectifs secondaires

Nos objectifs secondaires sont les suivants :

- Grâce au phénotypage multidimensionnel et neurodéveloppemental du HP, nous visons à mieux comprendre les profils d'efficacité intellectuelle à l'échelle de Wechsler (QI homogène vs hétérogène) ;
- Par ce même biais, mieux identifier les mécanismes en jeu dans l'organisation de la trajectoire développementale des enfants HP au regard des connaissances actuelles dans le domaine de la neuropsychologie clinique, de la neurophysiologie et dans le domaine des neurosciences ;
- Confronter la trajectoire développementale psycho-affective à la trajectoire du développement cognitif et moteur ;
- Mettre en exergue les épreuves des tests cliniques normés et standardisés les plus prédicteurs du HP ;
- Déterminer les indices de QI les plus influencés par les facteurs environnementaux ;
- Déterminer les corrélations entre les indices de QI et les résultats eux épreuves, ainsi qu'avec les données sociodémographiques ;
- Analyser le QI afin de comprendre si la démarche clinique la plus pertinente est celle le considérant sous forme de continuum ou sous forme de valeur catégorielle (HP, déficience intellectuelle, et norme) ;
- Vérifier si la dyssynchronie psychomotrice et psycho-affectif par rapport au développement cognitif (QI) concerne tous les enfants HP ou serait le reflet de l'altération de certaines fonctions ;
- Analyser finement les profils du domaine moteur en fonction des autres domaines (neuropsychologiques et neurovisuels, cognitifs et psycho-socio-affectifs).
- Vérifier statistiquement la méta-analyse issue de la revue de littérature analysée dans ce travail afin de faire la différence entre HP tout-venant et HP avec troubles. Le but est d'éclaircir les confusions qui semblent y avoir en raison des biais méthodologiques et des limites que nous avons exposés précédemment.

Ainsi, cette recherche est constituée de deux études principales : A). Phénotypage et proposition de modèle neurodéveloppemental du Haut Potentiel. B). Tableau clinique du trouble développemental de la coordination (TDC) chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP avec TDC.

Méthodologie scientifique

Étude 1 : Phénotypage et proposition de modèle neurodéveloppemental du Haut Potentiel

La méthodologie présentée ici a fait l'objet d'une déclaration de recherche clinique appliquée, non invasive, qui a été approuvée par le comité d'éthique institutionnelle de l'Université de Paris Cité sous la référence CER-PD 2019-93. Tous les participants ont été informés par une lettre d'information (Annexe 1) destinée aux parents et une autre aux enfants, et ils ont tous donné leur consentement éclairé écrit avant de commencer l'étude (Annexe 2), signé par eux-mêmes et par un parent ou un représentant légal, la signature des deux parents a été exigée en cas de procédure de divorce.

1. Population

Pour réaliser notre première étude transversale, rétrospective et expérimentale, nous avons constitué un échantillon de 80 enfants : un groupe de 50 enfants HP ($QI \geq 130$) avec 38% de filles ($n=19$) apparié à un groupe de 30 enfants neurotypiques ($85 \leq QI \leq 115$) avec 43% de filles ($n=13$). Les deux groupes ont été appariés sur le sexe et l'âge, l'ensemble des enfants de notre population sont âgés de 7 à 13 ans [*Moyenne*=127 mois (10 ans et demi) ; *Écart-Type*=20 mois], sans différence significative entre les deux groupes ($t=1.69$, $ddl=78$, $p=0.86$, [IC à 95% = -0.69 à 16.94]). Le tableau ci-dessous montre la répartition de l'échantillon en fonction du sexe et de l'âge. Il n'existe pas de différence significative entre le groupe HP et non-HP concernant la répartition des filles et des garçons par rapport à nos variables ($\chi^2(1) = 3.2$, $p = 0.1$, [IC à 95% = 0.09 à 0.1]). Par conséquent, nous traitons l'ensemble des données uniquement au regard des groupes (HP et non-HP) et du profil de QI (homogène/hétérogène).

Tableau 6: Répartition de l'échantillon d'étude (groupe d'enfants HP et non-HP) en fonction du sexe et de l'âge.

		Sexe						Age	
		Total		Filles		Garçons		Moyenne	Ecart type
		Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%		
HP vs non-HP	Non-HP	30	100%	13	43.33%	17	56.67%	129,81	22,92
	HP	50	100%	19	38%	31	62%	131,44	18,09
	Total	80	100%	32	100,0%	48	100,0%	127,04	20,81

1.1. Lieux et modalités de recrutement

• Procédure de pré-inclusion

La pré-inclusion des enfants HP dans l'étude s'est effectuée en trois temps : Dans un premier temps, l'information sur l'étude a été faite oralement sous forme de conférence lors de la réunion de pré-rentree de l'année scolaire 2019-2020 et 2020-2021 dans des écoles à Paris. A cette réunion, les enseignants, les chefs d'établissement et les parents d'élèves étaient présents. L'intérêt de l'étude et la procédure ont été expliqués. Les parents ou représentants légaux pouvaient refuser la participation de leur enfant. Aucun refus n'a été relevé. Dans un deuxième temps, des lettres d'information pour enfants et parents (Annexe 1) et des formulaires de consentement éclairé (Annexe 2) ont été fournis au chef d'établissement qui les a distribués aux enseignants pour les transmettre aux parents ou représentants légaux. Ces derniers avaient la possibilité de joindre par téléphone ou par e-mail l'investigatrice de l'étude pour toute demandes d'informations complémentaires. L'acceptation de participation à l'étude se faisait par retour du formulaire de recueil de consentement éclairé. Dans un troisième temps, d'autres participants HP tout-venant, non identifiés au préalable, issus de l'entourage des premiers participants ont rejoint le protocole en suivant la même démarche d'information et de consentement. Généralement, ces derniers étaient issus de différentes écoles publiques et privées d'Île de France. Nous avons envisagé un recrutement de trente enfants HP, mais grâce aux premiers rendez-vous qui se sont très bien déroulés, nous avons eu plus de retour que prévu. Ainsi, nous avons pu recruter soixante enfants HP, mais seulement cinquante remplissaient les critères d'inclusion (figure 29).

Concernant les enfants non-HP tout-venant, l'information sur l'étude a été faite oralement aux parents ou représentants légaux lors des sorties d'école (les mêmes

que celles où nous avons recruté les enfants HP), dans des parcs, en ville et dans les transports en commun. Les parents qui acceptaient de savoir plus sur l'étude, nous leur avons transmis par écrit l'information (lettre d'information et formulaire de consentement). L'acceptation de participation à l'étude se faisait par retour du formulaire de recueil de consentement éclairé. Sur un ensemble de quarante-cinq participants collectés, seulement trente-sept nous ont fait un retour favorable de participation et uniquement trente ont rempli les critères d'inclusion (figure 29). Le recrutement des participants tout-venant et particulièrement des enfants HP tout-venant a été très difficile pour différentes raisons. Premièrement, dès lors que les enseignants et/ou directeurs d'écoles apprennent qu'il s'agit d'enfants tout-venant sans difficultés ou troubles d'apprentissage avérés, ils cessent de répondre à nos sollicitations. En revanche, ils montraient un intérêt, voire un besoin de participation à la partie de l'étude s'intéressant aux troubles. Nous avons dû appuyer par des courriers et des visites sur place pour pouvoir obtenir des réponses. Deuxièmement, nous avons dû passer par plusieurs étapes de sélection de l'échantillon car nous nous sommes rendues compte qu'il existe un réel risque de biais méthodologique, lié à l'inclusion d'enfants avec des troubles d'apprentissage non identifiés. J'ai d'ailleurs beaucoup appris de l'entretien clinique et de la finesse d'investigation. Troisièmement, nous avons dû nous adapter à la situation sanitaire de la pandémie COVID-19, au confinement et à la disponibilité des parents et des enfants. Nous étions alors obligées de travailler les weekends, des fois les soirs et pendant les vacances afin de garantir la continuité des inclusions et un protocole scientifique le plus rigoureux possible.

- **Procédure d'inclusion**

Le recrutement des enfants HP (n=50) a été effectué dans différentes écoles publiques (47%) et privées (53%) en île de France. Bien que notre intention ait été initialement de recruter des groupes équivalents, nous avons constaté que le recrutement aléatoire des enfants HP est extrêmement difficile étant donné que les enfants HP dans une population générale sont de 2% (Wechsler, 2016). Ceci revient à évaluer aléatoirement 100 enfants pour en repérer 2 HP, c'est-à-dire 2500 évaluations aléatoires pour obtenir un échantillon de 50 enfants HP. Ce qui est difficilement réalisable lors de cette thèse de trois ans. Nous nous sommes alors dirigés vers la stratégie de recrutement suivante : Dans un premier temps, nous nous

sommes dirigés vers des écoles privées. Dans ces dernières, nous avons recruté des enfants HP dans des classes spéciales pour enfants HP, sans aide scolaire particulière, pour qui nous avons attesté d'un $QI \geq 130$ par l'échelle d'intelligence de Wechsler (WISC-V ; Wechsler, 2016). Ces mêmes enfants ont pu nous faire connaître certains de leurs amis ou connaissances, scolarisés en milieu ordinaire à l'école publique, pour lesquels nous avons aussi réalisé un WISC-V avec leur accord et le consentement de leurs parents. QI qui a pu attester de leur efficacité égale ou supérieure à 130.

Les enfants ayant eu un $QI < 130$ ($n=5$) ont été exclus de cette étude. Pour les enfants ayant déjà eu un test de WISC pour accéder aux classes d'enfants HP, si la date du WISC effectué est supérieure à 2 ans alors une réévaluation de QI a été administrée de nouveau. Lorsque le QI s'avérait en baisse, il a été annoncé aux parents en explicitant ce qu'est la photographie d'un test de quotient intellectuel à un moment donné et que les scores varient en fonction des éditions des tests. De plus, il a été expliqué au regard des évaluations complémentaires réalisées que les parents comme l'enfant sont libres de garder ces informations de façon confidentielles. Lorsqu'un trouble ait été découvert de façon fortuite, notre équipe clinique référente dont l'investigateur de recherche est moi-même ainsi que le Pr. Laurence Vaivre-Douret, se sont chargées gracieusement d'en discuter avec l'enfant et les parents de façon confidentielle, et les ont orientés pour les prises en charge préconisées. En revanche, si les parents refusaient d'être mis au courant de découvertes fortuites, ils ne pouvaient pas participer à cette étude et les données du participant sont exclues du traitement de données.

Le recrutement des enfants non-HP neurotypiques ($n=30$) a été effectué de façon aléatoire dans des parcs, devant les écoles, dans les centres commerciaux, et d'autres participants nous ont spontanément contacté par le biais de l'entourage des collègues et des voisins. Les premiers participants recrutés ont pu nous faire connaître certains de leurs amis pour lesquels nous avons réalisé un WISC-V avec leur accord et le consentement de leurs parents. QI qui a pu attester de leur efficacité dans la norme $85 \leq QI \leq 115$ (Wechsler, 2016). Les enfants ayant eu un $QI < 85$ ($n=1$) ou un $QI > 115$ ($n=6$) ont été exclus de cette étude. De la même façon que dans le groupe d'enfants HP, lorsqu'un trouble ait été découvert de façon fortuite, notre équipe clinique

référénte s'est chargée gracieusement d'en discuter avec l'enfant et les parents de façon confidentielle, et les ont orientés pour les prises en charge préconisées.

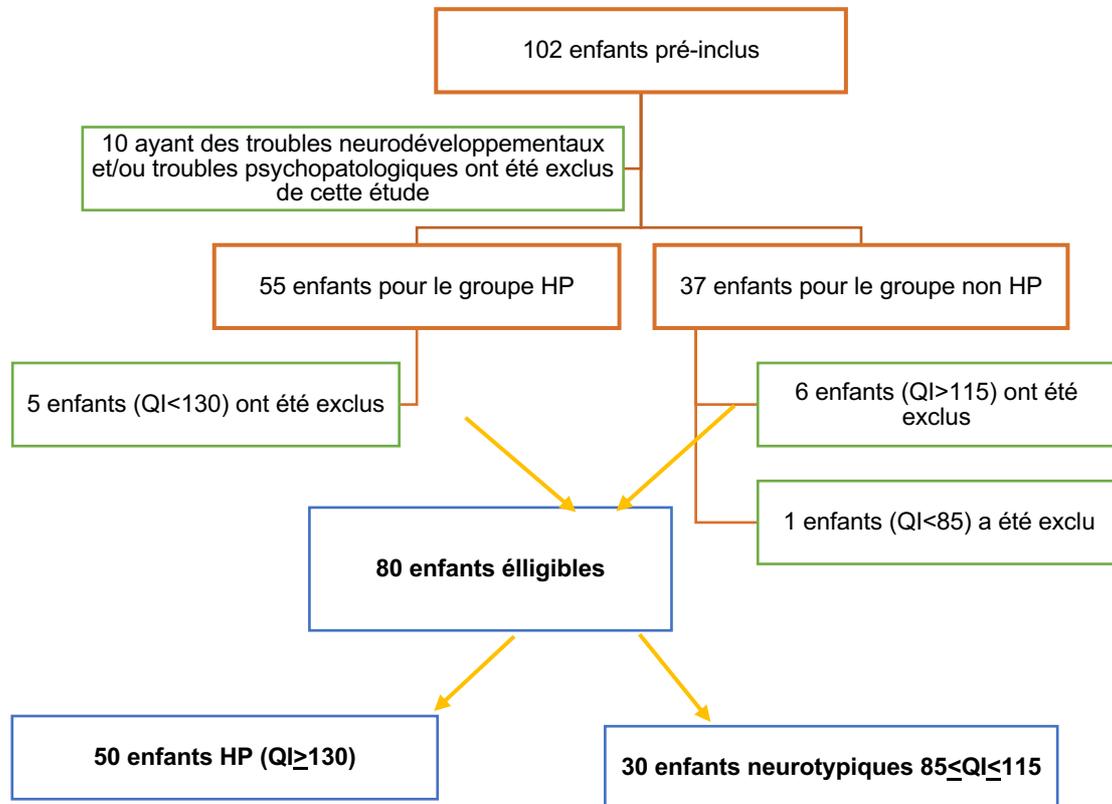


Figure 31: Schémas de recrutement des participants de l'étude du phénotypage et proposition de modèle neurodéveloppemental du Haut Potentiel.

• Localisation de l'étude

L'étude s'est déroulée dans la salle clinique sur le site de l'hôpital Necker au sein de la plateforme de phénotypage neuro-développemental de l'équipe de recherche NDTA « Neuro-développement et troubles des apprentissages », INSERM 11018-CESP, dirigée par le Pr. Laurence Vaivre-Douret. Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Carré Necker, 1 Bis, 149 rue de Sèvres 75015 Paris, France.

1.2. Considérations éthiques : Anonymat, respect et confidentialités des données

Nous avons précisé aux parents, dans la lettre d'information (Annexe 1), que toutes les données collectées concernant leur enfant seront analysées, traitées et conservées de manière totalement anonyme et strictement confidentielles dans le cadre des travaux de recherche de l'équipe « Neuro-développement et troubles des apprentissages » du Pr. Laurence Vavre-Douret, INSERM 11018-CESP, au Centre Hospitalier Universitaire Necker-Enfants Malades de Paris. Dans le cadre de la recherche, certaines données cliniques feront l'objet d'un traitement informatique en respectant la Loi « Informatique et Liberté » du 06 Janvier 1978. Ces données restent strictement confidentielles dans le cadre du laboratoire de l'unité Inserm UMR 1018 de Necker. La lettre d'information indique également aux parents le droit d'accès et de rectification des données les concernant (article 40). Dans les communications et les publications scientifiques et/ou médicales, l'identité des participants n'apparaîtra en aucune façon.

1.3. Critères d'inclusion/ exclusion pour chaque groupe

Les critères d'inclusion dans notre étude ont été stricts afin de minimiser des facteurs de confusion : les enfants présentant un déficit sensoriel, des anomalies visuelles (e.g. strabisme, nystagmus), un diagnostic de trouble du langage, un diagnostic de trouble neurodéveloppemental, une maladie génétique et/ou psychiatriques (selon les critères du DSM-5) (APA, 2013), des anomalies médicales générales, des lésions cérébrales traumatiques, des difficultés scolaires repérées par les enseignants et/ou par les parents, et/ou des troubles des apprentissages (n=10), ont été exclus de cette étude. De même, aucun enfant de l'échantillon n'est né prématurément (< 37 semaines) et aucun ne suit une prise en charge thérapeutique ni médicamenteuse. Afin de nous assurer de l'absence de critères d'exclusion chez les enfants recrutés, nous avons vérifié le carnet de santé pour chacun. Nous nous sommes également basées sur l'entretien d'anamnèse en tenant compte des critères du DSM-5, ainsi que sur les examens complémentaires qu'ils soient somatiques (ophtalmologique, ORL, neurologique, etc.) ou psychologiques. Nous présentons ci-après les critères d'inclusion/exclusion plus en détails dans chaque groupe :

- **Groupe 1 « enfants HP tout-venant »**

Critères d'inclusion

- Âgés de 7 à 13 ans ;
- $QI \geq 130$ au WISC-V^{FR}, si $QI=129$ ($n=1$) nous avons exigé un IAG (Indice d'Aptitude Générale) ≥ 130 en prenant en compte les intervalles de confiance comme recommandé dans la littérature ;
- Enfants tout-venant scolarisés en milieu ordinaire publique ou privé ;
- Sont inclus seulement les enfants dont les représentants légaux ont donné le consentement de participation éclairé ;
- Sont inclus seulement les enfants qui ont donné le consentement de participation éclairé ;
- Langue française comme langue maternelle.

Critères d'exclusion

- Aide scolaire ;
- Redoublement ;
- Surdité ou c civit  ;
- Présence de trouble psychotique selon les critères du DSM-5 (APA, 2013);
- Présence d'un handicap moteur avéré d'origine accidentel ou lésionnel ;
- Présence de pathologie génétique, neurologique ou somatique ;
- Mauvaise compréhension de la langue française ;
- Trouble du langage ;
- Trouble sensoriel avéré ;
- Présence d'un ou de plusieurs troubles des apprentissages.

- **Groupe 2 « enfants non-HP tout-venant »**

Critères d'inclusion

- Âgés de 7 à 13 ans ;
- Enfants tout-venant scolarisés en milieu ordinaire publique ou privé ;
- $85 \leq QI \leq 115$ dans la norme au WISC- V^{FR} (Wechsler, 2016) ;
- Signature par les représentants légaux et par l'enfant lui-même du formulaire de recueil de consentement ;
- Langue française comme langue maternelle.

Critères d'exclusion

- Retard ou trouble psychomoteur ;

- Présence d'un ou de plusieurs troubles des apprentissages ;
- Trouble du comportement, trouble psychotique et/ou psychopathologique (DSM-5) ;
- Redoublement ;
- Trouble sensoriel, trouble organique ;
- Pathologie génétique ou neurologique ;
- Antécédents familiaux de troubles psychiatriques sévères ;
- Présence d'un handicap moteur avéré, d'origine accidentelle ou lésionnel.

2. Bénéfices/ risques

Aucun effet indésirable n'a été attendu : La recherche s'inscrit dans un cadre clinique pluridisciplinaire, gravitant autour des évaluations non-invasives. Aucun médicament n'est prescrit ni administré. Ainsi, aucun danger n'est à noter et aucun risque spécifique n'est relevé. Il s'agit principalement de tests cliniques et de questionnaires à remplir. La participation à l'étude expose néanmoins à la découverte fortuite d'un trouble, ce qui est clairement indiqué dans la lettre d'information et la lettre de consentement. Ainsi, les parents et l'enfant sont tout à fait libres d'accepter ou de refuser de participer s'ils ne souhaitent pas être informés de cette éventualité. Ces investigations cliniques apparaissent plutôt comme un bénéfice pour l'enfant concerné et ses parents.

Les bénéfices indirects liés à cette étude sont : une meilleure compréhension du Haut Potentiel et une meilleure vision sur les particularités des enfants HP, un éclaircissement sur la différence entre HP homogènes et HP hétérogènes dans le cadre de troubles d'apprentissages ou de trouble neurodéveloppementaux. Meilleure compréhension de l'hétérogénéité de profils cognitifs et son lien ou pas avec les profils neuromoteurs de cette population. La diffusion des résultats auprès des professionnels concernés permet de mieux considérer les enfants HP. Enfin, pour les parents et l'enfant souhaitant aborder le cas particulier de ce dernier, des informations complémentaires ont pu leur être communiquées en présence du directeur de l'étude. L'enfant repart avec une attestation de participation qui est sous forme de « *diplôme d'apprenti chercheur* » (Annexe 3) édité par l'équipe de recherche de l'Inserm.

- **Contraintes liées à l'étude**

Une seule contrainte est à noter pour les parents et l'enfant : être disponible pour se rendre aux passations et prendre le temps de remplir les questionnaires.

3. Impact de la situation COVID

En raison de la période d'arrêt liée au confinement de mars à juin 2020, nous avons dû relancer les contacts pris au sein des écoles, refaire la présélection des enfants âgés de 13 ans car après la reprise ils avaient déjà 14 ans ce qui les exclues de l'échantillon. Par conséquent, les lettres d'information/ consentements ont été renvoyés. Ils ont été adaptés et validés par le comité d'éthique, soulignant très clairement « *Information Covid* » avec un questionnaire Covid (Annexe 4) permettant de contrôler la situation conformément au Décret n° 2020-521 du 5 mai 2020 (<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2020/5/5/SSAS2010803D/jo/texte>).

Nous rappelons que les passations ont été effectuées au tout début de la crise sanitaire, ne soulignant pas un effet attendu sur le développement des participants au moment de l'étude. Par conséquent, nous ne traitons pas les données au regard de la COVID-19.

4. Conflits d'intérêts

Aucun conflit d'intérêts n'est à déclarer.

5. Matériel et procédure

Nous précisons que tous les enfants ont passé les mêmes épreuves. Toutes ces dernières ont été menées par moi-même, sous la supervision du Pr. Vaivre-Douret, afin de maintenir une procédure identique et d'éviter des éventuels biais liés au recueil des données. Ce protocole étant très riche et complexe, nous avons dû nous adapter afin de mener toutes les investigations en trois ans à plein temps. Nous avons alors travaillé les weekends, les soirs et pendant les vacances afin de nous adapter aux disponibilités des participants et de mener à bien tout le protocole.

5.1. Données d'anamnèse

Nous avons élaboré un questionnaire d'anamnèse qui a été soumis à tous les participants (Annexe 5). Il permettait de recueillir des données anamnestiques à travers le carnet de santé de l'enfant, étayées par un entretien semi-directif et un questionnaire d'anamnèse rétrospectif rempli par les parents. Certaines sections du questionnaire étaient élaborées sur la base des critères du DSM-5 (APA, 2013) pour les troubles neurodéveloppementaux et psychopathologiques de façon à ce qu'on puisse d'une part déceler les éventuels troubles non diagnostiqués et d'autres part de confronter ces données aux scores quantitatifs obtenus aux tests cognitifs et psychomoteurs. Nous avons également pris en compte les recommandations de la Haut Autorité de Santé pour les soignants et professionnels en première ligne notamment pour les troubles neurodéveloppementaux.

Le questionnaire d'anamnèse portait sur la grossesse et l'accouchement, sur l'histoire familiale et médicale de l'enfant. À cela s'ajoutaient des questions portant sur l'histoire développementale (mode garde de l'enfant de sa naissance à ses 6 ans, et son comportement), le développement psychomoteur avec des repères simples qui pouvaient être étayés par les informations du carnet de santé et des photos ou films de la part des parents en cas de manque de précision sur les grands stades du développement (station assise autonome, marche autonome). D'autres questions ont porté sur les activités de la vie quotidienne (AVQ ; repas et utilisation des couverts, habillage, attacher ses lacets, etc. ; les activités ludiques ou les loisirs de l'enfant tels que les jeux de constructions, puzzles, Lego, nager, faire du vélo à deux roues, etc.), et sur les activités scolaires (copier un dessin en suivant un modèle, coloriage, découpage, écrire, lecture, être autonome pour ses devoirs, etc.). Des questions à propos du langage et de la communication (babillage, première phrase). Enfin, sur le développement psychoaffectif ont été également incluses (réaction à la frustration, anxiété, compréhension des limites, avoir des amis du même âge, présence des parents lors des devoirs, lors du bain, lors des jeux, etc.).

Les réponses aux différentes questions sont donc soit quantitatives (âge, classe), soit qualitativement dichotomiques (« oui » codé 1 ou « non » codé 0 pour des questions comme « Aime-t-il/elle dessiner ? », par exemple).

5.2. Évaluation psychométrique de l'intelligence

Pour évaluer les capacités intellectuelles de l'enfant nous avons utilisé **l'échelle de Wechsler 5e édition : la WISC-V** (Wechsler, 2016). Cette échelle est normée pour les enfants de 6 ans à 17 ans. Il s'agit d'une batterie de tests qui est composée de cinq indices principaux : Indice de compréhension verbale (ICV) ; Indice Visuospatial (IVS) ; Indice de Raisonnement Fluide ; Indice de Mémoire de Travail et Indice de Vitesse de Traitement. Chacun de ces indices est constitué de deux subtests principaux. Cette batterie présente également 5 indices complémentaires : Raisonnement Quantitatif (IRQ) ; Mémoire de Travail Auditive (IMTA) ; Non Verbal (INV) ; Aptitude Générale (IAG) ; Compétence Cognitive (ICC). La moyenne du QI total et de chaque indice est de 100, l'écart-type est de 15. La distribution des scores suit une loi normale. Un score inférieur à 70 est considéré comme déficitaire et devrait être référé à un examen complémentaire pour suspicion de déficience intellectuelle, et un score supérieur à 130 est considéré comme hors-norme (profil d'un enfant ayant un haut potentiel). Le score de chaque subtest est une note standard. La moyenne est à 10 et l'écart-type est de 3. Un score inférieur à 4 est considéré comme pathologique et un score supérieur à 15 est considéré comme hors-norme. Le temps moyen de passation de la WISC V (pour avoir les 5 indices principaux) est de 65 minutes. La consistance interne varie de 0,80 à 0,91 et la fidélité test-retest est comprise entre 0,87 et 0,93.

Pour distinguer les profils homogènes et hétérogènes de QI, nous avons opté pour la méthode de Grégoire (2017). Cette dernière est jugée comme étant la méthode la plus pertinente et la plus utilisée en clinique et en recherche. Elle consiste à calculer la moyenne des scores aux cinq indices du WISC-V^{FR}, puis la différence entre les scores de chaque indice et cette moyenne. L'erreur de mesure est prise en compte en se référant au manuel du WISC-V^{FR} dans lequel sont fournies les valeurs seuils à partir desquelles il est pertinent de prendre en compte les différences observées et de les interpréter (forces/faiblesses). Ainsi, à partir de trois dissociations significatives (trois scores s'écartant significativement de la moyenne), les profils sont jugés significativement hétérogènes (Grégoire, 2009, 2017). De plus, afin d'éviter des erreurs de la cotation manuelle, nous avons vérifié l'ensemble des scores de subtests

par un algorithme automatisé de cotation WISC-V^{FR}, intégré au logiciel de traitement de données R (R Core Team R, 2015).

5.3. Évaluation neuropsychologique standardisée et normée

Flexibilité cognitive : Pour évaluer les capacités des enfants à formuler des concepts de base, réaliser une action à partir de ses concepts, évaluer les capacités de l'enfant à passer d'un concept à l'autre, la prise d'initiative et la flexibilité nous avons utilisés l'épreuve « **Catégorisation** » de la **NEPSY-II** (Kaufman et al., 2007). La fiabilité test-retest est de cette batterie est de 0,99 et la cohérence interne varie de 0,70 à 0,87 (Korkman et al., 2007). Le subtest « Catégorisation » est standardisé et normé sur les enfants âgés de 7 à 16 ans. Il est présenté à l'enfant 8 cartes qu'il doit classer en deux groupes de 4 cartes et ne doit pas reproduire des groupes déjà effectués auparavant. Nous notons le nombre de groupe de composition qu'il arrive à faire en 6 minutes, ainsi que les groupes répétés, et les groupes inédits, qui eux, sont considérés comme des erreurs. Les scores sont observés en note standard, une note inférieure à 6 est déficitaire et une note inférieure à 4 est pathologique.

Attention auditive : Pour évaluer l'attention auditive sélective et la vigilance, nous avons utilisé l'épreuve « **attention auditive et réponse associée** » de la NEPSY-II (Korkman et al., 2007). Cette épreuve comprend deux modalités. Dans la première modalité (normé chez les enfants âgés de 5 à 16 ans), il est proposé à l'enfant un support visuel sur lequel il y a 4 ronds de couleurs différentes (bleu, rouge, noir, et jaune). L'enfant écoute alors une série de mots et doit taper le rond rouge chaque fois qu'il entend « *rouge* ». Dans la seconde modalité (normé chez les enfants de 7 à 16 ans), le même support visuel est proposé à l'enfant. Cependant, il est demandé à l'enfant d'inhiber des réponses motrices. En effet, lorsque l'enfant entend le mot rouge, il doit taper sur le rond jaune, lorsqu'il entend jaune, il doit taper sur le rond rouge, lorsqu'il entend noir, il ne doit pas taper, et lorsqu'il entend le mot bleu, il doit taper sur le rond bleu. Ce test prend également en compte dans les processus attentionnels, les capacités d'inhibition avec la note d'*inhibition* et de *commission*, ainsi que la vigilance avec la note d'*omission*. Pour chaque modalité, la note totale se calcule en note standard. La note de comparaison (des deux modalités) est également

une note standard. Un score < -1.67 est déficitaire et un score < -2 est pathologique. Les autres notes sont données en rang percentile (*commission, omission, inhibition*). Un score inférieur au percentile 10 est déficitaire.

Attention visuelle : Pour évaluer l'attention visuelle sélective, nous avons effectué l'épreuve standardisée et normée « **Barrage des O** » (Vaivre-Douret, test à apparaître) qui provient de l'outil de dépistage de la Perception et des Gnosies Visuelle (le DPGV), développé au sein de l'équipe de recherche « *Neuro-développement et troubles des apprentissages : NDTA* », dans l'unité INSERM UMR 1018-CESP. L'épreuve dure environ 2 minutes et est normée chez les enfants de 5 ans à 11 ans. Dans cette épreuve, il est demandé à l'enfant de retrouver tous les « O » qui sont présents sur une feuille sur laquelle il y a d'autres lettres. Il y a une note représentant le pourcentage d'enfant effectuant la même stratégie que l'enfant évalué. Le Second résultat est une note Z correspondant au temps effectué par l'enfant pour réaliser l'activité. Une note inférieure à -2 est vue comme déficitaire. Cette épreuve est également chronométrée. Le temps est coté, et permet d'avoir une note en percentile (un écart de < 10 est considéré comme déficitaire).

Capacités visuo-constructives : Pour évaluer le traitement visuo-constructif, nous avons utilisé « **Cubes de KOHS** » (Kohs, 1920). L'enfant dispose de seize cubes identiques. Les faces d'un cube sont toutes différentes et peuvent comporter une ou plusieurs couleurs (une face rouge, face bleue, face blanche, face jaune, face bicolore « bleue/jaune », et une autre face bicolore « rouge/blanche »). En parallèle, sur un support visuel, il est proposé un modèle à l'enfant. Ce dernier doit alors le reproduire en choisissant le nombre de cubes approprié et les orienter correctement. Le niveau est croissant (avec par exemple la diminution du nombre de couleurs utilisées) et le temps est pris en compte dans la notation. Le temps de passation est variable d'un enfant à l'autre, est peut aller jusqu'à 45 minutes. Le score total de l'enfant (note brute) est ensuite calculé en note z. Un score < -1.67 est déficitaire et un score < -2 est pathologique. Ce subtest obtient une corrélation de 0,82 avec l'âge mental Binet (Kohs, 1920).

Capacités visuo-spatiales : Pour évaluer la structuration visuo-spatiale et la planification, nous avons utilisé la **figure complexe A de Rey (FCR-A)** (Wallon &

Mesmin, 2009) qui est un test standardisé et validé avec une fiabilité test-retest adéquate et une cohérence interne qui se situe entre 0,91 et 0,98 (Wallon & Mesmin, 2009). Dans cette épreuve chronométrée, l'enfant doit recopier sur une feuille blanche une figure complexe composée de 18 éléments répartie en 3 parties : la forme globale (le grand rectangle), les éléments externes et les éléments internes. Chaque élément est coté selon deux critères : 1) tracé de l'élément (correctement tracé, légèrement déformé, déformé ou encore incomplet ou méconnaissable). 2) l'endroit du tracé de l'élément (bien placé, mal placé, absent de la figure). Dès que l'enfant a terminé de copier la figure, il y a une pause de 3 minutes et nous demandons à l'enfant de réaliser de nouveau la figure sans qu'il ne puisse se référer au modèle. Il ne lui est pas renseigné précédemment qu'il devra redessiner la figure de mémoire. Cette épreuve dure généralement entre 15 et 20 minutes, mais le temps de passation varie entre les différents enfants. Le FCR A est normé par Wallon et Mesmin (2009) à partir de 6 ans, jusqu'à 34 ans. Pour chaque modalité (copie et reproduction), on attribue 3 notes à l'enfant : la note totale qui est un score brut sur 72 et qui est ensuite transformée en score Z. Un résultat est déficitaire lorsqu'il $< -1,67$ et est pathologique lorsqu'il est < -2 . La note de temps est en rang centile (< 10 percentiles mettant en évidence un déficit) et la note de planification va de 1 à 7 (il n'y a pas de score pathologique, néanmoins, plus le score est bas, plus les stratégies de planification de l'enfant sont bonnes).

Capacités de planification et de mémoire de travail visuo-spatiale : Pour évaluer les processus de planification lors d'une tâche de résolution de problèmes, nous avons également utilisé la **Tour de Londres** (Shallice, 1982) (figure 30). Nous avons utilisé les normes de Lussier et al. (1998) qui se saturent à 17 ans. Dans cette épreuve de 12 items à niveau croissant, il est demandé à l'enfant de reproduire une figure. Le matériel comprend 3 boules (rouge, verte et bleue) qui sont glissées sur 3 tiges de hauteur variable (la première pouvant accueillir 1 boule, la seconde pouvant contenir 2 boules, et la 3e, 3 boules). L'enfant doit reproduire un modèle avec le matériel décrit ci-dessus. Les boules sont placées sur les tiges dans un ordre particulier (position de départ) ; puis il ne peut déplacer qu'une boule à la fois pour réaliser un modèle dans un nombre restreint de déplacements. La cotation est basée sur différents scores : Le score de planification qui correspond au nombre de modèles réussit au premier essai en moins de 60 secondes (Shallice, 1982). Le temps de

planification : qui correspond au temps utilisé par le sujet pour déplacer la première boule après que l'expérimentateur ait retourné la carte du modèle. Le temps d'exécution : correspondant au temps qui s'est écoulé entre le premier et le dernier déplacement (effectué dans le même essai). Le score de mémoire de travail spatiale : qui correspond au nombre d'essais effectués pour réaliser les 12 items (Shallice, 1982). Ce test est corrélé à 0,55 au labyrinthe de Porteus qui évalue également les capacités de planification (Krikorian et al., 1994). La corrélation entre l'âge et la scolarité est de 0,92 (Lussier et al., 1998).

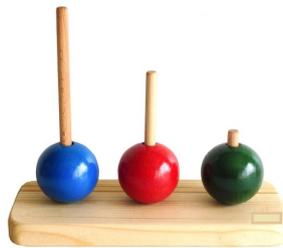


Figure 32: Dispositif de résolution de problèmes évaluant les capacités de planification et de mémoire de travail visuo-spatiale (Shallice, 1982).

Capacités de lecture : Pour évaluer les capacités de lecture, nous avons utilisé le subtest « **lecture de mots** » de l'Outil de dépistage des dyslexies (ODEDYS-2) (Jacquier-Rioux et al., 2005). Cet outil permet d'évaluer l'enfant jusqu'à la 5ème. Dans cette activité, il est présenté une feuille avec 3 colonnes : une comportant des mots irréguliers, une des mots réguliers et une comportant des pseudo-mots (ceux-ci sont appariés à des mots réguliers, du point de vue de la structure phonémique et de la longueur du mot). Nous présentons à l'enfant une colonne à la fois (en cachant les deux autres à l'aide d'un support) et nous lui demandons de lire les 20 mots présents sur cette dernière le plus rapidement possible. Avant qu'il ne commence à lire, nous lui précisons la nature des mots qui vont lui être présentés (mots existants, ou inexistant). Il existe deux notes Z pour chaque colonne. Une note correspondant au nombre de bonnes réponses (nombre de mots correctement lu) et l'autre correspondant au temps de lecture. Un score < -1.67 est déficitaire et un score < -2 est pathologique. Les coefficients de cohérence interne varient de 0,75 (lecture de pseudo-mots) à 0,87 (lecture de mots irréguliers), (Nadeau, 2015).

Pragmatique du langage : La traduction de la grille **Children's Communication Checklist** (Bishop, 1998) a été utilisée pour évaluer les difficultés pragmatiques. Cette grille est normée chez les enfants de 6 à 16 ans. Elle comprend

70 items répartis en 9 sous échelles évaluant la structure du langage (*parole ; phonologie et syntaxe*) et les difficultés pragmatiques (*initiation à la conversation, cohérence, langage stéréotypé, utilisation du contexte conversationnel et rapport conversationnel*), ainsi que les aspects non linguistiques des comportements autistiques (*relation sociale et centre d'intérêt*). Dans cette activité, les parents doivent répondre pour chaque item (Exemple d'item : « *Il a tendance à supprimer les terminaisons grammaticales. Ex. : « les ours dort »* ») si cela s'applique ou non à leur enfant (un peu, quelquefois/tout à fait). La composante pragmatique (correspondant à la somme de 6 sous échelles évaluant les difficultés pragmatiques) et la note de chaque sous-échelle sont calculées sous forme de score Z. Si ce score est inférieur à -1.67, alors il s'agit d'un déficit (<-2 est pathologique). La consistance interne de la composante pragmatique (du questionnaire rempli par les parents) est de 0.92. La consistance interne des notes des sous-échelles varie de 0,65 à 0,92. La fiabilité est de 0,8 lorsque l'on compare les scores de deux professionnels.

Capacités graphomotrices de l'écriture manuscrite : Pour évaluer l'écriture manuscrite, nous avons utilisé la version française de **l'échelle rapide d'évaluation d'écriture (BHK)** de Charles et al. (2003) (*Concise Evaluation Scale For Children's Handwriting*) permettant d'évaluer l'enfant jusqu'en 3e. Dans cette échelle, il est demandé à l'enfant ou l'adolescent de recopier un texte durant 5 minutes et de respecter les sauts de lignes. Dans les 5 premières lignes, les mots sont monosyllabiques et fréquents, puis les mots se complexifient au fur et à mesure du texte (lexique et grammaire). La taille des caractères diminue également au fur et à mesure du texte. Il existe deux scores Z. L'une est basée sur la fréquence d'inscription (nombre de lettres recopiées en 5 minutes) et la seconde sur la qualité d'écriture. Les scores inférieurs à moins 2 écarts-types sont révélateurs d'une dysgraphie. La fidélité test-retest de cette échelle est de 0.80 et la consistance interne avec l'échelle de dysgraphie d'Ajuriaguerra est de 0.68.

De plus, nous avons évalué l'organisation spatio-temporelle du geste graphomoteur à l'aide d'un dispositif avec un « **stylo électronique** (figure 31) » dont les algorithmes de recueil de données quantitatives ont été développés au sein de l'équipe de recherche « Neuro-développement et troubles des apprentissages (NDTA) », dans l'unité INSERM UMR 1018-CESP. Les tracés effectués par l'enfant sont en effet reliés au logiciel Eliansoftware-Seldage et les variables sont traitées à

l'aide d'algorithmes automatisés. Ce stylo dispose d'une technologie Anoto fonctionnant avec le logiciel Elian Research. Le stylo permet d'effectuer des enregistrements précis à l'aide d'une caméra infrarouge. Nous demandons à l'enfant de réaliser des boucles à l'endroit, puis à l'envers, sur un papier spécifique de format demi A4 ayant une apparence habituelle (pour ne pas déranger l'enfant). Les résultats de ces données spatio-temporelles ne sont pas traités dans le cadre de cette thèse car le dispositif est en cours de validation. Ces données seront prises en compte dans des traitements complémentaires ultérieurs.

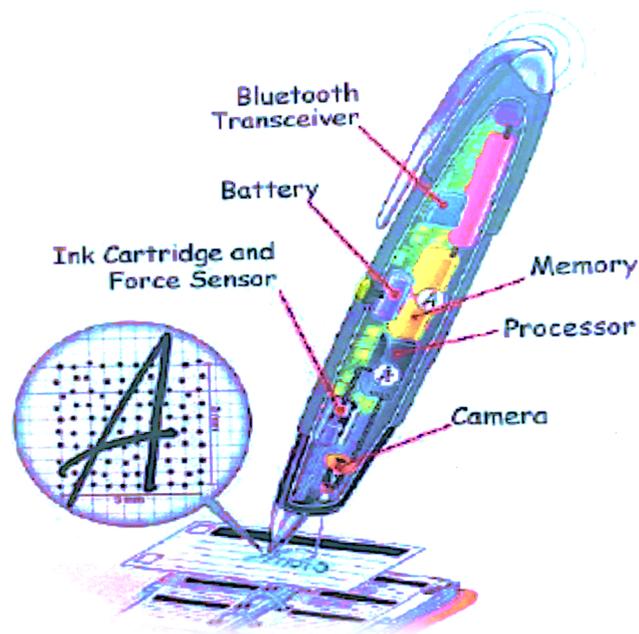


Figure 33: Dispositif du stylo électrique permettant le recueil de données de l'organisation spatio-temporelle du geste graphomoteur

Cognition sociale : Pour évaluer la capacité de l'enfant à comprendre des fonctions mentales et le point de vue d'autrui, nous avons fait passer l'épreuve « **Théorie de l'esprit** » de la NEPSY-II. Ce subtest est coté sur une population allant de 5 à 16 ans. Dans ce subtest il existe deux notes qui sont toutes les deux normées en rangs percentiles. Le score de la tâche verbale permet d'évaluer la compréhension de l'enfant à attribuer à autrui des pensées, sentiments et intention. Elle permet également d'évaluer *la compréhension d'un sens abstrait du langage figuratif*. Il est demandé à l'enfant d'observer une image sur laquelle il y a une mise en situation et de répondre à des questions liées à cette dernière. Le score total de la tâche contextuelle permet d'évaluer la capacité de l'enfant/adolescent à relier une émotion à un contexte social. Durant cette activité, l'enfant observe une situation particulière

(exemple, plusieurs enfants dans un train d'une attraction). Il doit alors choisir une émotion parmi quatre (figure 32), qui serait en accord avec le ressenti de la personne vivant l'action sur l'image. Les scores ont été en percentile. Un score inférieur <10 percentiles est déficitaires.

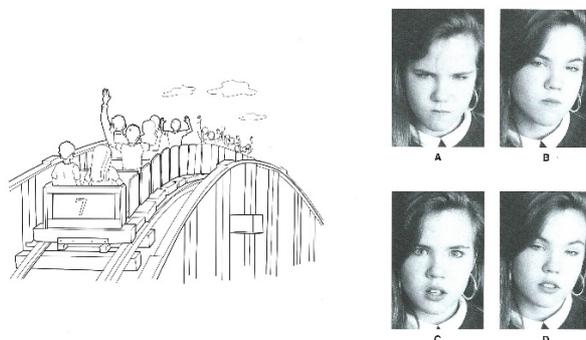


Figure 34: Illustration de la tâche de théorie de l'esprit de la NEPSY-II proposée aux participants inclus dans le protocole de recherche

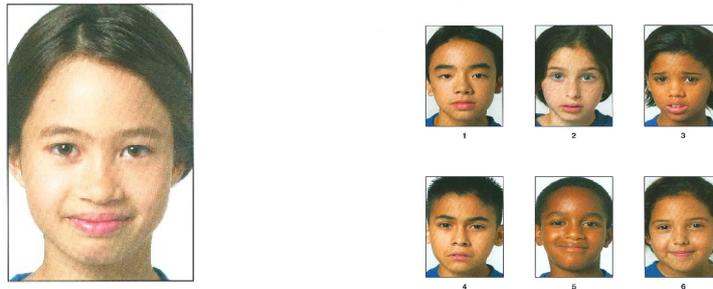
Nous avons utilisé la tâche « **Reconnaissance d'affects** » de la NEPSY-II pour évaluer les capacités de l'enfant à reconnaître des affects. Dans ce test, il existe plusieurs modalités dans lesquelles, il est demandé à l'enfant de différencier ou non les affects de deux enfants sur deux images différentes, choisir parmi plusieurs images lesquelles représente les mêmes affects, retrouver quelle image parmi plusieurs représente l'affecté d'une image qui est en haut de la page (figure 33). La rétabilité test-retest de la batterie NEPSY-II est de 0.99 et la consistance interne va de 0.70 à 0.87 (Korkman et al., 2007).



Figure 35: Tâche de reconnaissance d'affects de la NEPSY-II

Il est également montré à l'enfant une image durant 5 secondes. Puis nous présentons une autre page, sur laquelle il y a plusieurs images d'enfants. Il doit choisir sur cette dernière deux images illustrant la même émotion que l'image précédente

(figure 34). Le résultat total aux subtests est une note standard. Une note inférieure à 6 est considérée comme déficitaire, et une note inférieure à 4 est considérée comme pathologique. Ce subtest cote également la sur-reconnaissance de l'enfant de chaque émotion évaluée (*content, triste, neutre, peur, colère, dégoût*). Ainsi, si l'enfant a une note inférieure à 10 percentiles cela signifie qu'il analyse trop souvent une émotion, même lorsqu'elle n'est pas présente sur le visage de quelqu'un.



Page 1 : présenté 5 secondes Page 2 : choix de 2 images

Figure 36: Tâches de reconnaissance d'affects de la NEPSY-II

L'évaluation de la cognition sociale a été complétée par des questionnaires qui ont été remplis par les parents : **La version française du « Autistic Quotient : AQ »** de dépistage du trouble de spectre de l'autisme (TSA) qui est destiné aux enfants jusqu'à 15 ans. Il est traduit en français du questionnaire de Baron-Cohen et al. (2006), par Sonié et al. (2011). Ce questionnaire comporte 50 items (Exemple d'items : « *Mon enfant est à l'aise dans les situations sociales* »). Tous les items sont présentés sous la forme affirmative. Les parents doivent répondre à chaque item par une des réponses suivantes : « *tout à fait d'accord* », « *plutôt d'accord* », « *plutôt pas d'accord* », et « *pas du tout d'accord* ». Plus le score à ce questionnaire est élevé, plus il est considéré que l'enfant dispose de trait autistique important. Le score minimum à ce test est de 0 est le score maximum est de 50. Le score maximum pour chaque domaine est de 10. Pour les enfants tout venant, le score moyen est de 12,13/50 (DS=5.55). Pour les enfants à risque de TSA, le score moyen est de 35,06/50 (DS=7.46). Ce questionnaire évalue cinq domaines principaux : les capacités de communication de l'enfant, sa qualité des relations sociales, ses possibilités de représentation mentale (prenant également en compte les intentions d'autrui), son attention portée aux détails et sa flexibilité attentionnelle.

Il se compose ainsi de cinq sous échelles qui sont : 1) « *communication* », exemple d'item : « *mon enfant est capable de se rendre compte si quelqu'un qui l'écoute*

commence à s'ennuyer ». 2) « relation sociable », exemple d'item : « mon enfant est à l'aise dans les situations sociales ». 3) « imagination », exemple d'item : « mon enfant trouve qu'il est facile de jouer avec des enfants à des jeux où l'on fait semblant ». 4) « détail locaux », exemple d'item : « Mon enfant est fasciné/e par les dates ». 5) « Permutation attentionnelle », exemple d'item : « les situations nouvelles le/la rendent anxieux/se ». La fidélité test-retest de ce questionnaire est de 0,92. Le coefficient de Cronbach est égal à 0,79. Les coefficients de chaque groupe sont tous compris entre l'intervalle 0.6-0.9.

Empathie : Pour évaluer l'empathie de l'enfant, nous avons utilisé la version française du « **Empathique Quotient : EQ** » traduite par Sonié et al. (2011), qui est normé jusqu'à 15 ans. Ce questionnaire comporte 40 items qui sont sous forme affirmative. Exemple d'item : « mon enfant aime beaucoup prendre soin des autres ». Comme dans le test précédent, les parents répondent à chaque item par : « tout à fait d'accord », « plutôt d'accord », « plutôt pas d'accord » et « pas du tout d'accord ». Plus le score au questionnaire est élevé, plus cela signifie que l'enfant a une empathie élevée. Le score maximal est de 80. Il est observé dans cette échelle que les filles ont de meilleurs résultats que les garçons. La moyenne à ce questionnaire chez les enfants tout venant est de 37,7 (DS=9.81). La moyenne à ce questionnaire pour les enfants ayant un trouble du spectre de l'autisme est de 13,97 (DS=6.82) (Sonié et al, 2011). Le coefficient de validité test-retest est de 0.97. Ce questionnaire à une corrélation négative de -0,56 avec le questionnaire autistique (Baron-Cohen & Wheelwright, 2004). Le score de fiabilité est de 0.86 et la cohérence interne est de 0.93 (Sonié et al., 2011).

Anxiété : Nous avons également présenté des questionnaires à l'enfant. Pour évaluer la présence ou non d'une symptomatologie d'anxiété, nous avons proposé aux enfants la version française de la **Revised-Children's Manifest Anxiety Scale (R-CMAS)** de Reynolds et al. (1999). Il s'agit d'un questionnaire pour les personnes âgées de 6 à 19 ans composées de 37 items. L'enfant répond à chaque item par oui ou non (exemple d'item : « je suis inquiet quand je vais me coucher le soir »). Cette échelle permet d'avoir une note d'anxiété. Elle évalue également l'anxiété physiologique, les inquiétudes, les préoccupations sociales. Cette échelle présente également une note

de « mensonge », pour objectiver si l'enfant a menti durant le questionnaire. Les notes sont en centiles, avec un score pathologique inférieur à 10.

L'alpha de Cronbach est systématiquement supérieur à 0.80. (Reynolds & Paget, 1983). La cohérence interne pour l'ensemble du test est de 0.84 (Boehnke et al., 1986).

Dépression : Pour évaluer la symptomatologie dépressive, nous avons proposé à l'enfant l'échelle de dépression pour enfant (**Multiscore Depression Inventory – for Children : MDI-C**), (Berndt & Kaiser, 1996). Il s'agit d'un questionnaire composé de 79 items dans lequel l'enfant répond à chacun d'entre eux par « Vrai », ou par « Faux ». Ce questionnaire comporte 7 sous échelles : « Anxiété », « estime de soi », « humeur triste », « sentiment d'impuissance », « inhibition sociale », « pessimisme » et « provocation ». Plus le score est élevé, plus l'enfant présente une symptomatologie dépressive importante. Les notes sont des scores T. Lorsque le score est compris entre 56 et 65, cela indique la présence d'une symptomatologie de dépression faible à modérée. Lorsque les notes sont comprises entre 66 et 75, cela indique une symptomatologie de dépression modérée à sévère. Enfin, lorsque les scores sont supérieurs à 75 cela indique la présence de symptômes sévère. Ce questionnaire a une bonne cohérence interne, avec des coefficients alpha de sous-échelle compris entre 0.7 et 0,85 et un coefficient alpha de dépression global de 0,94. Il a également une bonne fiabilité test-retest ($r=0.92$).

Attachement : Pour évaluer la perception que l'enfant a vis-à-vis de la relation qu'il a avec sa principale figure d'attachement (personne qui s'est le plus occupée de lui entre sa naissance et ses 5 ans), nous avons proposé à l'enfant de remplir la version française du **questionnaire d'attachement non résolu chez l'adolescent** (QANRA ; Annexe 6) (Thibaudeau, 2007). Cet auto-questionnaire porte une attention particulière au rôle de l'attachement parentale dans l'adaptation psychosociale à l'enfance et à l'adolescence. Il comprend 10 items cotés de 1 à 5 (échelle de Likert). Ceux-ci sont axés sur ses rapports actuels avec sa figure d'attachement. 1 signifie « *profondément d'accord* » et 5 « *profondément en désaccord* ». Dans ce questionnaire les scores de cohérences internes s'étendent de 0,74 à 0,82 et l'évaluation test-retest des différents scores varient entre 0.58 et 0.83 ($p < 0,01$).

5.4. Évaluation oculométrique et neurovisuelle

Enregistrement électrophysiologique d'oculométrie (Eye-Tracking) :

L'évaluation quantifiée de la fonction oculomotrice a été réalisée à l'aide d'Ober consulting Eye-Tracker Eyefant® (Jazz Novo Ober Consulting, 2018). Le dispositif enregistre à l'aide des caméras infra-rouges les mouvements oculaires de manière binoculaire sur le plan horizontal et vertical. La fréquence du dispositif est de 1000 Hz, la résolution spatiale est de 0.1°. La plage de linéarité est de $\pm 35^\circ$ horizontalement et de $\pm 20^\circ$ verticalement. La transmission des données à l'ordinateur se fait par Bluetooth, permettant une configuration très rapide. La visualisation des données a été réalisée à l'aide du logiciel JazzManager® V3.12 (Jazz Novo Ober Consulting, 2018). Les stimuli cibles étaient présentés sur un écran d'ordinateur 19" placé à 50 cm (19.6 pouces) devant le participant.

Nous avons enregistré les quatre types de mouvements oculaires : Nystagmus optocinétique, la poursuite visuelle, la fixation et les saccades. Le nystagmus optocinétique monoculaire et binoculaire a été évalué en présentant un paradigme composé de blancs de différentes tailles projeté sur un écran de fond noir (figure 35).

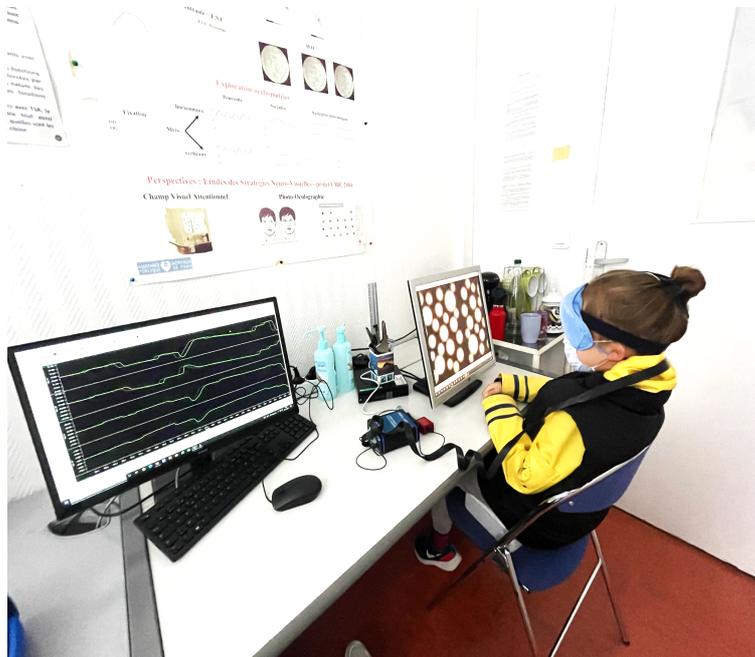


Figure 37: Dispositif d'enregistrement oculométrique du nystagmus optocinétique binoculaire.

Ces cibles se déplaçaient successivement vers la droite et vers la gauche pour l'enregistrement horizontal, en haut et en bas pour l'enregistrement vertical. Pour les autres mouvements oculaires, un unique stimuli « tête de chat orange » s'affichait à

l'écran et le participant devait le suivre des yeux sans bouger la tête (figure 36). Pour l'évaluation de la poursuite visuelle, cette cible se déplaçait de manière sinusoïdale (vitesse 15°/s) dans les plans horizontal et vertical (respectivement 40° et 30°). La poursuite visuelle a été évaluée en trois fois afin de comparer l'effet d'apprentissage entre les groupes. D'ailleurs, pour le traitement mathématique des données, sont utilisés uniquement les tracés de poursuite visuelle étant les meilleurs marqueurs sensibles au traitement statistique et aux interprétations des corrélats cérébraux (Escera, 2017 ; Ingster-Moati et al., 2009 ; Kiseleva & Kiselev, 2021 ; Robert et al., 2014 ; Salvucci & Goldberg, 2000). Les tracés des saccades, fixation et nystagmus optocinétique ont été utilisés dans l'analyse clinique de tous les participants et ont servi pour contrôler la représentativité des données et la présence d'éventuel anomalie neurovisuelle.

Les saccades de petites et grandes amplitudes (respectivement 15° et 30° horizontalement et 10° et 20° verticalement) ont été évaluées par la présentation de la cible successivement dans les différentes positions du regard. Ensuite, la qualité de la fixation a été évaluée en affichant la cible dans les neuf principales positions du regard (position primaire, 20° regard gauche et droit, 15° haut-bas, et 25° d'excentricité pour les dernières positions "gauche et droite haut-bas").



Figure 38: Dispositif d'enregistrement oculométrique des poursuites visuelles et des saccades

Le traitement de données s'est effectué en collaboration avec le service d'ophtalmologie de l'Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades et le CNRS UMR 9010, Ecole Normale Supérieure (ENS Paris-Saclay), Université Paris Cité, France. La première étape consistait en la vérification de la fonction d'acuité du nystagmus (NAFX) fournissant une mesure objective des caractéristiques de fovéation des formes d'onde et des fréquences du nystagmus. Ainsi, nous avons sélectionné uniquement les enregistrements dont les données étaient traitables, c'est-à-dire avec des très bons NAFX et fréquences soulignant l'absence de marqueurs de pathologie de nystagmus même légère (figure 37 ; n=60 dont 26 enregistrements d'enfants HP).

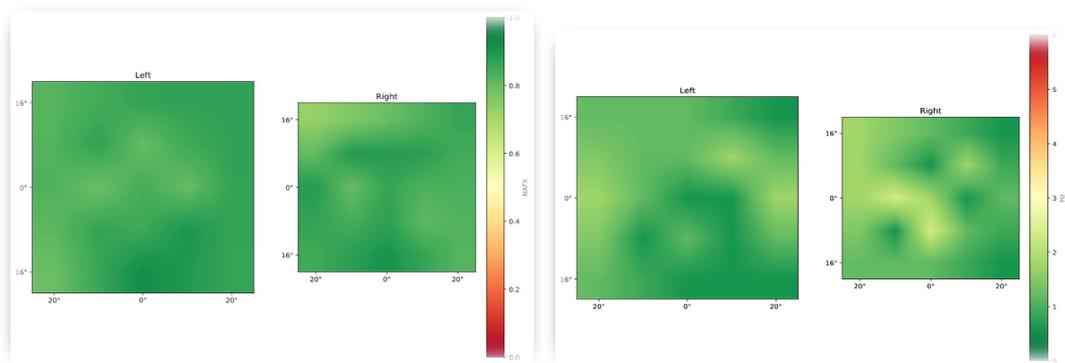


Figure 39: Exemple de cartes couleurs des NAFX et fréquences des enregistrements électrophysiologique d'oculométrie.

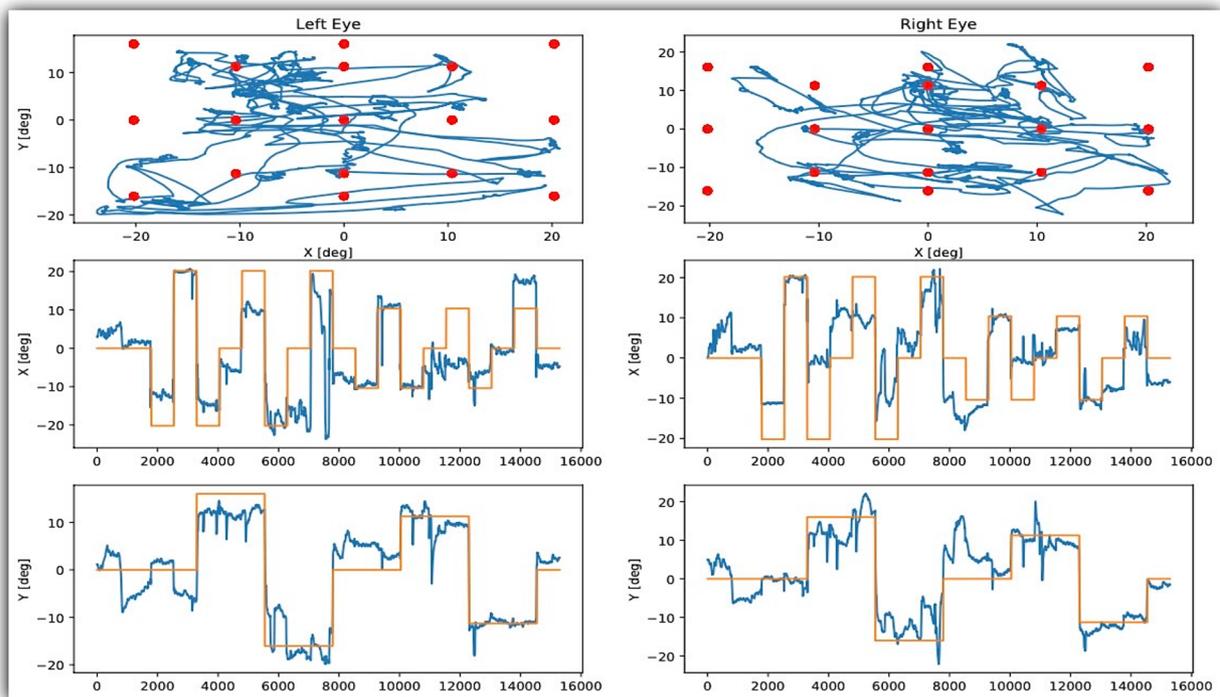
Ensuite, nous avons procédé à la calibration. Après acquisition des données oculométriques, nous avons procédé à calibrer les données à l'aide d'une fonction qui fait correspondre, aux données brutes de l'oculomètre, des coordonnées du mouvement oculaire dans un repère cartésien. Plus précisément, cette étape nécessite la création de deux fonctions - une pour chaque axe vertical et horizontal – de la forme : $x_s = f_x(x_e, y_e)$, $y_s = f_y(x_e, y_e)$, où x_e et y_e représentent les données issues de l'oculomètre. x_s et y_s sont les coordonnées estimées du mouvement oculaire dans le repère cartésien que représente l'écran. Une méthode classique de calibration (Harezlak et al., 2014) consiste à utiliser un système de fonctions polynomiales du second ordre, de la forme suivante :

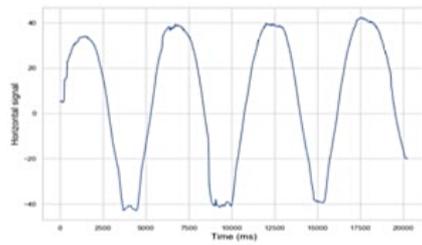
$$x_s = A_x x_e^2 + B_x y_e^2 + C_x x_e + D_x y_e + E_x$$

$$y_s = A_y x_e^2 + B_y y_e^2 + C_y x_e + D_y y_e + E_y$$

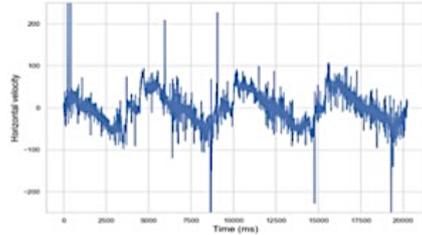
Les paramètres du modèle $\{A_x, B_x, C_x, D_x, E_x, A_y, B_y, C_y, D_y, E_y\}$ sont alors estimés via l'utilisation d'un algorithme de Levenberg-Marquardt (Moré, 1978). Après l'étape de calibration, les signaux calibrés sont soumis à une étape de *pré-processing* ici nommée « *Two-steps Cleaning Procedure* » afin de retirer la majeure partie des artefacts d'enregistrement, ainsi que les clignements. Cette étape se compose de deux sous-étapes principales. 1) Utilisation d'un algorithme *dispersion-based* (Salvucci & Goldberg, 2000) avec un seuil de dispersion $dispThrs = 25^\circ$ et un seuil de durée $drtThr = 250$ ms (Annexe 7).

2) Utilisation d'un algorithme density-based, à savoir un algorithme de clustering DBSCAN modifié incorporant une dimension temporelle (Li et al., 2016), avec un seuil de distance $dstThrs = 0.40^\circ$ et un seuil de durée $\tau = 10$ ms (Annexe 8). À l'issue de cette étape, nous obtenons un ensemble de sous-séquences « nettoyées » des deux yeux combinés. Il est alors obtenu des tracés de paramètres oculomoteurs (figure 38).

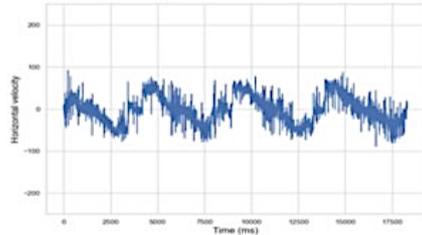




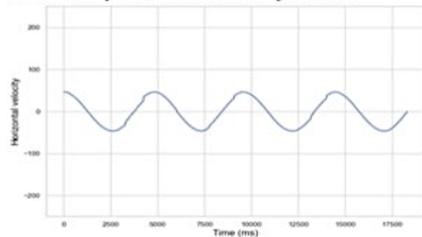
(a) Signal before the *Two-steps Cleaning Procedure*.



(b) Raw experimental velocities.

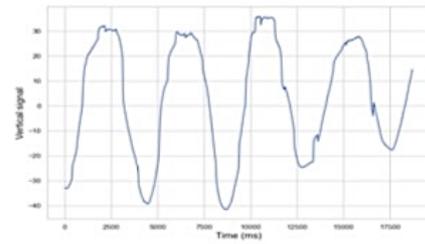


(c) Remaining experimental velocities after the *Velocity Threshold Identification*.

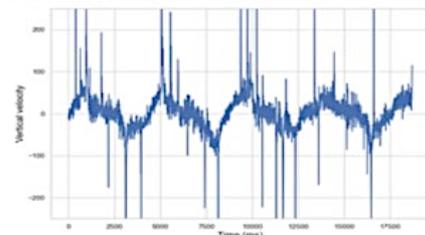


(d) Remaining theoretical velocities after the *Velocity Threshold Identification*.

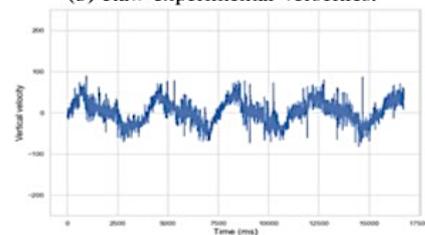
EVA M09 2020 horizontal pursuit analysis.
0.654. **Accuracy** = 0.656.



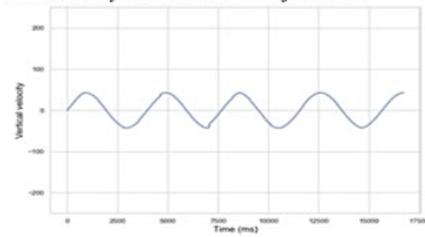
(a) Signal before the *Two-steps Cleaning Procedure*.



(b) Raw experimental velocities.



(c) Remaining experimental velocities after the *Velocity Threshold Identification*.



(d) Remaining theoretical velocities after the *Velocity Threshold Identification*.

Fig. 14: EVA M09 2020 vertical pursuit analysis.
Gain = 0.832. **Accuracy** = 0.533.

Figure 40: Exemple de ré-processing d'enregistrement oculo-photographique d'un participant.

Ensuite, ces paramètres sont soumis à des traitement statistiques par le logiciel de traitement statistique SPSS (Wagner III, 2019). Pour chaque sous-séquence précédemment obtenue, les périodes qui, a priori, ne correspondent pas à des mouvements de poursuite mais revêtent un caractère saccadique, sont identifiées : tous les points pour lesquels la vitesse oculaire absolue est supérieure à 40 degré/seconde à la vitesse de la cible visuelle sont retirés. Après cette étape de « *Velocity Threshold Identification : VTI* », les *paramètres* suivants sont calculés :

- **Gain** : pour chaque séquence identifiée, à l'issue de la VTI, comme poursuite potentielle, ayant une durée supérieure à 10 ms, la vitesse oculaire moyenne est estimée par régression linéaire. Le gain de poursuite est alors estimé comme le rapport entre la vitesse oculaire moyenne enregistrée et la vitesse théorique de la cible visuelle (Fransson et al., 2008). Finalement, un gain global est estimé par la moyenne, pondérée par la longueur de chaque séquence, des gains localement obtenus.

Le gain pondéré, tel que défini ci-dessus, ne tient pas compte de la régularité globale des essais de poursuite et se concentre sur les séquences de poursuite lisses identifiées. Par conséquent, un essai de poursuite avec de nombreuses et longues séquences saccadiques pourrait fournir, après nettoyage, des gains pondérés élevés qui peuvent être trompeurs pour évaluer la qualité des tâches de poursuite. Afin de considérer la proportion globale de séquences de poursuite lisses, nous définissons donc le gain ajusté comme suit :

$$adjGain = \frac{\sum_{p \in P} (\psi_p^{(e)} / \psi_p^{(t)}) |p|}{|I^{(tsc)}|}$$

- « **Cross-correlation** » : la corrélation croisée normalisée est calculée entre les vitesses expérimentales $\{\mathbf{v}_i^e\}_{i \in I}$ et théoriques $\{\mathbf{v}_i^t\}_{i \in I}$, obtenues à l'issue de l'étape de VTI. Cette fonction de *cross-correlation* est estimée comme

$$C_{norm}(\tau) = \frac{1}{|I|} \sum_{i \in I} \frac{(\mathbf{v}_i^e - \boldsymbol{\mu}_e)(\mathbf{v}_{i+\tau}^t - \boldsymbol{\mu}_t)}{\sigma_e \sigma_t}.$$

- **Entropie des erreurs de vitesse** : en premiers lieux, l'erreur des vitesses de poursuite $\{\mathbf{w}_i\}_{i \in I}$ est estimée comme la différence entre les vitesses expérimentales $\{\mathbf{v}_i^e\}_{i \in I}$ et théoriques $\{\mathbf{v}_i^t\}_{i \in I}$, obtenues à l'issue de l'étape de VTI. Nous calculons ensuite l'entropie de cette erreur estimée de poursuite, telle que définie par Pincus et al. (1991).

La première étape consiste à définir, à partir des $\{\mathbf{w}_i\}_{i \in I}$, un vecteur de séquences de \mathbf{z}_1 à $\mathbf{z}_{|I|-m+1}$, pour $0 < m \leq |I|$, tels que $\mathbf{z}_i = [\mathbf{w}_i, \dots, \mathbf{w}_{i+m-1}]$. La seconde étape consiste à définir une distance $d(\mathbf{z}_i, \mathbf{z}_j)$ entre les vecteurs \mathbf{z}_i et \mathbf{z}_j , $i, j \in I$, correspondant au maximum de la différence entre leurs coordonnées scalaires respectives. La troisième étape consiste à estimer, pour chaque $i \leq |I| - m + 1$,

$$C_i^m(r) = \frac{|\{z_j | d(z_i, z_j) < r\}|}{|I| - m + 1}.$$

Cette valeur mesure, avec une tolérance r , la régularité des *patterns* expérimentaux vis-à-vis d'un *pattern* de référence de taille m . La quatrième étape consiste enfin à définir $\Phi_m(r)$ comme la valeur moyenne de $\ln C_i^m(r)$, pour $i \leq |I| - m + 1$. Finalement l'entropie est approximée par : $\text{ApEn}(m, r) = \Phi_m(r) - \Phi_{m+1}(r)$.

Cet examen électrophysiologique d'oculométrie a été complété par des tests standardisés et normés : **Poursuite visuomotrice** : Nous avons utilisé les épreuves standardisées et normées de **dépistage de la Perception et des Gnosies Visuelle (le DPGV)** (Vaivre-Douret, test à apparaître). L'épreuve « **Méli-Mélo** » du DPGV a été proposée aux participants pour évaluer la poursuite visuomotrice. Dans ce subtest, nous demandons à l'enfant de suivre avec son doigt quatre lignes différentes (une à la fois) qui sont entremêlées sur une même feuille. Si le suivi de la ligne est réussi, l'enfant obtient les points correspondants à la ligne. En cas d'erreur, il n'obtient pas de points. Cette épreuve est normée chez les enfants de 5 ans à 12 ans. Le résultat final est une note z . Un score < -1.67 est vu comme déficitaire est une note < 2 est pathologique.

Intégration visuomotrice : Pour ce faire, nous avons utilisé deux épreuves de **Beery VMI** (Beery & Beery, 2010). Cette batterie est adaptée pour les personnes allant de 2 à 100 ans. La fiabilité test-retest est de 0,87 à 0,94 et la cohérence interne est de 0,96 (Beery & Beery, 2010). Les scores ont été exprimés sous forme de scores standardisés. Un score inférieur à 4 est pathologique et un score supérieur à 15 est hors norme. La sous-échelle **Motor VMI** (Beery & Beery, 2010) a été utilisée afin d'évaluer l'intégration visuomotrice. Dans ce subtest, il est demandé à l'enfant de reproduire des formes. Les premières formes sont assez simples (exemple : reproduction d'un trait) et le niveau est croissant, les formes deviennent de plus en plus complexes (exemple : reproduction d'une étoile) et la cotation de plus en plus stricte. Dans ce test, il est attribué un point à l'enfant lorsque la figure est correctement recopiée et inversement, il ne lui est pas attribué de point si la reproduction ne correspond pas aux critères de cotations (qui diffèrent pour chaque figure).

Cette épreuve dure entre 10 et 15 minutes

Perception et représentation mentale : Pour évaluer la perception visuelle avec l'évocation d'imagerie mentale, nous avons utilisé l'épreuve de « **Reconnaissance de silhouette d'animaux** » du DPGV. Sur une planche, sont

représentés des dessins d'animaux de dos. L'enfant doit alors les dénommer en les désignant. Cette épreuve est normée jusqu'à 12 ans. Nous avons également utilisé l'épreuve « **Reconnaissance des fruits entremêlés** » du **DPGV**. Dans ce subtest, nous présentons à l'enfant une planche sur laquelle il y a 5 fruits entremêlés. Nous lui demandons alors de les nommer et de les pointer. La note totale est une note brute, qui est transformée en note Z. Un score inférieur à -1,67 est déficitaire et un score inférieur à -2 est pathologique. Ce subtest est normé jusqu'à 12 ans. La somme des notes brutes de ces trois derniers subtests (*Méli-Mélo*, *Reconnaissance de silhouette d'animaux* et *Reconnaissances des fruits entremêlés*), permet d'avoir un **score de représentation mentale**. Celle-ci est une note Z, une note < -2 est pathologique. Enfin, la sous-échelle **Visual Perception du Beery VMI** (Beery & Beery, 2010) a été effectuée afin d'évaluer la perception visuelle. Dans ce subtest, une forme est présentée à l'enfant pour l'évaluation de la perception. Plusieurs formes qui se ressemblent sont présentées sous cette dernière. L'enfant doit alors sélectionner la forme identique à la première. Lorsque l'enfant sélectionne la bonne forme, il lui est attribué un point. La passation de cette sous-échelle est de 3 minutes.

Gnosies visuelles : Pour évaluer l'occlusion visuelle et les gnosies visuelles, nous avons utilisé le subtest « **Reconnaissance des formes** » de la batterie **K ABC-II** (Kaufman & Kaufman, 2008). Il est alors proposé à l'enfant d'observer une série d'images. Sur chacune d'entre elles, il est représenté une forme (un objet ou une action) qui est incomplète et qui est dessinée telle « une tache d'encre ». L'enfant doit alors essayer de reconnaître la forme et la dénommer. Une note standard permet d'évaluer ce subtest, qui est normé chez l'enfant allant jusqu'à 12 ans. Sa cohérence interne est de 0,73 et sa fidélité test-retest (pour les enfants de 7 à 12 ans) est de 0.72.

À noter : certains tests ne sont pas étalonnés jusqu'à 13 ans (borne supérieure de la population pour cette première étude ; n=2), c'est le cas pour le test Barrage linéaire des O (normé jusqu'à 11 ans), pour l'épreuve de reconnaissance de silhouettes d'animaux du DPGV (normée jusqu'à 12 ans), pour l'épreuve de reconnaissance de fruits entremêlés (normée jusqu'à 12 ans), pour le subtest K-ABC II « reconnaissance de formes » (normé jusqu'à 12 ans). Ces épreuves n'ont pas été présentées à nos deux enfants âgés de 13 ans. Lors du traitement des données neurovisuelles, les deux participants ont été éliminées afin de ne pas biaiser les résultats.

5.5. Évaluation développementale standardisée et normée des fonctions neuropsychomotrices et des performances motrices

Fonctions neuropsychomotrices : Nous avons utilisé la batterie NP-MOT (Vaivre-Douret, 2006) que nous avons présenté plus en détails dans la revue de littérature (chapitre 5). Elle est destinée aux jeunes enfants âgés de 4 ans et plus. Pour la cotation, nous avons utilisé la version digitalisée permettant de générer le profil du bilan numérique avec moyenne, écart-type, et note standard (figure 39), à l'aide d'une application « Neuralix Editions-Web en médecine et neurosciences® » (Vaivre-Douret, 2021). C'est une batterie neurodéveloppementale standardisée et normée sur les aspects qualitatifs et quantitatifs de la motricité respectant les principes de l'évolution physiologiques. Nous nous sommes intéressés aux neuf domaines indépendants qui sont inclus dans la batterie (tableau 7).

La batterie NP-MOT est caractérisée par une fiabilité test-retest et une cohérence interne fortes. Les Coefficients de corrélation du NP-MOT avec le Bruininks-Oseretsky Test Motor Proficiency (BOTMP) (Bruininks, 1978 ; Bruininks & Bruininks, 2005) vont de 0,72 à 0,84, pour la coordination motrice et équilibre (Vaivre-Douret, 2006). Elle permet une évaluation physique standardisée du tonus musculaire passif/actif des membres et le tonus axial, sensible au repérage aux signes neurologiques mineurs tels que la syncinésie, la présence d'un dysfonctionnement des voies pyramidales (hypertonie). Elle permet d'évaluer également l'intégration spatiale corporelle, fonction motrice de base, contrôle et régulation des tâches motrices globales (marche, équilibre, coordination), latéralité, dextérité manuelle, praxis manuelle, perception numérique, tâches d'attention rythmique et auditive, complété par l'imitation de gestes (EMG).

Performances motrices : Nous avons utilisé la **Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant seconde édition M-ABC-2** (Henderson et al., 2007) pour évaluer les performances psychomotrices. Il s'agit d'une batterie de test évaluant trois domaines principaux : la dextérité manuelle, la capacité de l'enfant à viser et rattraper une balle et l'équilibre statique et dynamique. Le temps de passation dépend des capacités intellectuelles et praxiques de l'enfant. Pour un enfant tout venant, la

passation dure entre 20 et 30 minutes. Cette batterie peut être utilisée chez l'enfant dès 3 ans et est normée jusqu'à 17 ans. La cotation se fait en fonction de la réussite ou de l'échec de l'enfant à chaque subtest et le résultat final est une note standard. Une note inférieure à 6 est déficitaire et une note inférieure à 4 est pathologique et équivaut au percentile 15-16. Il est toutefois important de préciser que si la batterie M-ABC-2 est largement utilisée dans la littérature s'intéressant aux performances motrices chez les enfants, son manque de fidélité test-retest et l'effet plafond des épreuves d'équilibre ont été soulignés (Henderson et al., 2007). En effet, la fidélité test-retest du subtest « *Marche pointe-talon en reculant* », est de 0,06. La fidélité test-retest des autres items varie de 0,62 à 0,92 mais l'échantillon d'étalonnage est de petite taille (n=31) La fidélité inter-évaluateur varie de 0,92 à 1 selon les subtests. Le M-ABC-2 est corrélé avec le test allemand « *Körperk coordinations test für kinder (KTK)* » de 0,62 pour les enfants tout venant et de 0,65 pour les enfants en difficulté (Smits-Engelsman, Henderson & Michels 1998). La cohérence interne entre les subtests va de 0,66 à 0,71 (Henderson et al., 2007).

Patient

Code : 2SJ-REN-2022

Identité :

Examineur :

Sexe : Masculin

Commentaire :

Examen

Date : 09-Jun-2022 11:55:04

Age : 4 ans 9 mois

Niveau scolaire : Pré-scolaire

Commentaire :

Profil du patient (1/2)

		ZSCORE	-2σ	-1σ	M	+1σ	+2σ	NOTE STANDARD	
OBSERVATIONS PHYSIQUES	PC	0.55						-	
	Taille							-	
	Poids								
	Sutures crâniennes squameuses								
TONUS DE FOND	Ballant poignet (Résistance G>D)	0.68						3/3	
	Ballant Pied (Résistance D>G)	0.66						3/3	
	Extensibilité épaule (Résistance G>D)	0.66						3/3	
	Extensibilité poignet (Résistance G>D) (D: 100°; G: 100°)	0.62						3/3	
	Poplités (D: 120°; G: 120°)	0.67						2/2	
	Adducteurs (130°)	0.52						3/3	
	Talon-Oreille (100°)	0.57						3/3	
	Extensibilité pied (jambe fléchie) (Résistance D>G)	0.61						3/3	
	Jambe fléchie (D: 70°; G: 70°) {} Pied Droit Pied Gauche Spasticité : Non Non Stretch phasique : Non Non Stretch tonique : Non Non								
	Jambe tendue (D: 70°; G: 70°) {} Pied Droit Pied Gauche Spasticité : Non Non Stretch phasique : Non Non Stretch tonique : Non Non								
	Extensibilité tronc : Grande : Ext. = Flex. (Hypotonie axiale)	-3.58*						2/3	
	Mobilisation passive Bras : Les deux : Détente globale / Jambes : Les deux : Légère diffusion de raideur	0.52						3/4*	
TONUS D'ACTION : SYNCINÉSIES	Syncinésies (3 épreuves)	2.49						5/5	
	<ul style="list-style-type: none"> Prono-supination unilatérale de la main Qualité du mouvement de la main droite : Mouvement correct, irrégulier (ZScore : -1.04*) Qualité du mouvement de la main gauche : Mouvement correct, irrégulier (ZScore : -1.12*) Ouverture-fermeture des deux mains - Qualité du mouvement des deux mains réunies : Mouvement régulier, synchronisé (Zscore : 0.21) Ouverture-fermeture de la bouche - Qualité du mouvement : Mouvement correct (Zscore : 0.1) 								
		Syncinésies hémicorps droit Qualité du mouvement de la main droite : Mouvement correct, irrégulier (ZScore : -1.04*)	0.36						3/3
		Syncinésies hémicorps gauche Qualité du mouvement de la main gauche : Mouvement correct, irrégulier (ZScore : -1.12*)	1.46						3/3
TONUS DE SOUTIEN	Quatre poussées (Echec : Droite Arrière)	-3.25*						1/4	
TONUS D'ATTITUDE	Contraction dominante pied (D>G)	0.14						2/2	
RÉFLEXES ROTULIENS	Jambe droite Réflexe difficile à mettre en évidence ou faible	-2.95*						1/3	
	Jambe gauche Réflexe difficile à mettre en évidence ou faible	-3.5*						1/3	

Profil du patient (2/2)

		ZSCORE					NOTE STANDARD
		-2σ	-1σ	M	+1σ	+2σ	
LATÉRALITÉ TONIQUE	Manuelle (sénestralité tonique affirmée)	1.36					-
	Pédestre (dextralité tonique affirmée)	1.62					-
	Homogénéité de la latéralité membres sup/inf.						Normalement croisée
LATÉRALITÉ FONCTIONNELLE	3 latéralités manuelles						-
	Gestuelle : ; Usuelle : G>D; Psychosociale :						
	Pédestre (G>D)	0.74					-
	Oeil directeur						-
MOTRICITÉ GLOBALE	Coordination membre sup. et inf.	1.04					3/3
	Saut d'une hauteur de 20-24 cm : Coordination = Symétrie (d'arrière en avant), Posture = Arrêt stable, deux pieds						
	Equilibre dynamique (marches)	-0.01					2/5*
	Marche en avant sur une ligne droite : Posture : Normale, Durée : Echec (Zscore -32.67*) Marche en arrière sur une ligne droite : Posture : Normale, Durée : Echec (Zscore -1.72*)						
	Equilibre statique	1.78					4/5*
	Tenir debout, pieds joints, yeux fermés : Posture : Normale, Durée : Normale Tenir sur un pied, yeux ouverts (tout âges) (Pied Gauche) : Posture : Normale, Durée : Normale Tenir sur un pied, yeux ouverts (tout âges) (Pied Droit) : Posture : Normale, Durée : Normale Tenir sur la pointe des pieds, yeux ouverts : Posture : Normale, Durée : Normale						
PRAXIES MANUELLES	Prono-supination bi-manuelle symétriques	1.38					4/4
	Qualité : Normale, Durée : Normale						
	Prono-supination bi-manuelle asymétriques	0.91					4/5*
	Qualité : Normale, Durée : Normale						
	Touche pouce-index droit	0.05					3/4*
	Touche pouce-index gauche	0.31					2/4*
	Opposition pouce/doigts droit	0.34					2/4*
	Qualité : Normale, Durée : Normale						
	Opposition pouce/doigts gauche	1.09					4/4
	Qualité : Normale, Durée : Normale						
AUTRES PRAXIES	Praxies de gestes mimés						
	Gnosopraxies (EMG), imitation des mains	0.43					3/3
	Réussite immédiate (RI) : 10, Réussite pièce à pièce (RPP) : 0, Echec à droite (ED) : 0, Echec à gauche (EG) : 0, Echec global (EGI) : 0						
	Gnosopraxies (EMG), imitation des doigts	2.65					5/5
	Réussite immédiate (RI) : 14, Réussite pièce à pièce (RPP) : 2, Echec à droite (ED) : 0, Echec à gauche (EG) : 0, Echec global (EGI) : 0						
GROSSES PRAXIES	Difficultés pour l'habillage						Non
	Difficultés bucco-linguo-faciales						Non
GNOSIES TACTILES DIGITALES	Digitales droites	0.72					3/3
	Digitales gauches	0.56					3/3
HABILITÉ OCULO-MANUELLE	Performance oculo-manuelle main droite						
	Performance oculo-manuelle main gauche						
	Indice de dominance						-
INTÉGRATION DE L'ORIENTATION SPATIALE CORPORELLE	Sur sol	4.3					5/5
	Sur autrui						
	Deux objets ^a						
	Trois objets ^a						
	Plan "Aller" (Tout âges)						
	Plan "Retour" (8 ans 6 mois et plus)	indispo	indispo				indispo*
RYTHME	Tempo spontané						
	Qualité :						
	Auditivo-visuo-kinesthésiques						
	Item structures mains : /2; Item structures pieds : /2; Item structures mains et pieds : /2;						
	Auditivo-perceptivo-moteurs						
	Rythmes frappés dans les mains - Cadence 90 : ; Cadence 60 : ; Cadence 120 : Rythmes marchés - Cadence 90 : ; Cadence 60 : ; Cadence 120 :						
ATTENTION AUDITIVE (SÉLECTIVE ET SOUTENUE)	Frappes 1-2 (16/16 items réussis - 35.0s)	2.64					5/5

^a : Item normé seulement à partir de 5 ans et 9 mois

Figure 41: Exemple de profil du bilan numérique généré à partir de la saisie de cotation de l'examen clinique des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT ; Vaivre-Douret, 2021a).

Examen du tonus	Motricité globale	Praxies manuelles	Gnosies	Latéralité	Habilité manuelle	Intégration corporelle de l'orientation spatiale	Rythme	Attention auditive soutenue et sélective
Tonus de fond : - Ballant poignet - Ballant pieds - Extensibilité épaules - Extensibilité poignets - Extensibilité des poplités - Extensibilité des adducteurs - Extensibilité talon-oreille - Extensibilité flexion-dorsale des pieds - Extensibilité du tronc - Réflexes rotuliens - Mobilisation passive des membres Tonus de soutien :	Équilibre dynamique : - Marche spontanée - Marche sur une ligne - Marche sur la pointe des pieds - Marche sur les talons - Saut Équilibre statique : - Pieds joints - Sur un pied	Prono-supinations bi-manuelles : - Symétriques - Asymétriques Touche pouce-index Opposition pouce-autres doigts Gnosopraxies - Imitation des gestes des mains et des doigts (EMG) Représentation symbolique des	Gnosies tactiles digitales : - Main droite et gauche	Latéralité gestuelle spontanée : - Membres supérieurs Fonctionnelle : - Usuelle (main, œil, pied) Psycho-sociale : - Imitation des gestes	Performances oculo-manuelles : - Main droite et gauche	Sur soi : - Désignation - Sur ordre avec croisement Sur autrui : - Sur ordre de désignation - Imitation avec croisement Par rapport aux objets : - Deux objets - Trois objets Par rapport à un plan	Tempo spontané Auditivo-kinesthésique Auditivo perceptivo-moteur : - Frappés - Marchés	Frappes Go-no-Go : 1-2

<p>- Quatre poussées en station assise</p> <p>Tonus d'attitude :</p> <p>- Poussée faible debout</p> <p>Tonus d'action :</p> <p>- Syncinésies (diadococinésies).</p>	<p>- Sur les pointes des pieds</p>	<p>gestes (latéralité psychosociales)</p>							
---	------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau 7: Domaines d'évaluation de la batterie des fonctions neuro-psychomotrices (NP-MOT).

6. Synthèse du protocole de recherche pour la première étude : Phénotypage et proposition de modèle neurodéveloppemental du Haut Potentiel

Tableau 8:Récapitulatif du protocole scientifique de notre première étude.

Instruments de mesure	Variables			
Échantillons (N=80)	Catégories d'échantillon	Premier critère de différenciation	Nombre	
	HP (groupe expérimental)	QIT ou IAG ≥ 130 (dans le cas de QI=129)	50	
	Non-HP (groupe témoin)	85 < QIT < 115	30	
Évaluation psychométrique de l'intelligence (WISC-V)	Paramètres		Modalités de mesure	
	Indices généraux :			
	1. ICV		Notes composite	
	2. IRF		Notes composite	
	3. IVS		Notes composite	
	4. IMT		Notes composite	
	5. IVT		Notes composite	
	6. QIT		Notes composite	
	7. IAG		Notes composite	
	Subtests :			
	8. Similitudes		Notes Standards	
	9. Vocabulaire		Notes Standards	
	10. Cubes		Notes Standards	
	11. Puzzles Visuels		Notes Standards	
	12. Matrices		Notes Standards	
	13. Balances		Notes Standards	
	14. Mémoire des chiffres		Notes Standards	
	15. Mémoire des images		Notes Standards	
	16. Codes		Notes Standards	
	17. Symboles		Notes Standards	
	Dissociations			
	Différence entre l'indice le plus élevé et le plus faible		Méthode de Grégoire (2009, 2017)	
	Anamnèse	Paramètres		Modalités de mesure et leurs codes
		1. Identité de l'enfant		Catégorielle 0="Non", 1="Oui"
		2. Sexe		Catégorielle 0="Non", 1="Oui"
		3. Age		Numérique continu (mois)
		4. Niveau d'études du père		1="< Bac", 2="Bac", 3="Licence", 4="Master", 5="Doctorat"
5. Niveau d'études de la mère			1="< Bac", 2="Bac", 3="Licence", 4="Master", 5="Doctorat"	
Histoire scolaire de l'enfant				
6. Classe scolaire de l'enfant			0="Non", 1="Oui"	
7. Age école maternelle			Numérique continu	
8. Activités extra-scolaires sportives			0="Non", 1="Oui"	
9. Activités extra-scolaires musicales			0="Non", 1="Oui"	
10. Age écriture majuscule			Numérique continu	
11. Age écriture cursive			Numérique continu	
12. Difficultés pour écrire			0="Non", 1="Oui"	
13. Difficultés pour lire			0="Non", 1="Oui"	
14. Trouble des apprentissages diagnostiqué			0="Non", 1="Oui"	
15. Difficultés mathématiques			0="Non", 1="Oui"	
16. Difficultés travaux manuels			0="Non", 1="Oui"	
17. Difficultés histoire géographie			0="Non", 1="Oui"	
18. Difficultés comportementales			0="Non", 1="Oui"	
19. Aidé pour les devoirs			0="Non", 1="Oui"	
Histoire de grossesse et d'accouchement				
20. Mode d'accouchement			0="Voie basse spontanée", 1="Césarienne"	
21. Problèmes pendant de la grossesse			0="Aucun", 1="MAP", 2="Contractions 5ème mois", 3="Décollement placentaire", 4="Rein multikystiques chez le fœtus", 5="Diabète gestationnel"	
22. Consommation du tabac pendant la grossesse			0="Non", 1="Oui"	
23. Consommation d'alcool pendant la grossesse		0="Non", 1="Oui"		
24. Prise de médicaments pendant la grossesse		0="Non", 1="Oui"		
25. Naissance à terme		0="Non", 1="Oui"		

26. Naissance prématurée	0="Non", 1="Oui"
27. Poids à la naissance	Numérique continu (Kg)
28. Taille à la naissance	Numérique continu (cm)
29. Périmètre crânien	Numérique continu (cm)
30. Apgar à 1 minute	Numérique continu (score brut)
31. Apgar à 10 minutes	Numérique continu (score brut)
32. Problème à la naissance	0="Non", 1="Oui"
33. Réanimation à la naissance	0="Non", 1="Oui"
Données médicales de l'enfant	
34. Épilepsie	0="Non", 1="Oui"
35. Problèmes médicaux	0="Non", 1="Oui"
36. Problèmes orthopédiques	0="Non", 1="Oui"
37. Drains Trans-tympaniques	0="Non", 1="Oui"
38. Myopie	0="Non", 1="Oui"
39. Prise médicamenteuse	0="Non", 1="Oui"
Examens médicaux complémentaires et PEC déjà faits	
40. Pathologie objectivée antérieurement à l'IRM	0="Non", 1="Oui"
41. Pathologie objectivée antérieurement l'EEG	0="Non", 1="Oui"
42. Suivi orthophonique	0="Non", 1="Oui"
43. Suivi orthoptiques	0="Non", 1="Oui"
44. Suivi en psychomotricité	0="Non", 1="Oui"
45. Suivi en ergothérapie	0="Non", 1="Oui"
46. Suivi psychologique et/ou remédiation cognitive	0="Non", 1="Oui"
48. Antécédents médicaux familiaux	0="Non", 1="AVC", 2="Incontinantiopigmentie, tyroïde", 3="Maladie de Steinert", 4="Embolie pulmonaire", 5="Hypercholestrol", 6="Épilepsie", 7="Hypothyroïdie", 8="Cardiaque", 9="Diabète"
49. Antécédents troubles des apprentissages dans la famille	0="Non", 1="Dyslexie", 2="TDAH"
Sommeil	
47. Difficultés d'endormissement	0="Non", 1="Oui"
48. Agitation sommeil	0="Non", 1="Oui"
49. Terreurs nocturnes	0="Non", 1="Oui"
50. Rituels d'endormissement	0="Non", 1="Oui"
51. Autres troubles sommeil	0="Non", 1="Oui"
Alimentation & âge propreté	
52. Téter à la naissance	0="Non", 1="Oui"
53. Mode alimentaire durant les six premiers mois	2="Sein", 3="Biberon", 4="Mixte"
54. Durée d'allaitement	Numérique continu (mois)
55. Difficultés au passage à l'alimentation solide	0="Non", 1="Oui"
56. Sélection de certains aliments	0="Non", 1="Oui"
57. Age d'accès à la propreté diurne	Numérique continu (mois)
58. Age d'accès à la propreté nocturne	Numérique continu (mois)
Mode de garde	
59. A 0-2 mois	2="Nourrice", 3="Crèche", 4="Baby-sitter", 5="Pouponnière", 6="Père", 7="Mère", 8="Garde partagée", 9="Ecole", 10="Deux parents"
60. 3-12 mois	2="Nourrice", 3="Crèche", 4="Baby-sitter", 5="Pouponnière", 6="Père", 7="Mère", 8="Garde partagée", 9="Ecole", 10="Deux parents"
61. 1-2 ans	2="Nourrice", 3="Crèche", 4="Baby-sitter", 5="Pouponnière", 6="Père", 7="Mère", 8="Garde partagée", 9="Ecole", 10="Deux parents"
62. 3-4 ans	2="Nourrice", 3="Crèche", 4="Baby-sitter", 5="Pouponnière", 6="Père", 7="Mère", 8="Garde partagée", 9="Ecole", 10="Deux parents"
63. 4-6 ans	2="Nourrice", 3="Crèche", 4="Baby-sitter", 5="Pouponnière", 6="Père", 7="Mère", 8="Garde partagée", 9="Ecole", 10="Deux parents"
64. Mode de garde stable overall	2="Nourrice", 3="Crèche", 4="Baby-sitter", 5="Pouponnière", 6="Père", 7="Mère", 8="Garde partagée", 9="Ecole", 10="Deux parents"
Développement psychomoteur et langagier	
65. Age de l'acquisition de la station assise	Numérique continu (mois)
66. Age de l'acquisition de la marche autonome	Numérique continu (mois)
67. Déplacé en rampant	0="Non", 1="Oui"
68. Déplacé à 4 pattes	0="Non", 1="Oui"
69. Tendance à marcher sur la pointe des pieds	0="Non", 1="Oui"
70. Age vélo	Numérique continu (mois)
71. Age nager	Numérique continu (mois)
72. Age habillage seul	Numérique continu (mois)

73. Difficultés pour mettre ses vêtements à l'endroit	0="Non", 1="Oui"
74. Difficultés pour ne pas se tromper G/D et devant derrière	0="Non", 1="Oui"
75. Difficultés pour se repérer au niveau corporel	0="Non", 1="Oui"
76. Difficultés pour boutonner ses vêtements	0="Non", 1="Oui"
77. Difficultés pour lacer ses chaussures	0="Non", 1="Oui"
78. Difficultés pour manger avec la cuillère sans renverser	0="Non", 1="Oui"
79. Difficultés pour manger avec la fourchette	0="Non", 1="Oui"
80. Utilise correctement un couteau pour manger	0="Non", 1="Oui"
81. Renverse souvent son verre	0="Non", 1="Oui"
82. Maladroit au quotidien	0="Non", 1="Oui"
83. Contexte de la maladresse	0="Non", 1="Oui"
84. Dextrie	2 droite ; 3 gauche
85. Age de Dextrie	Numérique continu (mois)
86. Même main pour écrire	0="Non", 1="Oui"
87. Même main pour manger	0="Non", 1="Oui"
88. Même main pour dessiner	0="Non", 1="Oui"
89. Gaucher dans la famille	0="Non", 1="Oui"
90. Age de babillage	Numérique continu (mois)
91. L'enfant a imité des bruits d'animaux	0="Non", 1="Oui"
92. Age de l'expression des premiers mots	Numérique continu (mois)
93. Age de l'expression des premières phrases	Numérique continu (mois)
Développement psycho-social	
94. Contact visuel dans l'échange à la naissance	0="Non", 1="Oui"
95. Contact visuel dans l'échange lors des 1 ^{er} mois	0="Non", 1="Oui"
96. Contact visuel dans l'échange à la naissance les premières années	0="Non", 1="Oui"
97. Contact visuel dans l'échange aujourd'hui	0="Non", 1="Oui"
98. Gestes pour indiquer les objets désirés	0="Non", 1="Oui"
99. Jeux d'imitation	0="Non", 1="Oui"
100. S'adapte facilement à des nouvelles personnes	0="Non", 1="Oui"
101. Reconnaît facilement les personnages dans un livre ou TV	0="Non", 1="Oui"
102. Communique aisément avec ses pairs	0="Non", 1="Oui"
103. Utilise des formules adaptées à des fins sociales	0="Non", 1="Oui"
104. Il a du mal à respecter le tour de parole	0="Non", 1="Oui"
105. Il a du mal à utiliser les habilités verbales et non verbales pour réguler l'interaction sociale	0="Non", 1="Oui"
106. Il comprend l'humour	0="Non", 1="Oui"
107. Il a des intérêts restreints	0="Non", 1="Oui"
108. Il manifeste des mouvements stéréotypés	0="Non", 1="Oui"
Comportement de l'enfant dans sa vie quotidienne	
109. Réagit vivement à la frustration	0="Non", 1="Oui"
110. Angoisse de séparation	0="Non", 1="Oui"
111. Difficultés à accepter les interdits	0="Non", 1="Oui"
112. Réaction émotionnelles excessives	0="Non", 1="Oui"
113. Très peu réactif émotionnellement	0="Non", 1="Oui"
114. Tendance à l'isolement	0="Non", 1="Oui"
115. Hypersensibilité particulière	0="Non", 1="Oui"
116. Il a des amis de son âge à l'école	0="Non", 1="Oui"
117. Il a un-e meilleur-e ami-e	0="Non", 1="Oui"
118. Il joue (jouait) spontanément en l'absence d'un adulte	0="Non", 1="Oui"
119. Il joue (jouait) avec plaisir en compagnie des autres enfants	0="Non", 1="Oui"
120. Il joue (jouait) seul en étant avec d'autres enfants	0="Non", 1="Oui"
121. Il joue (jouait) avec plaisir en compagnie des enfants plus âgés	0="Non", 1="Oui"
122. Il reste isolé lors de la récréation	0="Non", 1="Oui"
123. Il est épanoui socialement	0="Non", 1="Oui"
124. Il est souvent invité aux anniversaires	0="Non", 1="Oui"
125. Il apprécie les activités de groupe	0="Non", 1="Oui"
126. Il fait objet de moquerie des autres	0="Non", 1="Oui"
127. Parents exigeants	0="Non", 1="Oui"
128. Parents présents au quotidien pour les devoirs	0="Non", 1="Oui"
129. Parents présents au quotidien pour le bain	0="Non", 1="Oui"
130. Parents présents au quotidien pour les jeux	0="Non", 1="Oui"
131. L'enfant des fautes d'étourderies ou peu attentif aux détails	0="Non", 1="Oui"
132. Il a du mal à s'organiser	0="Non", 1="Oui"
133. Il est facilement distrait par les stimuli externes	0="Non", 1="Oui"
134. Il se tortille souvent sur son siège	0="Non", 1="Oui"
135. Il se lève souvent quand il doit être assis	0="Non", 1="Oui"
136. Il est souvent agité	0="Non", 1="Oui"
137. Il répond avant la fin des questions	0="Non", 1="Oui"
138. Il a du mal à attendre son tour	0="Non", 1="Oui"
139. Il impose sa présence	0="Non", 1="Oui"

	<p align="center">Motricité fine dans la vie quotidienne</p> <p>140. Il à l'aise pour dessiner en suivant un modèle 0="Non", 1="Oui"</p> <p>141. Il est à l'aise pour faire des puzzles 0="Non", 1="Oui"</p> <p>142. Il est à l'aise pour les jeux de construction en suivant un modèle 0="Non", 1="Oui"</p> <p>143. Il est passé par les jeux d'imitation 0="Non", 1="Oui"</p> <p>144. Il est à l'aise pour le coloriage 0="Non", 1="Oui"</p> <p>145. Il est à l'aise pour le découpage 0="Non", 1="Oui"</p> <p>146. Il aime lire 0="Non", 1="Oui"</p> <p align="center">Inquiétudes des parents au quotidien</p> <p>147. État de tristesse 0="Non", 1="Oui"</p> <p>148. Motricité globale 0="Non", 1="Oui"</p> <p>149. Motricité fine 0="Non", 1="Oui"</p> <p>150. S'adapter aux jeux collectifs 0="Non", 1="Oui"</p> <p>151. Heurte les objets 0="Non", 1="Oui"</p> <p>152. Difficultés pour apprendre des nouvelles connaissances 0="Non", 1="Oui"</p> <p>153. Agitation motricité et difficultés attentionnelles 0="Non", 1="Oui"</p> <p>154. Développement social 0="Non", 1="Oui"</p> <p>155. Compréhension des signes 0="Non", 1="Oui"</p> <p>156. Confiance en soi 0="Non", 1="Oui"</p> <p>157. Très émotionnel 0="Non", 1="Oui"</p>
Questionnaires aux parents (version française) : Autism-Spectrum Quotient (AQ) Empathy Quotient (EQ) Children's Communication Checklist (CCC)	<p align="center">Paramètres</p> <p align="center">Modalités de mesure codées</p> <p align="center">Autism-Spectrum Quotient (AQ) : dépistage d'une éventuelle symptomatologie autistique,</p> <p>1. Score total Score brut</p> <p>2. AQ habiletés sociales Score brut</p> <p>3. AQ flexibilité attentionnelle Score brut</p> <p>4. AQ attention aux détails Score brut</p> <p>5. AQ communication Score brut</p> <p>6. AQ imagination Score brut</p> <p align="center">Empathy Quotient (EQ) : évaluer les capacités d'empathie cognitive,</p> <p>7. Score total d'empathie Score brut</p> <p align="center">Children's Communication Checklist (CCC) : évaluer les habiletés sémantico-pragmatiques,</p> <p>8. Composante pragmatique Score Z</p> <p>9. Intelligibilité et fluence Score Z</p> <p>10. Syntaxe Score Z</p> <p>11. Initiation à la conversation Score Z</p> <p>12. Cohérence Score Z</p> <p>13. langage stéréotypé Score Z</p> <p>14. Contexte conversationnel Score Z</p> <p>15. Rapport conversationnel Score Z</p> <p>16. Relations sociales Score Z</p> <p>17. Centres d'intérêt restreints Score Z</p>
Questionnaires aux enfants (version française) : Questionnaire de dépression pour enfant (MDI-C) ; Questionnaire d'anxiété pour enfant (R-CMAS) ; Questionnaire d'attachement	<p align="center">Paramètres</p> <p align="center">Modalités de mesure codées</p> <p align="center">Échelle standardisée d'évaluation de la dépression chez l'enfant (MDI-C).</p> <p>1. MDI-C Score total objectivant ou pas un tableau clinique de dépression Score T</p> <p>2. MDI-C Anxiété Score T</p> <p>3. MDI-C estime de soi Score T</p> <p>4. MDI-C humeur triste Score T</p> <p>5. MDI-C sentiment d'impuissance Score T</p> <p>6. MDI-C introversiion sociale Score T</p> <p>7. MDI-C faible énergie Score T</p> <p>8. MDI-C pessimisme Score T</p> <p>9. MDI-C provocation Score T</p> <p align="center">Échelle d'anxiété pour enfant (R-CMAS),</p> <p>10. R-CMAS score total Centile</p> <p>12. R-CMAS anxiété physiologique Centile</p> <p>13. R-CMAS hypersensibilité Centile</p> <p>14. R-CMAS préoccupation sociale Centile</p> <p>15. R-CMAS mensonge Centile</p> <p align="center">Questionnaire d'attachement</p> <p>16. Parents présents pour écouter la colère Score brut (échelle de Likert)</p> <p>17. Peut compter sur ses parents si besoin Score brut (échelle de Likert)</p> <p>18. Parents toujours décevants Score brut (échelle de Likert)</p> <p>19. Ne s'attend pas à ce l'on prenne ses soucis au sérieux Score brut (échelle de Likert)</p> <p>20. Il trouve injuste de devoir régler ses problèmes seul Score brut (échelle de Likert)</p> <p>21. Très en colère lorsque les parents ne l'aident pas Score brut (échelle de Likert)</p> <p>22. Colère face aux parents qui pourraient lui accorder plus de temps Score brut (échelle de Likert)</p> <p>23. Peur de perdre l'amour de ses parents Score brut (échelle de Likert)</p> <p>24. Peur terrible que sa relation avec ses parents s'arrête Score brut (échelle de Likert)</p> <p>25. Il est certain que ses parents l'aimeront toujours Score brut (échelle de Likert)</p>

Évaluation neuropsychologique standardisée NEPSY-II, WISC-V Figure complexe de Rey K-ABC-II BHK	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Paramètres</th> <th>Modalités de mesure codées</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Flexibilité mentale : NEPSY-II (catégorisation)</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>2. Planification : Tour de Londres</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>3. Capacités visuo-constructives : WISC-V (cubes) + cubes de Kohs</td> <td>Note Standard et Score Z respectivement</td> </tr> <tr> <td>4. Traitement visuo-spatial : figure complexe de Rey</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>5. Capacités neurovisuelles visuo-perceptives : Fruits enchevêtrés et silhouettes d'animaux (représentation mentale) et Mélimélo + K-ABC II (reconnaissance de formes) + VMI perceptif</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>6. Capacités de planification et mémoire visuo-spatio-constructive à court terme : figure de Rey mémoire et tour de Londres (score mémoire)</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>7. Capacités neurovisuelles : attention sélective visuelle (barrage des O)</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>8. Capacités neurovisuelles : attention sélective visuelle (stratégie)</td> <td>Pourcentage cumulé</td> </tr> <tr> <td>9. Graphomotricité : BHK (vitesse et qualité d'écriture).</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>10. Attention sélective auditive : NEPSY-II</td> <td>Note standard</td> </tr> </tbody> </table>	Paramètres	Modalités de mesure codées	1. Flexibilité mentale : NEPSY-II (catégorisation)	Score Z	2. Planification : Tour de Londres	Score Z	3. Capacités visuo-constructives : WISC-V (cubes) + cubes de Kohs	Note Standard et Score Z respectivement	4. Traitement visuo-spatial : figure complexe de Rey	Score Z	5. Capacités neurovisuelles visuo-perceptives : Fruits enchevêtrés et silhouettes d'animaux (représentation mentale) et Mélimélo + K-ABC II (reconnaissance de formes) + VMI perceptif	Score Z	6. Capacités de planification et mémoire visuo-spatio-constructive à court terme : figure de Rey mémoire et tour de Londres (score mémoire)	Score Z	7. Capacités neurovisuelles : attention sélective visuelle (barrage des O)	Score Z	8. Capacités neurovisuelles : attention sélective visuelle (stratégie)	Pourcentage cumulé	9. Graphomotricité : BHK (vitesse et qualité d'écriture).	Score Z	10. Attention sélective auditive : NEPSY-II	Note standard																						
	Paramètres	Modalités de mesure codées																																											
	1. Flexibilité mentale : NEPSY-II (catégorisation)	Score Z																																											
	2. Planification : Tour de Londres	Score Z																																											
	3. Capacités visuo-constructives : WISC-V (cubes) + cubes de Kohs	Note Standard et Score Z respectivement																																											
	4. Traitement visuo-spatial : figure complexe de Rey	Score Z																																											
	5. Capacités neurovisuelles visuo-perceptives : Fruits enchevêtrés et silhouettes d'animaux (représentation mentale) et Mélimélo + K-ABC II (reconnaissance de formes) + VMI perceptif	Score Z																																											
	6. Capacités de planification et mémoire visuo-spatio-constructive à court terme : figure de Rey mémoire et tour de Londres (score mémoire)	Score Z																																											
	7. Capacités neurovisuelles : attention sélective visuelle (barrage des O)	Score Z																																											
	8. Capacités neurovisuelles : attention sélective visuelle (stratégie)	Pourcentage cumulé																																											
9. Graphomotricité : BHK (vitesse et qualité d'écriture).	Score Z																																												
10. Attention sélective auditive : NEPSY-II	Note standard																																												
Evaluation neuropsychologique plus spécifique à la cognition sociale (NEPSY-II)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Paramètres</th> <th>Modalités de mesure codées</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Théorie de l'esprit : NEPSY-II (tâche contextuelle et verbale)</td> <td>Note Standard</td> </tr> <tr> <td>2. Reconnaissance des affects : NEPSY-II (content, triste, neutre, peur, colère, dégoût)</td> <td>Note Standard</td> </tr> </tbody> </table>	Paramètres	Modalités de mesure codées	1. Théorie de l'esprit : NEPSY-II (tâche contextuelle et verbale)	Note Standard	2. Reconnaissance des affects : NEPSY-II (content, triste, neutre, peur, colère, dégoût)	Note Standard																																						
	Paramètres	Modalités de mesure codées																																											
1. Théorie de l'esprit : NEPSY-II (tâche contextuelle et verbale)	Note Standard																																												
2. Reconnaissance des affects : NEPSY-II (content, triste, neutre, peur, colère, dégoût)	Note Standard																																												
Évaluation des capacités langagières de lecture : Capacités de lecture ODEDYS	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Paramètres</th> <th>Modalités de mesure codées</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Répétition de mots réguliers (procédure lexicale)</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>2. Répétition de mots irréguliers (procédure sémantique)</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td>3. Pseudo-mots (capacités métaphonologiques analytiques)</td> <td>Score Z</td> </tr> </tbody> </table>	Paramètres	Modalités de mesure codées	1. Répétition de mots réguliers (procédure lexicale)	Score Z	2. Répétition de mots irréguliers (procédure sémantique)	Score Z	3. Pseudo-mots (capacités métaphonologiques analytiques)	Score Z																																				
	Paramètres	Modalités de mesure codées																																											
	1. Répétition de mots réguliers (procédure lexicale)	Score Z																																											
2. Répétition de mots irréguliers (procédure sémantique)	Score Z																																												
3. Pseudo-mots (capacités métaphonologiques analytiques)	Score Z																																												
Examen électrophysiologique d'oculométrie	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Paramètres</th> <th>Modalités de mesure codées</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Capacités de fixation oculaire,</td> <td>Scores bruts codés par des algorithm</td> </tr> <tr> <td>2. Gain de poursuite lisse</td> <td>Scores bruts codés par des algorithm</td> </tr> <tr> <td>3. Précision de poursuite lisse</td> <td>Scores bruts codés par des algorithm</td> </tr> <tr> <td>4. Erreur d'entropie de poursuite lisse</td> <td>Scores bruts codés par des algorithm</td> </tr> </tbody> </table>	Paramètres	Modalités de mesure codées	1. Capacités de fixation oculaire,	Scores bruts codés par des algorithm	2. Gain de poursuite lisse	Scores bruts codés par des algorithm	3. Précision de poursuite lisse	Scores bruts codés par des algorithm	4. Erreur d'entropie de poursuite lisse	Scores bruts codés par des algorithm																																		
	Paramètres	Modalités de mesure codées																																											
	1. Capacités de fixation oculaire,	Scores bruts codés par des algorithm																																											
	2. Gain de poursuite lisse	Scores bruts codés par des algorithm																																											
3. Précision de poursuite lisse	Scores bruts codés par des algorithm																																												
4. Erreur d'entropie de poursuite lisse	Scores bruts codés par des algorithm																																												
Évaluation développementale des fonctions neuro-psychomotrices (Batterie NP-MOT) standardisée et normée	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Paramètres</th> <th>Modalités de mesure codées</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Tonus de fond</td> </tr> <tr> <td>1. Ballant du poignet</td> <td>Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z</td> </tr> <tr> <td>2. Ballant du pied</td> <td>Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z</td> </tr> <tr> <td>3. Extensibilité des épaules</td> <td>Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z</td> </tr> <tr> <td>4. Extensibilité du poignet</td> <td>Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu)</td> </tr> <tr> <td>5. Extensibilité des pied</td> <td>Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu) jambe fléchie et tendu.</td> </tr> <tr> <td>6. Stretch (plusieurs types) jambe fléchie et tendu</td> <td>0="Non", 1="Oui"</td> </tr> <tr> <td>7. Poplités</td> <td>Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu)</td> </tr> <tr> <td>8. Adducteurs</td> <td>Score Z & Degré</td> </tr> <tr> <td>9. Talon-oreille</td> <td>Score Z & Degré</td> </tr> <tr> <td>10. Extensibilité du Tronc</td> <td>Hypotonie Axiale (grande): 1 (Moyenne): 2 (petite) : 3 (extension>flexion) & Score Z</td> </tr> <tr> <td>10. Mobilisation passive</td> <td>Score Z</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Tonus d'action</td> </tr> <tr> <td>11. Syncinésies (3 épreuves)</td> <td>Scores Z</td> </tr> <tr> <td>12. Syncinésies (hémicorps D)</td> <td>Scores Z</td> </tr> <tr> <td>13. Syncinésies (hémicorps G)</td> <td>Scores Z</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Tonus de soutien</td> </tr> <tr> <td>14. Les quatre poussées</td> <td>Scores Z</td> </tr> <tr> <td>15. Contraction dominante du pied</td> <td>Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z</td> </tr> <tr> <td>16. Réflexe rotuliens (jambe D)</td> <td>Qualité (amplitude) : Normal 2 ; Vif 3; faible 4. & Score Z</td> </tr> <tr> <td>17. Réflexe rotuliens (jambe G)</td> <td>Qualité (amplitude) : Normal 2 ; Vif 3; faible 4. & Score Z</td> </tr> </tbody> </table>	Paramètres	Modalités de mesure codées	Tonus de fond		1. Ballant du poignet	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z	2. Ballant du pied	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z	3. Extensibilité des épaules	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z	4. Extensibilité du poignet	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu)	5. Extensibilité des pied	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu) jambe fléchie et tendu.	6. Stretch (plusieurs types) jambe fléchie et tendu	0="Non", 1="Oui"	7. Poplités	Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu)	8. Adducteurs	Score Z & Degré	9. Talon-oreille	Score Z & Degré	10. Extensibilité du Tronc	Hypotonie Axiale (grande): 1 (Moyenne): 2 (petite) : 3 (extension>flexion) & Score Z	10. Mobilisation passive	Score Z	Tonus d'action		11. Syncinésies (3 épreuves)	Scores Z	12. Syncinésies (hémicorps D)	Scores Z	13. Syncinésies (hémicorps G)	Scores Z	Tonus de soutien		14. Les quatre poussées	Scores Z	15. Contraction dominante du pied	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z	16. Réflexe rotuliens (jambe D)	Qualité (amplitude) : Normal 2 ; Vif 3; faible 4. & Score Z	17. Réflexe rotuliens (jambe G)	Qualité (amplitude) : Normal 2 ; Vif 3; faible 4. & Score Z
	Paramètres	Modalités de mesure codées																																											
	Tonus de fond																																												
	1. Ballant du poignet	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z																																											
	2. Ballant du pied	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z																																											
	3. Extensibilité des épaules	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z																																											
	4. Extensibilité du poignet	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu)																																											
	5. Extensibilité des pied	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu) jambe fléchie et tendu.																																											
	6. Stretch (plusieurs types) jambe fléchie et tendu	0="Non", 1="Oui"																																											
	7. Poplités	Score Z & Degré à droite et à gauche (numérique continu)																																											
	8. Adducteurs	Score Z & Degré																																											
	9. Talon-oreille	Score Z & Degré																																											
	10. Extensibilité du Tronc	Hypotonie Axiale (grande): 1 (Moyenne): 2 (petite) : 3 (extension>flexion) & Score Z																																											
	10. Mobilisation passive	Score Z																																											
	Tonus d'action																																												
	11. Syncinésies (3 épreuves)	Scores Z																																											
	12. Syncinésies (hémicorps D)	Scores Z																																											
13. Syncinésies (hémicorps G)	Scores Z																																												
Tonus de soutien																																													
14. Les quatre poussées	Scores Z																																												
15. Contraction dominante du pied	Résistance : (D>G) =2 (G>D) = 3 (G= D) = 4 & Score Z																																												
16. Réflexe rotuliens (jambe D)	Qualité (amplitude) : Normal 2 ; Vif 3; faible 4. & Score Z																																												
17. Réflexe rotuliens (jambe G)	Qualité (amplitude) : Normal 2 ; Vif 3; faible 4. & Score Z																																												

Latéralité tonique neurologique	
18. Manuelle	Dextralité tonique affirmé 2 ; Dextralité mal affirmé 3 ; Sénestralité affirmée 4 ; Sénestralité mal affirmée 5 ; Latéralité indéterminé 6. & score Z
19. Pédestre	Dextralité tonique affirmé 2 ; Dextralité mal affirmé 3 ; Sénestralité affirmée 4 ; Sénestralité mal affirmée 5 ; Latéralité indéterminé 6. & score Z
20. Membres sup/inf	Normalement croisé 0 ; Indéterminée 1 ; Discordante 2.
Latéralité fonctionnelle	
21. Manuelle (gestuelle spontanée, usuelle, psychosociale)	2 (D>G) 3 (G>D) 4 (G= D) ; 5 (D mal affirmé) ; 6 (G mal affirmé) ; 7(indéterminée) & Score Z
22. Pédestre	2 (D>G) ; 3 (G>D) ; 4 (G= D) & score Z
23. Œil directeur	2 (D>G) ; 3 (G>D) ; 4 (G= D) & score Z
Motricité globale	
24. Coordination membre sup/inf	Score Z
25. Équilibre dynamique	Score Z
26. Équilibre statique	Score Z
Praxies manuelles	
27. Pronosupination bi-manuelle symétrique	Score Z
28. Pronosupination bi-manuelle asymétrique	Score Z
29. Touche pouce-index (D et G)	Score Z
30. Opposition pouce/doigts (D et G)	Score Z
31. Praxie de gestes mimés	Score Z
32. Gnosopraxies des mains (EMG)	Score Z
33. Gnosopraxies des doigts (EMG)	Score Z
Autres praxies	
34. Difficultés d'habillage	0="Non", 1="Oui"
35. Difficultés bucco-lingo-faciales	0="Non", 1="Oui"
Gnosies tactiles digitales	
36. Digital D et G	Score Z
Habilité oculo-manuelle	
37. Habiletés oculo-manuelles D et G	Score Z
38. Indice de dominance	Score Z
Intégration de l'orientation spatiale corporelle	
39. Sur soi et sur autrui	Score Z
40. Deux objets et trois objets	Score Z
41. Par rapport à un plan	Score Z
Rythme et attention auditive	
42. Tempo-spontané	Score Z
43. Auditivo-visuo-kinesthésique	Score Z
44. Auditivo-perceptivo-moteur	Score Z
45. Go-No-Go (frapes 1-2)	Score Z

Étude 2 : Tableau clinique du trouble développemental de la coordination (TDC) chez les enfants HP comparés aux enfants à Haut QI vs non-HP avec TDC. (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2021 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2022 ; Vaivre-Douret, Hamdioui, & Cannafarina, 2020)

Le comité d'éthique institutionnelle de l'Université Paris Cité a validé le protocole scientifique de cette étude (CER-PD 2018-72 ; CER-PD 2019-49). Les participants ont fourni un consentement éclairé écrit avant le début de l'étude, signé par un parent ou un représentant légal et les enfants avant l'inscription à l'étude.

1. Participants

Les données de trente-huit enfants (âge moyen=9 ans, écart-type=2.7) ayant été diagnostiqués avec un TDC sur la base des DSM-5 (APA, 2013) ont été recueillies antérieurement à l'unité. Les critères d'inclusion étaient les suivants : les enfants atteints de déficit sensoriel, de dyslexie, de TDAH (basés sur les critères du DSM-5), d'anomalies psychiatriques ou d'anomalies médicales générales et de lésions cérébrales traumatiques n'ont pas été inclus.

De même, aucun enfant né prématuré (<37 semaines) n'a été inclus, et pas de kinésithérapie ni de médicaments. Des enfants de 6 à 12 ans ont été recrutés dans la consultation du service de pédopsychiatrie de l'hôpital Universitaire Necker à Paris, France. Tous répondaient au critère A du TDC décrit dans le DSM-5, avec une acquisition et une exécution d'habiletés motrices nettement inférieures au niveau attendu compte tenu de l'âge chronologique du sujet et malgré des opportunités d'apprentissage et d'utilisation de ces habiletés avec des tests standardisés (Vaivre-Douret, 2006). Les enfants répondant aux critères d'inclusion ont été classés dans les trois sous-types de TDC validés dans l'étude de Lalanne et al. (2012) et Vaivre-Douret et al. (2011) que nous avons présentées plus en détails dans le dernier chapitre de la revue de littérature.

Trois groupes appariés ont été étudiés : 19 enfants non-HP avec TDC (QI=90-110), 10 enfants avec un Haut quotient intellectuel et 9 enfants HP. Au sein de ce dernier groupe, on distingue les QI supérieurs à partir de +1,33 E.T. (HIQ=120-129), et les QI très supérieurs à +2 E.T. (QI≥130) qui sont identifiés comme enfants HP par l'échelle d'intelligence de Wechsler (Wechsler, 2003).

Les trois groupes ont été appariés selon les données sociodémographiques, l'âge ($t = -0.069$, $df=18$, $p=0.94$, [95% CI, 95.16 to 124.24]), l'absence de trouble du langage $\chi^2(1) = 0.3$, $p=0.73$, [95% CI, 0.72 to 0.74], et l'absence d'anomalies ophtalmologiques $\chi^2(1) = 0.3$, $p=0.73$, [95% CI, 0.72 to 0.74]. Seuls les scores de QI sont identifiés comme critère de différenciation ($t=12.87$, $df=18$, $p<0.0001$, [95% CI, 127.36 to 138.01]).

2. Matériel

2.1. Évaluation neuropsychologique

Tous les enfants recrutés dans l'échantillon avaient rempli une mesure standard de l'intelligence, l'échelle d'intelligence de Wechsler pour les enfants en fonction de l'âge (WISC-IV ; Wechsler, 2003). Les scores d'indices ont été exprimés sous forme de scores standardisés (moyenne=100, E.T.=15). Nous avons complété les investigations cognitives par l'évaluation de l'intégration visuomotrice et de la structuration visuo-spatio-constructive (cubes de Kohs), et fonctions exécutives (test de la Tour de Londres et Labyrinthes de Porteus) (Korkman et al., 2003).

2.2. Évaluation des fonctions neuropsychomotrices et neurovisuelles

Nous avons utilisé la batterie NP-MOT (Vaivre-Douret, 2006) pour l'évaluation physique standardisée des fonctions neuropsychomotrices. Nous avons également fait passer à tous les enfants l'examen neurovisuel électrophysiologique, comprenant les poursuites visuelles lisses et le test de potentiel évoqué visuel (VEP). Ces deux tests ont été utilisés afin d'analyser les voies motrices sensorielles et visuelles.

Pour une éventuelle dysgraphie associée, nous avons utilisé l'échelle standardisée d'Ajuriaguerra de l'écriture, un score de 19 à 25 indique une écriture significativement dysgraphique. Enfin, un formulaire d'anamnèse a également été utilisé pour recueillir des données sur la grossesse et l'accouchement, le développement psychomoteur (par exemple, s'asseoir seul, marcher), et toute difficulté avec le jeu de construction, comme les puzzles et les blocs Lego suivant un modèle relatif aux marqueurs développementaux du TDC objectivés dans l'étude antérieure de Vaivre-Douret et al. (2011b). Le livret scolaire de l'enfant a été examiné pour déterminer s'il y avait certaines difficultés d'apprentissage (comme les mathématiques, le français écrit).

Méthodes d'analyse des données de la première et la deuxième étude

1. Analyses descriptives

Les variables quantitatives sont décrites selon la moyenne et l'écart-type puisque tous les tests utilisés dans ce travail sont standardisés et normés respectant la maturation physiologique des différentes fonctions chez l'enfant. Pour certaines analyses en sous-groupe, la médiane et le percentile sont également présentés. Ces variables sont les suivantes : âge (mois), scores aux tests neuropsychologiques, à la batterie NP-MOT et M-ABC, scores bruts ou T-scores aux questionnaires psychoaffectifs, valeurs brutes à l'Eye-Tracking.

Les variables qualitatives sont décrites par les effectifs et pourcentages, mais aussi par des valeurs allant de 1 à 5 sous forme d'échelle de Likert à l'échelle d'attachement (QANRA). Ces variables sont les suivantes : sexe, classe scolaire, latéralité, profession et niveau d'étude des parents, variables d'anamnèse variables. La variable indépendante est le type de groupe (HP ou non-HP), tandis que les variables dépendantes sont les résultats à l'examen d'évaluation clinique standardisée et normée des fonctions neuropsychomotrices, des fonctions neuropsychologiques et neurovisuelles, socio-psycho-affectives.

2. Analyses inférentielles

Le traitement statistique des données a été effectué en collaboration avec Pr. Lotfi Said, Professeur des Université à l'école normale supérieure de Casablanca et vice-directeur du laboratoire pluridisciplinaire en sciences de l'éducation et ingénierie de la formation (LMSEIF). Nous avons utilisé les logiciels IBM-SPSS Modeler (Wagner, 2019) qui est un programme d'analyse prédictive sophistiquée et le logiciel R (Team, 2015). Nous avons utilisé un seuil de $p=0.05$ pour indiquer la significativité statistique. Lorsque la condition d'égalité des variances n'est pas remplie dans le test T, nous avons fait recours au test non paramétrique Mann Whitney. La méthode de Bonferroni a été systématiquement utilisée pour tenir compte des comparaisons multiples. Après les analyses descriptives, des analyses post-hoc (des analyses statistiques spécifiées après que les données sont vues) ont été effectuées. Pour

analyser la différence statistique entre les HP et les enfants non-HP, le test t de Student (t) pour échantillons indépendants et de tailles différentes a été utilisé pour les données quantitatives. L'analyse de la variance (ANOVA) et l'analyse de la variance multivariée (MANOVA) ont été utilisées pour certaines analyses lorsque toutes les conditions d'application étaient respectées afin d'analyser la répartition des individus de l'échantillon d'enfants en fonction de l'âge, sexe et/ou profil de QI (homogène/hétérogène). Pour vérifier s'il existe des associations significatives entre les variables qualitatives dichotomiques, pour la comparaison des deux groupes d'enfants au regard des variables qualitatives, nous avons utilisé le test du Khi deux (χ^2). Pour les variables numériques continues, c'est un test de corrélation de Pearson (r) qui a été utilisé. Un test de Spearman (ρ) a été utilisé pour les corrélations non paramétriques. L'ensemble des analyses a été effectué domaine par domaine afin de contrôler la complexité et la multitude des variables par rapport au nombre des sujets.

Pour prédire le HP sur la base du phénotypage effectuée dans cette étude, nous avons d'abord retenues 65 significatives différenciant les enfants HP des non-HP, pour cela nous avons exploité la Modélisation des Données de l'Apprentissage Machine (MDAM) qui fait partie de l'analyse supervisée de l'intelligence artificielle dans le traitement des données par machine learning. La première étape est le partitionnement des données dont 70 % ont été réservées pour l'apprentissage du modèle et 30 % ont été consacrées pour tester ce dernier. Dans la deuxième étape, nous avons comparé plusieurs modèles prédictifs : SVM (support vector machine), réseau neuronal, réseau bayésien, CART (classification and regression trees for machine learning), CHAID algorithm (Chi-squared Automatic Interaction Detector), C5, Régression, Arbre C&RT (classification and regression trees), Linéaire, Linéaire généralisé. Deux indices statistiques sont retenus pour cette comparaison : pour sélectionner le meilleur modèle prédictif du QIT : la corrélation, et l'erreur relative. Ainsi, une fois un modèle est retenu, nous avons calculé le degré d'importance de chaque prédicteur significatif schématisant ainsi la prédiction.

Dans le cas spécifique de l'utilisation des données d'Eye-Tracking pour la prédiction du Haut Potentiel (données traitables : 31 HP et 20 non-HP), nous avons utilisé l'approche de clustering spatio-temporel. Pour une méta-analyse de la revue de littérature, nous avons utilisé le modèle cartésien d'enrichissement « Pathway Analysis ». Pour tester si le modèle est valide nous nous sommes basés sur le référentiel des indices statistiques indiqués dans l'annexe 9.

Résultats

Étude 1 : Phénotypage et proposition de modèle neurodéveloppemental du Haut Potentiel

Étant donné le nombre très important de nos variables ($n=379$) et la complexité du protocole expérimental pluridisciplinaire, nous avons opté pour la stratégie statistique suivante afin de traiter les données de manière valide respectant l'équilibre entre le nombre de participants ($n=80$) et celui des variables : Tout d'abord, nous avons constitué des catégories de variables par domaine. Ainsi quarante-deux domaines sont identifiés. Ensuite, nous avons réalisé des comparaisons de moyennes entre les deux groupes d'enfants HP et non-HP, domaine par domaine de fonctions communes (exemple : fonctions exécutives, données médicales, etc.). Une synthèse de données significatives a été effectuée, ce qui nous a permis de comparer uniquement ces dernières chez les deux groupes au regard du profil intellectuel (homogène/hétérogène). Ainsi, nous avons enrichi notre réflexion et avons orienté nos analyses de corrélations, de régression, de classification et de modélisation. Nous présentons ainsi les données sociodémographiques de notre échantillon en premier plan, puis exposons la comparaison des deux groupes d'enfants HP et non-HP.

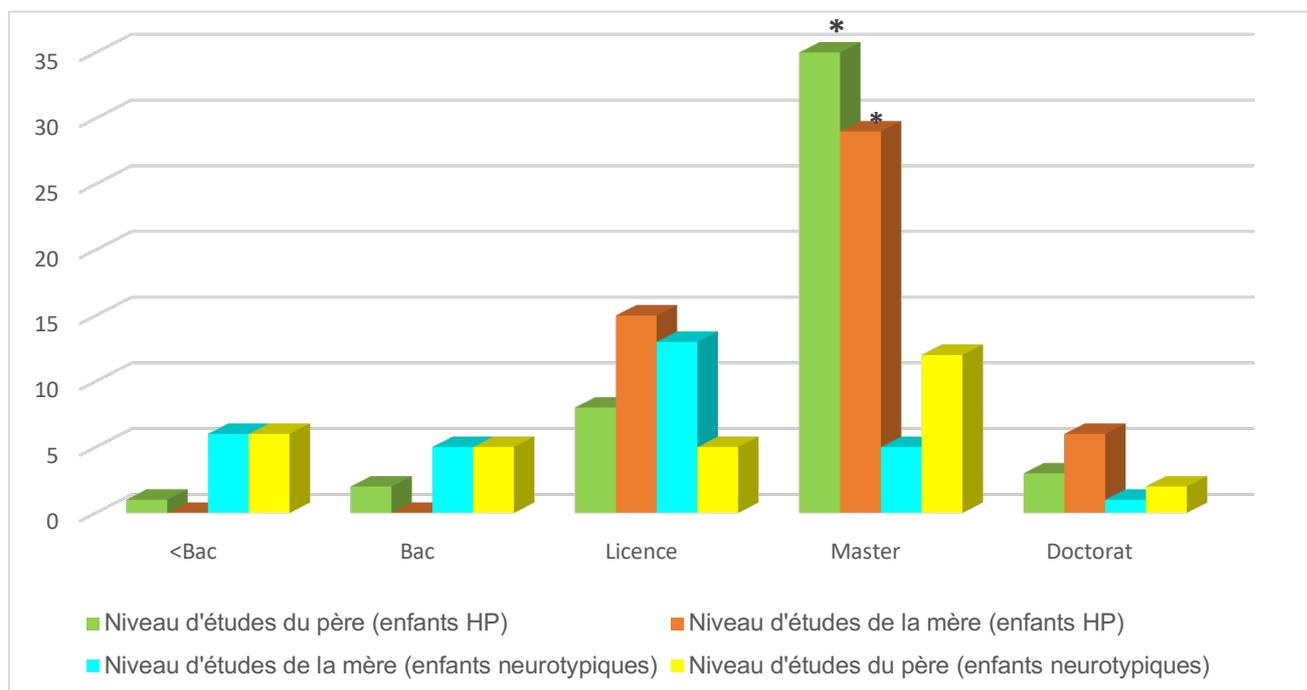
1. Caractéristiques générales de l'échantillon

1.1. Caractéristiques sociodémographiques concernant les parents des enfants HP et non-HP

1.1.1. Comparaison du niveau d'étude et profession des parents d'enfants HP et non-HP

Concernant les caractéristiques scolaires des parents, il existe une différence significative entre le groupe d'enfants non-HP et HP en faveur de ce dernier, que ce soit pour la mère ($\chi^2 (1) = 22.58, p=0.002$) ou pour le père ($\chi^2 (1) = 16.43, p<0.001$), avec un taux significativement plus élevé (père : 70% vs 40% dans le groupe neurotypique ; mère : respectivement 58% vs 16.67%) des parents qui ont atteint le niveau d'études supérieures de niveau Master (figure 42). Au sein du groupe d'enfants

HP, il existe plus de pères qui atteignent le niveau master alors que le niveau doctorat est atteint plus par les mères (12% vs 6% des pères).

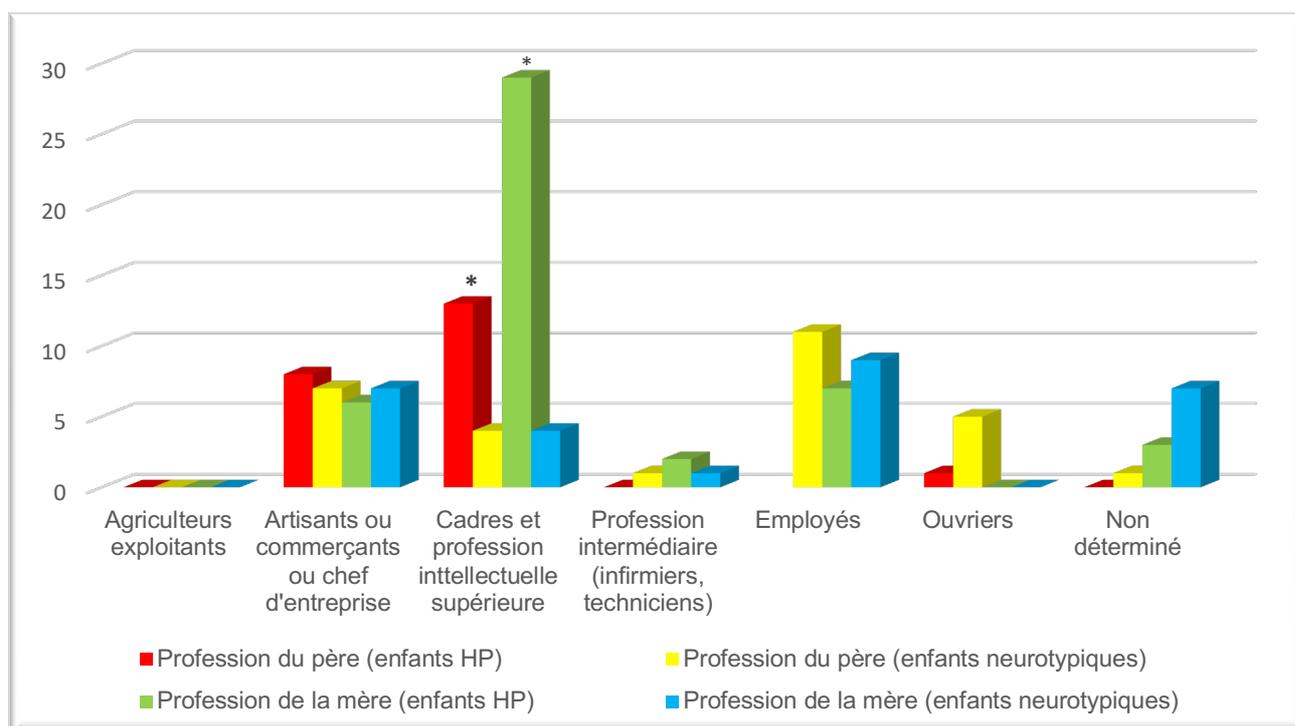


*significativité à $p < 0.001$; HP : Haut Potentiel ; neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 42: Profil scolaire des parents d'enfants HP et non-HP.

1.1.2. Comparaison du niveau socioprofessionnel des parents d'enfants HP et neurotypiques au regard des données de l'INSEE

En ce qui concerne le profil professionnel des parents, les données sont codées en fonction de des catégories socioprofessionnelles de l'institut national de la statistique et des études économiques (Drees et Insee, 2021). Il existe significativement plus de cadres et profession intellectuelle supérieure dans le groupe d'enfants HP particulièrement pour la mère (58% ; père : 26%) que dans le groupe d'enfants non-HP (mère : 13% ; père 13%) (H de Kruskal-Wallis (1) = 1.13, $p = 0.001$) (figure 43).



*significativité à $p < 0.001$; HP : Haut Potentiel ; neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 43: Profil professionnel des parents d'enfants HP et non-HP.

Lorsque nous comparons les deux groupes de notre échantillon aux données de l'Insee (2021), nous ne observons pas de différence significative entre les données d'enfants non-HP et la population générale (Insee) ($p=0.69$), mais il existe une différence significative entre les données des parents d'enfants HP et celles de l'Insee en faveur des parents d'enfants HP, que ce soit pour le niveau d'étude de la mère ou du père (respectivement : $H_{0n2} = 58.03$, $p < 0.001$; 51.42 , $p < 0.001$) ou pour la profession (respectivement : $H_{0n2} = 1.19$, $p = 0.001$; 12.17 , $p < 0.001$).

1.2. Caractéristiques scolaires des enfants HP et non-HP

Le tableau ci-après montre la répartition de notre échantillon en fonction de différents des caractéristiques scolaires, représentées par des variables catégorielles. Il existe une différence significative entre les enfants HP et non-HP uniquement pour trois caractéristiques scolaires : Un taux élevé de saut de classe en faveur des enfants HP avec un profil de QI homogène ($\chi^2 (1) = 13.87$, $p = 0.003$), plus d'activités extra-scolaires sportives en faveur des enfants HP avec un profil de QI hétérogène ($\chi^2 (1)$

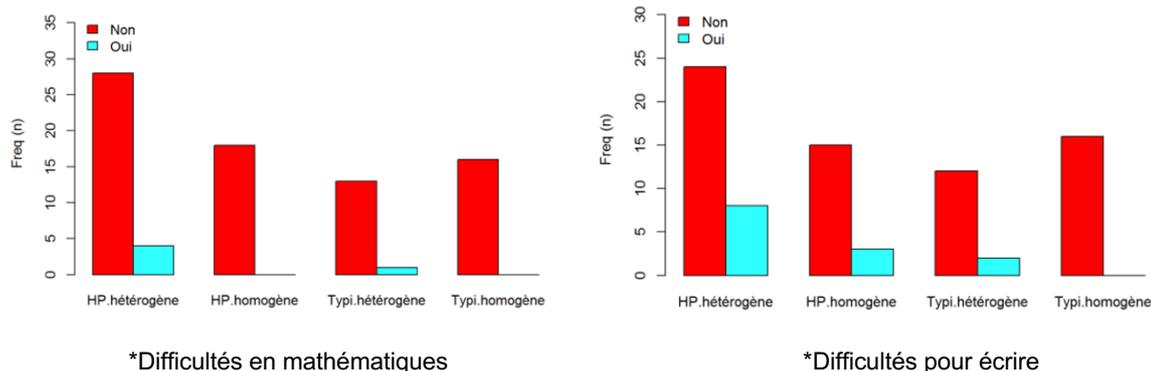
= 12.27, $p=0.007$), plus d'activités extra-scolaires musicales en faveur des enfants HP avec un profil de QI hétérogène ($\chi^2(1) = 18.7, p<0.001$).

Tableau 9: Données scolaires (catégorielles) des enfants HP et non-HP en fonction du profil intellectuel (homogène/hétérogène).

Variables scolaires		Non-HP Hétérogène		Non-HP Homogène		HP Homogène		HP Hétérogène		Total		Valeur-P
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Saut de classe	Non	16	100%	11	78,6%	8	44,4%	24	75%	59	73,8%	0.003
	Oui	0	0%	1	3,34%	10	55,6%	8	25%	19	23,75%	
Redoublement	Non	16	100%	14	100%	18	100%	32	100%	80	100%	0.1
	Oui	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	
Activités extra scolaires sportive	Non	7	43,8%	6	42,9%	1	5,6%	4	12,5%	18	22,5%	<0.001
	Oui	9	56,3%	8	57,1%	17	94,4%	28	87,5%	62	77,5%	
Activités extra scolaires musicale	Non	12	75%	12	85,7%	4	22,2%	12	37,5%	40	50%	0.007
	Oui	4	25%	2	14,3%	14	77,8%	20	62,5%	40	50%	
Difficulté pour écrire	Non	16	100%	12	85,7%	15	83,3%	24	75%	67	83,8%	0.72
	Oui	0	0%	2	14,3%	3	16,7%	8	25%	13	16,3%	
Difficulté pour lire	Non	16	100%	13	92,9%	18	100%	28	87,5%	75	93,8%	0.4
	Oui	0	0%	1	7,1%	0	0%	4	12,5%	5	6,3%	
Difficultés mathématiques	Non	13	81,3%	12	85,7%	18	100%	27	84,4%	70	87,5%	0.38
	Oui	3	18,8%	2	14,3%	0	0%	5	15,6%	10	12,5%	
Difficultés en histoire-géographie	Non	16	100%	13	92,9%	15	83,3%	30	93,8%	74	92,5%	0.27
	Oui	0	0%	1	7,1%	3	16,7%	2	6,3%	6	7,5%	
Difficultés en travaux manuels	Non	16	100%	13	92,9%	18	100%	30	93,8%	77	96,3%	0.88
	Oui	0	0%	1	7,1%	0	0%	2	6,3%	3	3,8%	
Difficultés comportementales	Non	14	87,5%	13	92,9%	16	88,9%	29	90,6%	72	90%	1
	Oui	2	12,5%	1	7,1%	2	11,1%	3	9,4%	8	10%	
Aidé pour les devoirs	Non	10	62,5%	8	57,1%	15	83,3%	19	59,4%	52	65%	0.46
	Oui	6	37,5%	6	42,9%	3	16,7%	13	40,6%	28	35%	

HP : Haut Potentiel

Si nous nous intéressons à la tendance de distribution des données au regard du profil intellectuel, nous observons que les fréquences de difficultés scolaires sont significativement plus importantes dans le cas de profil de QI hétérogène par rapport au profil homogène [$F(3, 78) = 13.43, p<0.001$], que ce soit pour le groupe d'enfants HP (57%) ou non-HP (75%), sans aucune différence significative entre les deux groupes ($p=0.62$) (figure 44). Les mathématiques et l'écriture sont deux domaines qui représentent particulièrement plus de difficultés dans les profils de QI hétérogènes.



*Typi : non-HP tout-venant ; Freq : Fréquence.

Figure 44: Difficultés scolaires en fonction des profils intellectuels des enfants HP et non-HP.

En ce qui concerne les caractéristiques scolaires représentées par des variables métriques, le tableau ci-après montre la répartition de notre échantillon en fonction de différents types de caractéristiques. Il existe une différence significative entre les enfants HP et non-HP concernant l'âge d'accès à l'écriture cursive [$F(3, 78) = 8.7, p = 0.004$] et majuscule [$F(3, 78) = 15.16, p < 0.001$], en faveur des enfants HP, témoignant d'un effet principal de groupe. De plus, il existe un effet d'interaction entre le type de groupe (HP vs non-HP) et le type de profil intellectuel (homogène vs hétérogène), soulignant que les enfants HP ayant un profil de QI homogène accèdent significativement plus précocement à l'écriture cursive [$F(3, 78) = 8.45, p < 0.001$].

Tableau 10: Données scolaires (numériques) des enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Variabiles scolaires	Groupes	n	Moyenne	Ecart type	Valeur-P
Age (mois) école maternelle	Non-HP	30	38,56	8,19	0.32
	HP	50	36,74	5,64	
Age (mois) écriture majuscule	Non-HP	30	45,63	11,43	<0.001
	HP	50	41,38	7,59	
Age (mois) écriture cursive	Non-HP	30	57,63	6,19	0.004
	HP	50	53,62	8,33	

HP : Haut Potentiel

En synthèse, dans le groupe d'enfants HP, il existe significativement plus de parents cadres et/ou pratiquant une profession intellectuelle. Les enfants HP avec un profil de QI homogène montrent significativement plus de saut de classe et accèdent significativement plus précocement à l'écriture cursive et majuscule. En revanche, les enfants HP avec un profil de QI hétérogène pratiquent significativement plus d'activités sportives et musicales. Les difficultés scolaires, notamment en mathématique et en écriture, sont significativement plus présents dans le profil de QI hétérogène que ce soit pour les enfants HP ou non-HP.

2. Caractéristiques à l'anamnèse et données anthropométriques néonatales des enfants HP comparés aux enfants non-HP

2.1. Grossesse et données anthropométriques néonatales

Au niveau des conditions de grossesse, comme le montre le tableau ci-après, aucune différence significative n'est notée entre les deux groupes en termes de complications durant la grossesse ($\chi^2(1) = 2.17, p = 0.53$), consommation de tabac ($\chi^2(1) = 0.04, p = 0.83$) et/ou d'alcool ($\chi^2(1) = 1.13, p = 0.29$) pendant la grossesse, prise médicamenteuse ($\chi^2(1) = 0.94, p = 0.76$). En ce qui concerne l'accouchement, les naissances ont été à terme sans aucune différence statistique entre les deux groupes ($\chi^2(1) = 0.28, p = 0.59$). Rappelons que nous avons inclus que des nouveau-nés à terme ($m = 39$ semaines d'aménorrhée ; E.T. ± 1 semaine).

De même, aucune différence significative n'est relevée entre les deux groupes concernant les problèmes périnataux et néonataux (exemple : anoxie, ictère, cyanose, convulsions) ($\chi^2(1) = 0.93, p = 0.76$). Comme attendu, les résultats ne montrent aucune différence significative entre les deux groupes au niveau du score APGAR à 1 et à 5 minutes ($F(1, 78) = 1.68, p = 0.19$; [IC à 95% = 9.96 à 10]). En revanche, de façon surprenante, le taux de naissance par césarienne s'avère significativement élevé ($\chi^2(1) = 10.68, p = 0.001$) dans le groupe d'enfants HP comparé au groupe d'enfants neurotypiques (respectivement 96% vs 70%). Toutefois, bien que la différence entre les deux groupes soit significative, nous remarquons que le taux d'accouchement par césarienne reste tout de même élevé dans le groupe des enfants non-HP (70%). Par ailleurs, l'accouchement par césarienne semble être associé au statut socio-

économique notamment le niveau d'études de la mère ($\chi^2 (1) = 18.43, p=0.001$) et la profession du père ($\chi^2 (1) = 11.6, p=0.04$), sans différence significative entre les deux groupes ($\chi^2 (1) = 15.2, p=0.65$), avec un taux significativement élevé pour le niveau Master (46% vs 18% par voie basse) et pour la profession cadre et employé (respectivement 55%, 22% vs 9%, 27% par voie basse). Ainsi, ce taux d'accouchement par césarienne semble être lié aux facteurs socio-économiques de façon générale plutôt qu'au fait d'être HP ou pas. Nous enrichirons l'explication de ce résultat par des éléments qualitatifs de l'anamnèse.

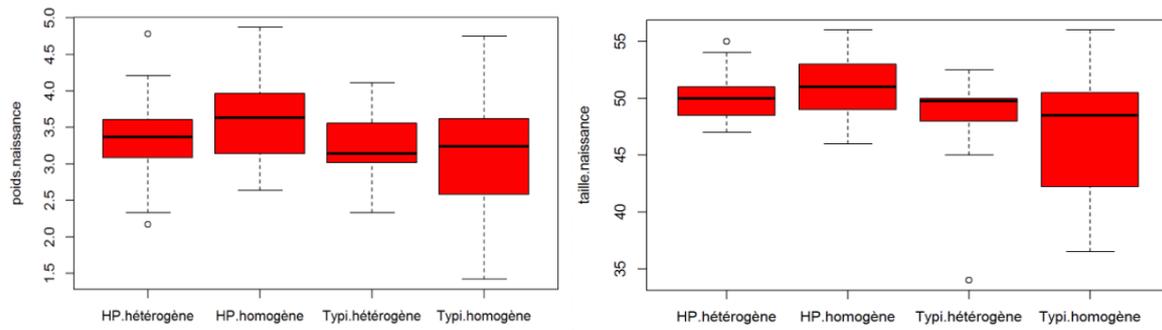
Tableau 11: Caractéristiques de l'échantillon concernant la grossesse et l'accouchement.

Variables de grossesse et d'accouchement		Non-HP		HP		Total		Valeur-P
		n	(%)	n	(%)	n	(%)	
Accouchement	Voie basse spontanée	9	30%	2	4,0%	11	13,8%	0.001
	Césarienne	21	70%	48	96%	69	86,3%	
	Aucun	26	86,7%	47	94%	73	91,3%	
Complications durant la grossesse	Contractions 5 ^{ème} mois	0	0%	0	0%	0	0%	0.53
	Décollement placentaire	1	3,3%	1	2%	2	2,5%	
	Rein multikystiques chez le fœtus	0	0%	0	0%	0	0%	
	Diabète gestationnel	1	3,3%	0	0%	1	1,3%	
Tabac grossesse	Non	28	93,3%	46	92%	74	92,5%	0.83
	Oui	2	6,7%	4	8%	6	7,5%	
Alcool pendant la grossesse	Non	28	93,3%	49	98%	77	96,3%	0.29
	Oui	2	6,7%	1	2%	3	3,8%	
Médicament pendant la grossesse	Non	27	90%	46	92%	73	91,3%	0.76
	Oui	3	10%	4	8%	7	8,8%	
Problèmes périnataux et/ou néonataux	Non	27	90%	43	87,8%	70	88,6%	0.76
	Ictère	3	10%	6	12,2%	9	11,4%	
	Pâleur	0	0%	0	0%	0	0%	
	Cyanose	0	0%	0	0%	0	0%	
	Convulsions	0	0%	0	0%	0	0%	
	Anoxie	0	0%	0	0%	0	0%	

HP : Haut Potentiel

Au niveau des données anthropométriques néonatales, les résultats ont montré un effet principal de groupe sur le poids à la naissance ($F (1, 78) = 4.39, p=0.03$; [IC à 95% = 3.22 à 3.5]) et la taille ($F (1, 78) = 10.02, p=0.002$; IC à 95% = 48.56 à 50.2]) soulignant des moyennes staturo-pondérales significativement plus élevées chez les enfants HP ($m=3.46\text{Kg}$; 50.34cm) comparés aux non-HP ($m=3.16\text{Kg}$; 47.78cm). De plus, il existe un effet d'interaction entre groupe*genre sur le poids et la taille soulignant une différence significative entre les filles et les garçons dans tout l'échantillon ($F (1, 78) = 0.51, p=0.004$). Autrement dit, les garçons ($m_{HP} = 3.47\text{Kg}/ 50.55\text{cm}$ vs. $m_{non-HP} = 3.3\text{Kg}/ 48.82\text{cm}$) présentent des moyennes staturo-pondérales significativement plus importantes que celles des filles ($m_{HP} = 3.34\text{Kg}/ 50\text{cm}$ vs. $m_{non-HP} = 3\text{Kg}/ 46.42\text{cm}$). Il n'existe pas de différence significative entre les filles et les garçons au regard des

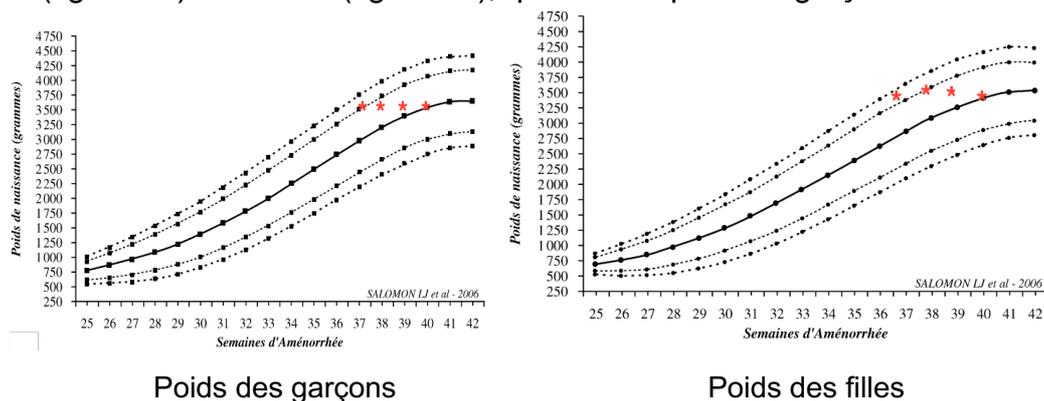
profils intellectuels (homogène/hétérogène), mais la figure 45 montre des moyennes qui ont tendance à être plus élevées dans le groupe d'enfants HP ayant un profil homogène comparés aux enfants ayant un profil intellectuel hétérogène, que ce soit pour le poids ou la taille. Aucune différence significative ($F(1, 78) = 0.38, p = 0.53$; IC à 95% = 34.26 à 35.33] n'est notée entre les deux groupes concernant le périmètre crânien ($m_{non-HP} = 34.58\text{cm} \pm 0.6$ vs. $m_{HP} = 34.93\text{cm} \pm 0.7$).



HP : Haut Potentiel ; Typi : non-HP tout-venant

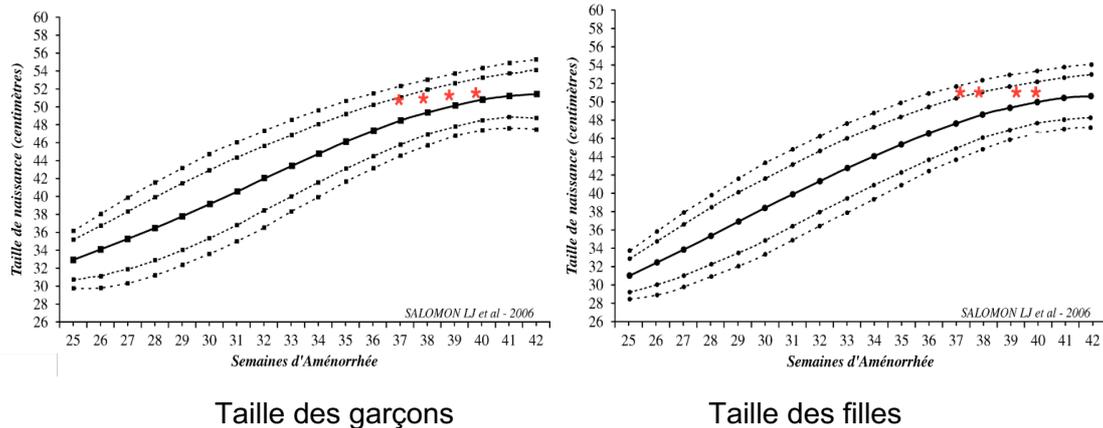
Figure 45: Moyennes du poids et de la taille des enfants HP comparés aux enfants non-HP au regard du profil intellectuel (homogène/hétérogène).

Lorsque nous comparons nos données aux normes développementales de la courbe standardisée AUDIPOG d'anthropométrie d'obstétrique (Salomon, Bernard, De Stavola, Kenward, & Ville, 2007), nous observons que les enfants du groupe d'enfants non-HP se situent dans la moyenne des enfants nés à terme (50^{ème} Percentile), tandis que les enfants du groupe HP se situent entre 50-70^{ème} Percentile en moyenne pour le poids (figure 46) et la taille (figure 47), que ce soit pour les garçons ou les filles.



*Moyennes staturo-pondérales des enfants HP.

Figure 46: Moyennes du poids des enfants HP par rapport aux courbes AUDIPOG pour les filles et les garçons.



*Moyennes staturales des enfants HP.

Figure 47: Moyennes de la taille des enfants HP par rapport aux courbes AUDIPOG pour les filles et les garçons.

2.2. Données médicales des enfants HP et enfants non-HP

Aucune différence significative n'est relevée entre le groupe d'enfants HP et enfants neurotypiques concernant les données médicales. Le tableau ci-après montre l'absence d'attribution automatique et significative de différentes maladies aux enfants HP comparés aux enfants neurotypiques, telles que l'épilepsie ($\chi^2 (1) = 0.1, p=1$), d'asthme ou d'allergie ($\chi^2 (1) = 3.89, p=0.42$), les otites ($\chi^2 (1) = 0.3, p=0.86$), la myopie ($\chi^2 (1) = 1.12, p=0.28$), la prise médicamenteuse ($\chi^2 (1) = 1.8, p=0.6$), les maladies neurologiques (kyste, hydrocéphalie, tumeurs) ou pédopsychiatriques ($\chi^2 (1) = 0.1, p=0.43$). De même, les deux groupes ne diffèrent pas significativement par rapport aux suivis thérapeutiques (orthophonie, psychomotricité, ergothérapie, orthoptie, psychologie) (respectivement : $\chi^2 (1) = 0.49, p=0.48$; $\chi^2 (1) = 1.01, p=3.15$; $\chi^2 (1) = 0.14, p=0.9$; $\chi^2 (1) = 0.26, p=0.69$; $\chi^2 (1) = 3.2, p=0.07$), aux antécédents médicaux familiaux ($\chi^2 (1) = 9.35, p=0.31$), ni par rapport aux antécédents de troubles d'apprentissages dans la famille ($\chi^2 (1) = 0.29, p=0.86$).

Tableau 12: Données médicales chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Variables médicales	Non-HP		HP		Total		Valeur-P	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)		
Épilepsie	Non	30	100%	50	100%	80	100%	1
	Oui	0	0%	0	0%	0	0%	
Asthme	Absence	30	100%	44	88%	74	92,50%	3,80%
	Asthme	0	0%	3	6%	3	3,80%	

Problèmes médicaux	Angines	0	0%	1	2%	1	1,30%	0.42
	Méningite	0	0%	1	2%	1	1,30%	
	Otites	0	0%	1	2%	1	1,30%	
Problèmes orthopédiques	Absence	26	86,70%	44	88%	70	87,50%	0.86
	Oui	4	13,3%	6	12%	10	12,50%	
Drains Trans-tympaniques	Non	28	93,3%	42	84%	70	87,50%	0.23
	Oui	2	6,70%	8	16%	10	12,50%	
Myopie	Absence	25	83,30%	35	72,90%	60	76,90%	0.29
	Oui	5	16,70%	13	27,10%	18	23,10%	
Prise médicaments	Absence	30	100%	47	94%	77	96,30%	0.61
	Mélatonine	0	0%	1	2%	1	1,30%	
	Tetrafolice	0	0%	1	2%	1	1,30%	
	Medikinet	0	0%	1	2%	1	1,30%	
Pathologie objectivée antérieurement à l'EEG	Non	30	100%	50	100%	80	100%	0.44
	Oui	0	0%	0	0%	0	0%	
Pathologie objectivée antérieurement à l'IRM	Non	30	100%	50	100%	80	100%	0.83
	Oui	0	0%	0	0%	0	0%	
Suivi orthophonie	Non	28	93,33%	49	98%	77	96,25%	0.48
	Oui	2	6,67%	1	2%	3	3,75%	
Suivi psychomotricité	Non	28	93,30%	50	100%	78	97,5%	0.32
	Oui	2	6,70%	0	0%	2	2,5%	
Suivi Ergothérapie	Non	30	100%	50	100%	80	100%	0.91
	Oui	0	0%	0	0%	0	0%	
Suivi orthoptie	Non	28	93,30%	45	90%	73	91,30%	0.61
	Oui	2	6,70%	5	10%	7	8,80%	
Suivi psychologique et/ou remédiation cognitive	Non	30	100%	45	90%	75	93,80%	0.07
	Oui	0	0%	5	10%	5	6,30%	
Antécédents médicaux familiaux	Absence	24	80%	37	74%	61	76,30%	0.31
	AVC	6	20%	3	6%	9	11,30%	
	Maladie de Steinert	0	0%	1	2%	1	1,30%	
	Embolie pulmonaire	0	0%	1	2%	1	1,30%	
	Hypercholestrol	0	0%	0	0%	0	0%	
	Épilepsie	0	0%	2	4%	2	2,50%	
	Hypothyroïdie	0	0%	3	6%	3	3,80%	
	Pathologie cardiaque	0	0%	1	2%	1	1,30%	

	Diabète	0	0%	1	2%	1	1,30%	
Antécédents troubles des apprentissages dans la famille	Absence	25	83,30%	41	82%	66	82,50%	0.86
	Dyslexie	4	13,30%	6	12%	10	12,50%	
	TDAH	1	3,30%	3	6%	4	5%	

HP : Haut Potentiel

2.3. Caractéristiques du sommeil, alimentation et propreté

Au niveau du sommeil, le tableau ci-après montre la distribution des données dans les deux groupes. Il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et neurotypiques concernant les difficultés d'endormissement ($\chi^2 (1) = 0.1, p=1$), l'agitation pendant le sommeil ($\chi^2 (1) = 1.3, p=0.25$), les terreurs nocturnes ($\chi^2 (1) = 3.23, p=0.07$), les rituels d'endormissement ($\chi^2 (1) = 2.44, p=0.12$), et les troubles du sommeil objectivés antérieurement par un médecin ou psychologue ($\chi^2 (1) = 0.02, p=0.88$).

Tableau 13: Caractéristiques liées au sommeil chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Variables liées au sommeil		Non-HP		HP		Total		Valeur-P
		n	(%)	n	(%)	n	(%)	
Difficultés d'endormissement	Non	18	60%	30	60%	48	60%	1
	Oui	12	40%	20	40%	32	40%	
Agitation sommeil	Non	26	86,7%	38	76%	64	80%	0.25
	Oui	4	13,3%	12	24%	16	20%	
Terreurs nocturnes	Non	28	93,3%	39	78%	67	83,8%	0.72
	Oui	2	6,7%	11	22%	13	16,3%	
Rituels endormissement	Non	25	83,3%	33	67,3%	58	73,4%	0.12
	Oui	5	16,7%	16	32,7%	21	26,6%	
Autres troubles sommeil	Non	29	96,7%	48	96%	77	96,3%	0.88
	Oui	1	3,3%	2	4%	3	3,8%	

HP : Haut Potentiel

De même, il n'existe aucune différence significative entre les deux groupes au niveau des caractéristiques alimentaires. Le tableau ci-après montre les détails de la répartition des données. Les deux groupes ne présentent aucune différence significative concernant la durée de l'allaitement au sein ($t = 0.21, p=0.42$), avec une durée moyenne de 8.21 mois chez les enfants HP et 8.57 mois chez les non-HP.

Tableau 14: Caractéristiques liées à l'alimentation chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Variables liées à l'alimentation	Non-HP		HP		Valeur-P	
	n	(%)	n	(%)		
Téter à la naissance	Non	4	13,3%	2	4%	0.13
	Oui	26	86,7%	48	96%	
	Total	30	100%	50	100%	
Mode alimentaire les six premiers mois	Sein	19	63,33%	32	64%	0.62
	Biberon	6	20%	9	18%	
	Mixte	5	16,7%	9	18%	
	Total	30	100%	50	100%	
Difficultés au passage à l'alimentation solides	Non	26	86,7%	48	96%	0.13
	Oui	4	13,3%	2	4%	
	Total	30	100%	50	100%	
Sélection de certains aliments	Non	24	80%	39	78%	0.83
	Oui	6	20%	11	22%	
	Total	30	100%	50	100%	

HP : Haut Potentiel

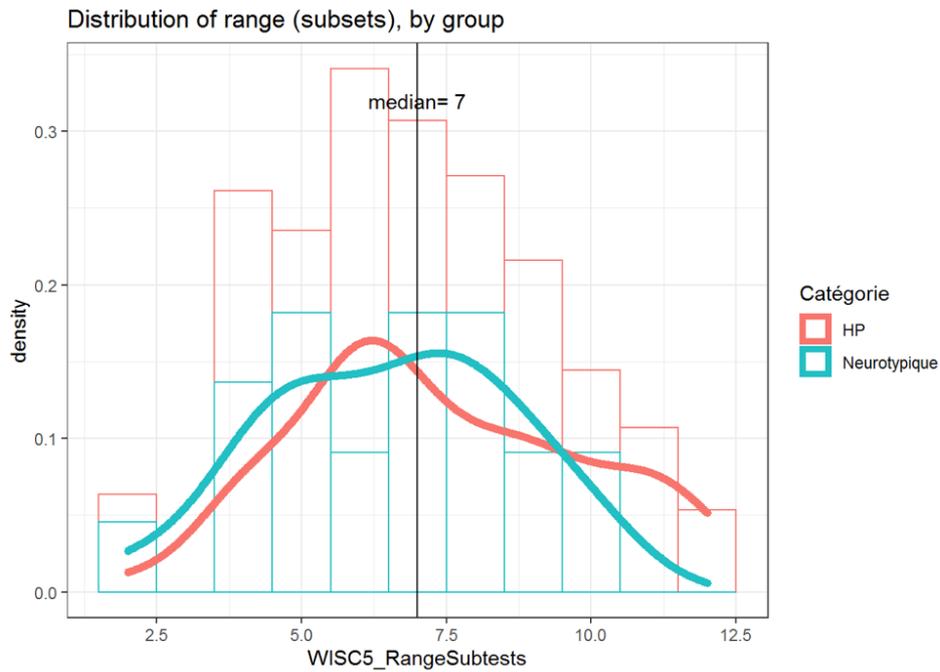
Concernant la propreté, il existe une différence significative entre les deux groupes au niveau de l'âge d'accès à la propreté nocturne ($t = 1.67$, $p = 0.04$), qui est significativement plus précoce chez les enfants HP (31 mois) par rapport aux neurotypiques (37 mois). L'âge d'accès à la propreté diurne n'est pas significativement différent entre les deux groupes ($t = 0.21$; $p = 0.41$). Il n'existe aucune différence significative entre les profils de QI (homogène/hétérogène).

Résumé : Il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP au niveau des données médicales ni au niveau des conditions de grossesse. En revanche, l'accouchement par césarienne est significativement plus élevé dans le groupe d'enfants HP, mais ce résultat est plutôt lié aux facteurs socio-économiques de façon générale. Nous enrichirons l'explication de ce résultat par des éléments qualitatifs de l'anamnèse. Au niveau des données anthropométriques néonatales, les moyennes staturo-pondérales du poids et de la taille sont significativement plus élevées chez les enfants HP, avec un effet du genre dans les deux groupes. En effet, les garçons présentent des moyennes significativement plus importantes que celles des filles. Aucune différence significative n'est notée concernant le périmètre crânien.

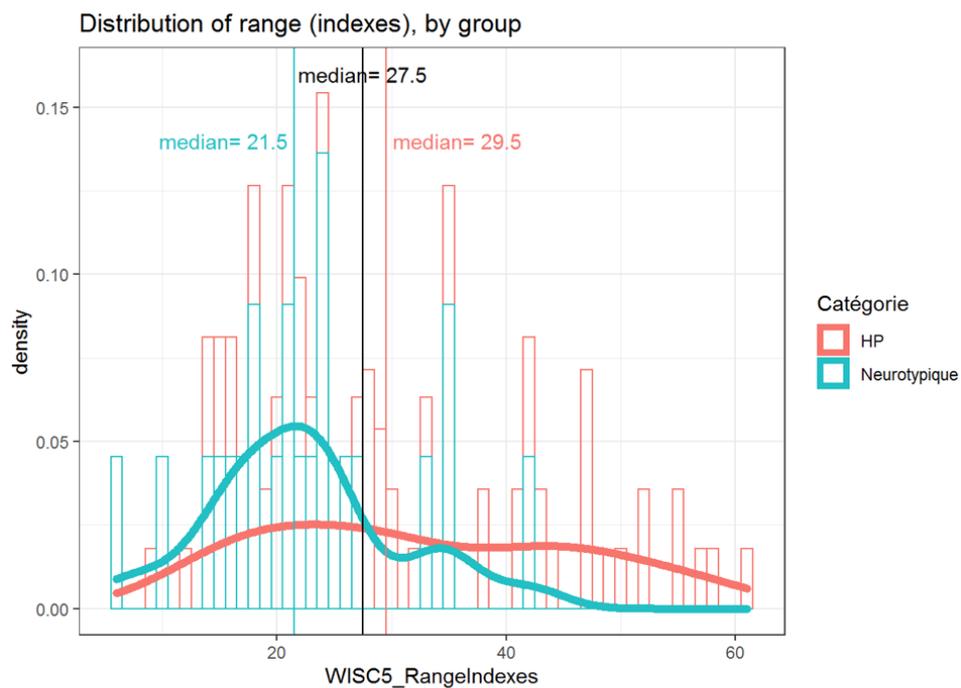
3. Résultats du profil psychométrique au WISC-V^{FR}

Afin d'éviter les erreurs de cotation, une correction automatique à l'aide du logiciel R a été appliquée aux données des scores aux subtests et au calcul des scores d'indices du WISC-V^{FR} pour tout l'échantillon. Comparé à la moyenne des enfants de la population française renseigné dans le manuel du WISC-V^{FR} (Wechsler, 2016), la distance de Mahalanobis* [$D^2 = (x-\mu)' \Sigma^{-1} (x-\mu)$] permet de noter que la distribution des scores d'indices (D^2) pour les enfants non-HP est proche de la distribution de référence, avec un peu moins de dispersion que prévu parmi ces participants. Au contraire, la distribution des scores d'indices des enfants HP met en exergue des valeurs significativement plus élevées que la distribution de référence : il y a significativement plus de profils hétérogènes dans le groupe HP (64%) comparé au groupe non-HP (46%) et à la population générale du manuel WISC-V^{FR} (figure 48). L'analyse de cette hétérogénéité de profil montre qu'au sein de chaque indice, les deux groupes d'enfants (HP et non-HP) présentent une homogénéité intra-scalaire (respectivement ; $m=0.62$ points d'écart ; $m=0.75$ points d'écart) sans différence significative ($p=0.15$). En revanche, lorsque nous nous intéressons à la comparaison de la différence entre l'indice le plus élevé et l'indice le plus faible, les enfants HP (médiane= 29.5 points) présentent des profils significativement plus hétérogènes que les enfants non-HP (médiane= 21.5) ($p=0.02$). Nous précisons qu'il existe plus de profils hétérogènes dans le groupe HP (64% vs 47% dans le groupe des enfants non-HP), mais qu'aussi l'écart entre les indices du QI est plus important qu'il ne l'est dans le groupe des non-HP (médiane= 29.5 vs médiane de la population générale au WISC^{FR} = 23 ; 21.5 dans notre groupe témoin).

Par ailleurs, il existe une corrélation significative et positive entre le niveau de QIT et l'hétérogénéité du profil ($r=0.42$; $p<0.001$) ; plus le niveau de QI est élevé plus le profil est hétérogène, avec des écarts significativement plus importants entre les indices du QI.



In the standardization sample, median subtest range = 7.



In the standardization sample, median index range = 23.

**(équivalent à un score z lors de la combinaison de plusieurs variables corrélées : elle mesure la « distance » entre le profil individuel et les scores pondérés en fonction des corrélations ; le D^2 au WISC- V^{FR} (Wechsler, 2016) est distribué comme χ^2 avec le nombre de degrés de liberté des tests, il est donc directement convertible en rareté de profil). Neurotypiques : non-HP tout-venant.*

Figure 48: Distribution des scores d'indices et de subtests par groupe, en fonction de la référence de Mahalanobis.

Le tableau ci-après montre la comparaison des scores d'indices du QI entre notre groupe d'enfants HP et les caractéristiques psychométriques de l'échantillon français d'enfants HP (Wechsler, 2016). Les résultats confirment la représentativité de notre échantillon par rapport aux normes nationales des enfants HP, avec des scores d'ICV, d'IRF, d'IMT et de QIT significativement plus élevés dans notre groupe.

Tableau 15: Comparaison entre les indices du QI de notre groupe d'enfants HP et les normes nationales HP (WISC-VFR ; Wechsler, 2016).

Indices de QI (Note composite)	Enfants HP (n = 50)	WISC-V normes nationales d'enfants HP (n = 95)	T-test	Valeur-p	Ddl	IC à 95%
ICV (moyenne, E.T.)	139,92	127,7	7.91	<0.001*	49	9.12 à 15.32
IVS (moyenne, E.T.)	124,84	121,2	2.05	0.04*	49	0.07 à 7.21
IRF (moyenne, E.T.)	127,74	120,3	5.47	<0.001*	49	4.7 à 10.18
IMT (moyenne, E.T.)	125,66	117,9	4.59	<0.001*	49	4.37 à 11.15
IVT (moyenne, E.T.)	112,98	112,9	0.04	0.97	49	-3.68 à 3.84
QIT (moyenne, E.T.)	134,78	127,5	8.02	<0.001*	49	5.46 à 9.1

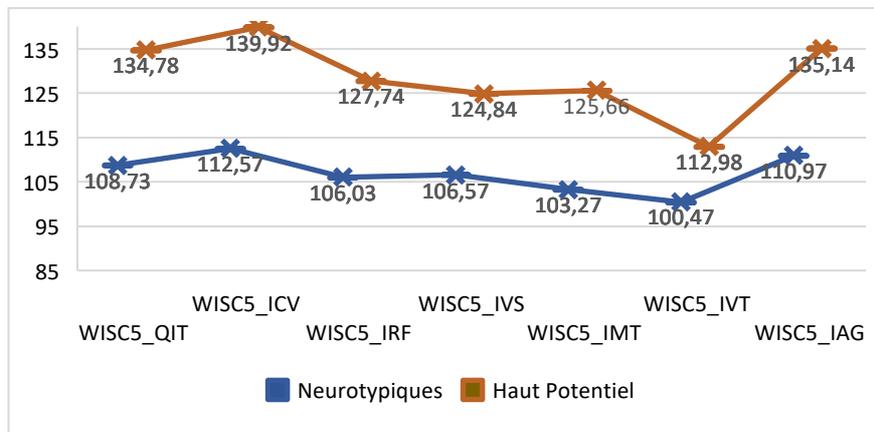
HP : Haut Potentiel

Comparé à notre groupe témoin, le tableau ci-après résume les détails des résultats soulignant une différence significative entre tous les scores d'indices en faveur du groupe d'enfants HP (tableau 16), avec l'ICV comme indice le plus élevé dans les deux groupes, l'IVT étant l'indice le plus faible. Concernant les subttests, les enfants HP présentent des scores significativement plus élevés que notre groupe témoin avec « Similitudes » comme le subttest le plus élevé dans les deux groupes, « Code » étant le subttest le plus faible dans les deux groupes (figure 49). Toutefois, ces deux subttests restent significativement plus élevés dans le groupe d'enfants HP (figure 50). Dans le groupe d'enfants neurotypiques, tous les scores d'indices et de subttests se situent dans la moyenne (50%) par rapport à la courbe de Gauss (Wechsler, 2016). Les enfants HP, montrent des scores qui se situent entre la zone supérieure (6.7% de la population générale selon la courbe de Gauss) et la zone très supérieure (2.2% de la population générale selon la courbe de Gauss), sauf pour l'IVT qui se situe dans la moyenne forte. Ceci est valable pour les subttests.

Tableau 16: Scores d'indices du QI (WISC-VFR) des enfants HP et non-HP.

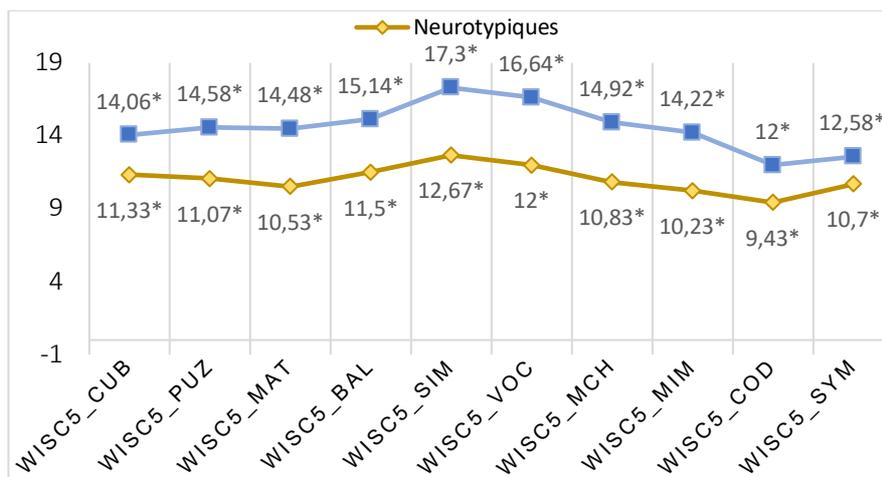
Indices de QI (Note composite)	Non-HP		HP		F	Valeur P
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type		
QIT	108,73	11,57	134,78	6,42	2.47	<0.0001
ICV	112,57	14,26	139,92	10,92	2.47	<0.0001
IRF	106,03	13,10	127,74	9,63	0.05	<0.001
IVS	106,57	12,10	124,84	12,55	0.85	<0.001

IMT	103,27	11,08	125,66	11,94	0.46	<0.001
IVT	100,47	12,78	112,98	13,22	0.09	<0.001
IAG	110,97	11,96	135,14	6,87	3.73	<0.0001



*significativité à $p < 0.001$; neurotypiques : non-HP tout-venant.

Figure 49: Distribution des scores d'indices (WISC-VFR) des enfants HP et non-HP.

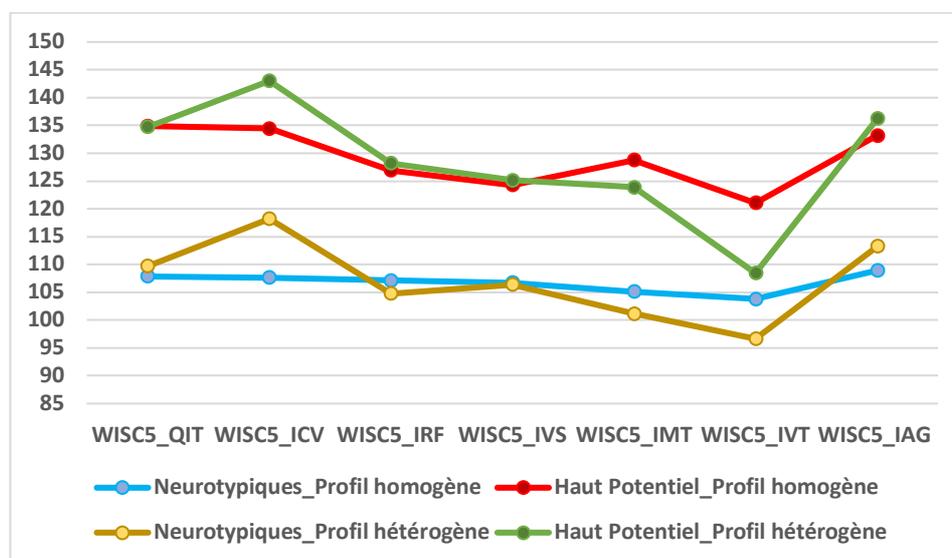


*significativité à $p < 0.001$; neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 50: Distribution des scores de subtests (WISC-VFR) des enfants HP et non-HP

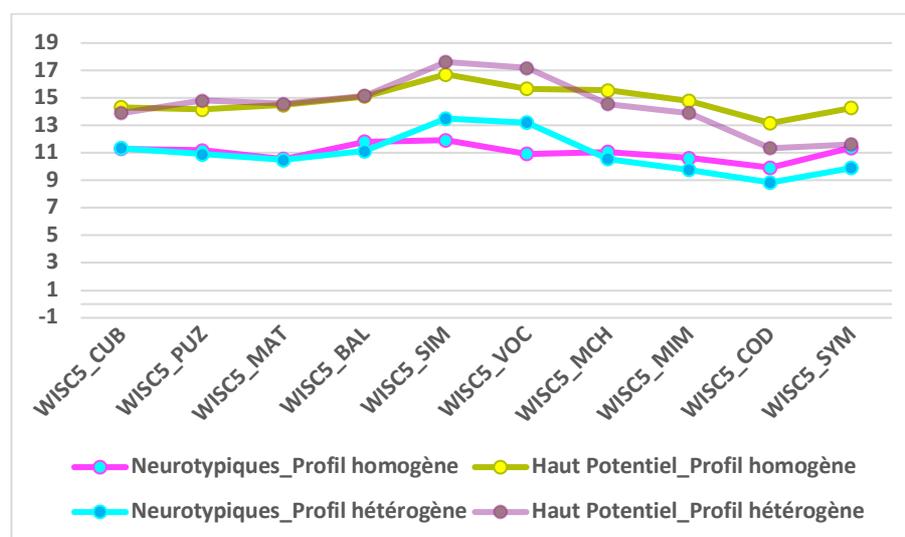
Au regard du profil de QI (homogène/hétérogène) (figure 51 et 52), l'ICV s'avère l'indice le plus élevé dans le profil hétérogène, avec « Similitudes » et « Vocabulaire », pour les deux groupes sans différence significative ($F(1, 78) = 2.47, p = 0.98$). L'IVT est l'indice le plus faible dans le profil hétérogène chez les deux groupes sans différence significative ($F(1, 78) = 0.09, p = 0.76$). Dans le profil homogène, l'indice le plus élevé est IMT ($F(1, 78) = 0.46, p = 0.65$), tandis que IVT ($F(1, 78) = 0.09, p = 0.96$) est le plus faible, sans différence significative entre HP et non-HP. Quant aux scores des subtests, « Similitudes » ($F(1, 78) = 1.17, p = 0.92$) est le plus réussi alors que « Code »

est le subtest le moins réussi dans les deux groupes sans différence significative ($F(1, 78) = 1.14, p = 0.56$).



Neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 51: Distribution des scores d'indices (WISC-VFR) des enfants HP et non-HP au regard du profil de QI (homogène/hétérogène).



Neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 52: Distribution des scores de subtests (WISC-VFR) des enfants HP et non-HP au regard du profil de QI (homogène/hétérogène)

Lorsque nous nous intéressons aux subtests de QI par rapport aux variables sociodémographiques, nous observons certaines différences significatives. Il existe en effet une différence significative dans l'ensemble de l'échantillon (enfants HP et non-HP) entre les niveaux scolaires de la mère par rapport à l'ICV et plus particulièrement pour le subtest « vocabulaire » ($F(1, 78) = 3.26, p = 0.01$). Il existe alors un effet significatif du niveau scolaire de la mère sur le subtest « vocabulaire », soulignant

significativement plus de scores élevés lorsque le niveau d'étude est supérieur (à partir du Master). De même, le niveau scolaire du père (niveau Master) a un effet significatif sur le subtest « vocabulaire » ($F(1, 78) = 3.39, p = 0.009$), « puzzles » ($F(1, 78) = 3.45, p = 0.008$) et « mémoire des images » ($F(1, 78) = 2.99, p = 0.01$). Lorsque les deux parents montrent un niveau scolaire élevé (à partir du Master), nous observons un effet significatif sur le subtest « matrices » ($F(1, 78) = 3.39, p = 0.09$). La profession du père (cadre et profession intellectuelle), quant à elle, a un effet significatif sur « puzzle » ($F(1, 78) = 2.61, p = 0.03$) et « mémoire des chiffres » ($F(1, 78) = 2.46, p = 0.04$). Lorsque les deux parents sont de profession cadre, nous observons un effet significatif sur le subtest « balances » ($F(1, 78) = 2.45, p = 0.01$) et « puzzles » ($F(1, 78) = 2.06, p = 0.04$).

En ce qui concerne les indices, il existe un effet significatif du niveau scolaire de la mère (Master) sur l'ICV ($F(1, 78) = 3.13, p = 0.012$), l'IVT ($F(1, 78) = 2.89, p = 0.02$), le QIT ($F(1, 78) = 2.91, p = 0.02$) et l'IAG ($F(1, 78) = 2.82, p = 0.03$). Il n'existe aucun effet significatif du niveau scolaire du père sur les indices du QI. En revanche, lorsque les deux parents sont de niveau scolaire supérieur (Master), il existe un effet significatif sur l'IMT ($F(1, 78) = 2.78, p = 0.02$).

Lorsque nous essayons de déterminer les subtests les plus sensibles à l'identification du HP, nous obtenons les résultats illustrés dans la figure ci-après. La qualité de mesure prédictive est de 0.31, jugée de faible à correcte. En effet, bien que les subtests « Similitudes ; $R^2 = 1$ », « Vocabulaire ; $R^2 = 0.65$ », « Balances ; $R^2 = 0.57$ », « Symboles ; $R^2 = 0.55$ » et « Mémoire des Chiffres ; $R^2 = 0.49$ » semblent être les subtests les plus prédictifs du HP, ils forment néanmoins une version abrégée qui reste peu fiable pour identifier le HP (figure 53).

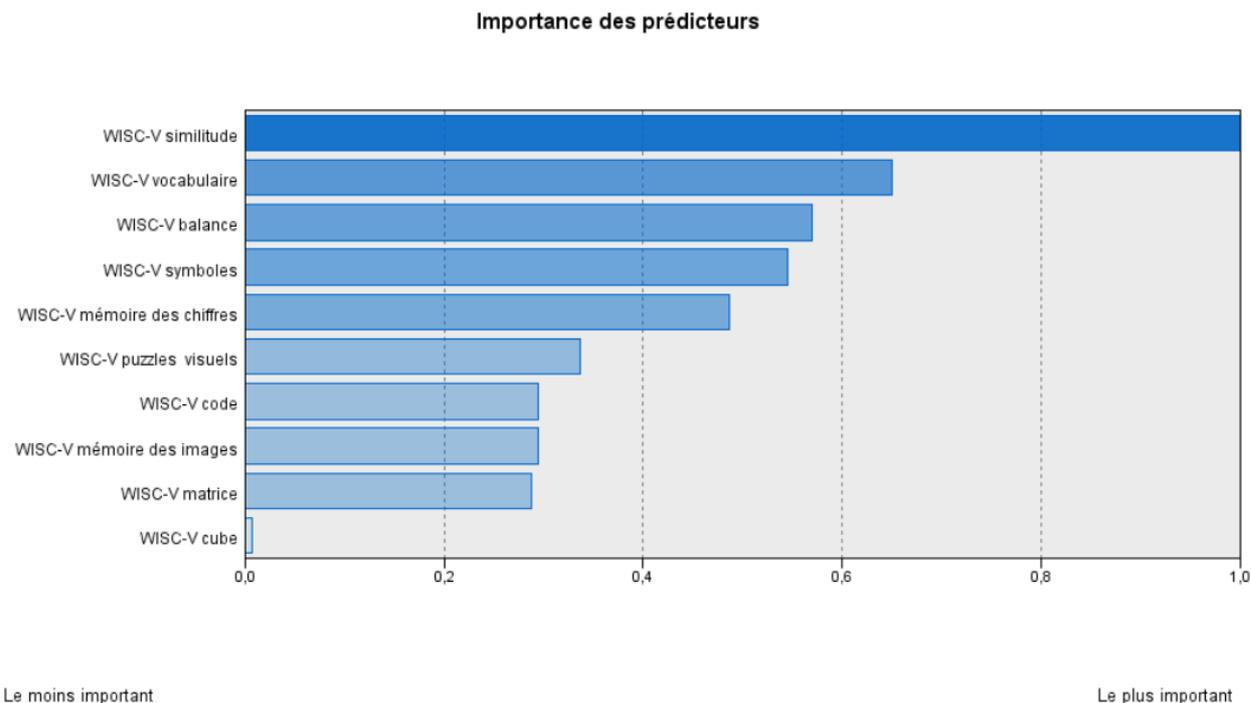


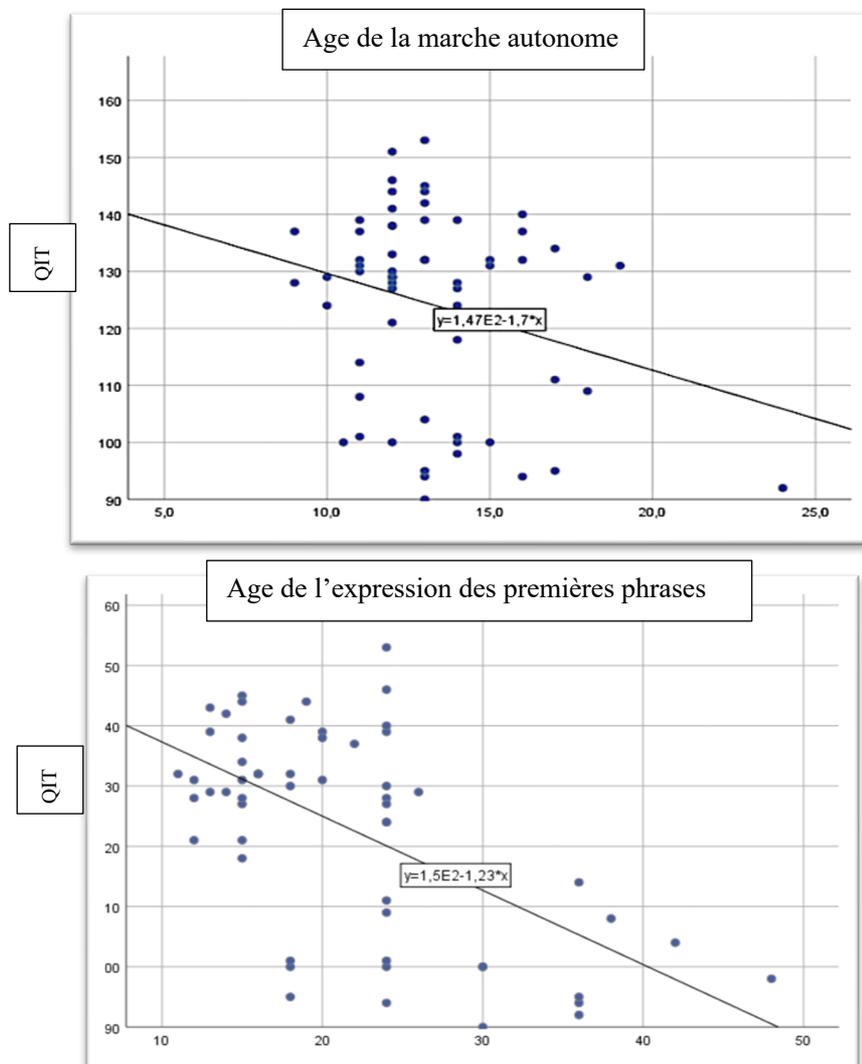
Figure 53: Importance des subtests prédicteurs du WISC-VFR dans l'identification du HP.

En synthèse, tous les scores d'indices et de subtests du QI sont significativement supérieurs chez les enfants HP. Toutefois, les deux groupes montrent la même distribution d'indices, avec l'ICV comme l'indice le plus élevé et l'IVT comme l'indice le plus faible. Au niveau le profil du QI, les deux groupes montrent une homogénéité intra-scalaire. Il existe cependant significativement plus d'hétérogénéité inter-indices chez les enfants HP. Le niveau de QIT en général est significativement et positivement lié à l'hétérogénéité inter-indices dans tout l'échantillon (n=80). Les subtests de QI (*Vocabulaire, Puzzles, Mémoire des images, Balances, Matrices*) sont significativement liés au niveau scolaire et à la profession des parents. Il existe une méthode abrégée soulignant des subtests significativement prédicteurs du HP, mais reste peu fiable : « *Similitudes, Vocabulaire, Balances, Symboles, Mémoire des chiffres* ».

4. Caractéristiques neuromotrices chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2021 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2022)

4.1. Caractéristiques développementales liées aux stades du développement psychomoteur

Dans l'ensemble de l'échantillon, il existe des corrélations significatives et négatives (figure 54) entre le QIT et l'acquisition de la station assise sans appui (autour de 7 mois en moyenne) ($r = -0,57$, $p=0.01$, [IC à 95 % = $-0,51$ à $-0,11$]), de la marche autonome (12 mois en moyenne) ($r = -0,62$, $p=0.02$, [IC à 95 % = $-0,52$ à $-0,02$], et de l'expression des premières phrases (18 mois en moyenne) ($r = -0,78$, $p\leq 0,001$, [IC à 95 % = $-0,81$ à $-0,59$]). Ces corrélations montrent que généralement, plus le QI est élevé plus le développement moteur et langagier sont précoces (deux mois d'avance en moyenne).



*Pour des résultats valides, les valeurs aberrantes ont été automatiquement supprimées lors de ces analyses ;
QIT : Quotient Intellectuel Total.

Figure 54: Corrélations significatives et négatives entre le QIT et le développement de la marche autonome ainsi que le développement de l'expression des premières phrases (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2021).

La comparaison des groupes a montré un développement psychomoteur et langagier significativement précoce chez les enfants HP (deux mois en moyenne) comparés aux enfants témoins de notre échantillon (tableau 17), ainsi que par rapport aux normes développementales (DF-MOT ; Vaivre-Douret, 1999a et Brunet-Lézine, 2001).

Tableau 17: Âge d'acquisition des stades du développement psychomoteur et langagier chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Âge (mois)	Groupes	Moyenne	Ecart type	T	ddl	Valeur P	Intervalle de confiance de la différence à 95 %	
Âge station assise	Non-HP	8,43	1,3	2,52	78	0,007*	0,17	1,52
	HP	6,58	1,53	2,61	78		0,20	1,51
Age marche autonome	Non-HP	13,51	2,10	1,55	78	0,04*	-0,21	1,72
	HP	12,76	2,11	1,55	78		-0,21	1,72
Âge vélo sans stabilisateurs	Non-HP	66,13	17,74	3,26	78	<0,001*	4,47	18,51
	HP	54,64	13,59	3,05	78		3,92	19,06
Âge nager	Non-HP	82,06	15,42	4,10	78	<0,001*	9,09	26,24
	HP	64,40	20,32	4,39	78		9,64	25,68
Âge habillage seul	Non-HP	56,40	22,09	1,68	78	0,048*	-1,38	16,66
	HP	48,76	17,99	1,60	78		-1,93	17,21
Âge Dextrie	Non-HP	29,16	13,37	1,76	78	0,041*	-12,41	0,74
	HP	35,00	14,84	1,81	78		-12,26	0,59
Âge babillage	Non-HP	5,83	1,64	3,44	78	<0,001*	0,55	2,07
	HP	4,52	1,65	3,45	78		0,55	2,07
Âge premiers mots	Non-HP	12,73	4,03	2,95	78	0,002*	0,76	3,90
	HP	9,40	2,99	2,74	78		0,62	4,04
Âge premières phrase	Non-HP	22,26	7,32	3,86	78	<0,001*	2,38	7,46
	HP	18,34	4,10	3,37	78		1,98	7,87

HP : Haut Potentiel

Concernant le profil de QI des enfants HP et les acquisitions langagières, les résultats montrent une différence significative entre les profils homogènes et hétérogènes pour l'âge du babillage (4 mois en moyenne) ($t = -1,99$, $ddl = 49$, $p = 0,05$, [IC à 95 % = -26,51 à 0,20]) et pour l'âge d'habillage autonome (3 ans en moyenne) ($t = 2,09$, $ddl = 49$, $p = 0,04$, [IC à 95 % = -3,47 à -0,02]) en faveur du profil homogène. Nous soulignons une fréquence élevée de développement moteur avancé chez les enfants HP avec un profil de QI homogène. En revanche, nous avons identifié un taux de développement langagier précoce plus élevé (premières phrases vers 18 mois) chez les enfants HP avec un profil de QI hétérogène (figure 55).

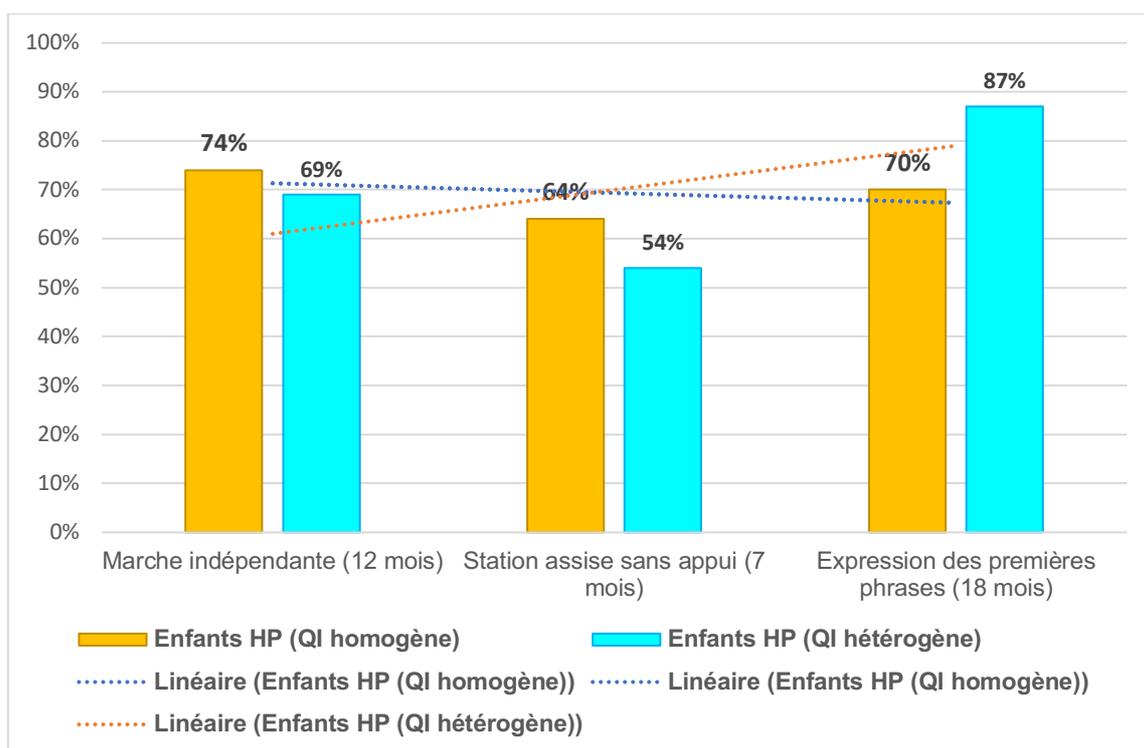


Figure 55: Comparaison des taux du développement moteur et langagier précoce chez les enfants HP avec un profil homogène comparés aux enfants HP avec un QI hétérogène conformément aux normes développementales (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2021, 2022).

4.2. Caractéristiques développementales liées au langage écrit et oral

Les enfants HP montrent des capacités de lecture à l'ODEDYS qui sont significativement meilleures que ce soient au niveau des mots irréguliers ($F(1,78) = 6.34, p=0.01$), les mots réguliers ($F(1,78) = 7.91, p=0.006$), ou les pseudo-mots ($F(1,78) = 0.25, p=0.02$). Il existe cependant un effet d'interaction entre le profil de QI (homogène/hétérogène) et la variable « groupe ». Autrement dit, les scores de lectures des mots réguliers sont significativement meilleurs dans le groupe d'enfant HP avec un profil homogène ($F(1,78) = 4.13, p=0.009$). Au niveau du langage écrit en termes de graphomotricité, les enfants HP montrent aussi des scores qui sont significativement meilleurs au BHK soulignant une meilleure qualité d'écriture ($F(1,78) = 174.69, p < 0.001$). En revanche, la vitesse d'écriture ne diffère pas significativement entre les enfants HP et non-HP ($F(1,78) = 0.44, p=0.51$). Il existe également un effet de la variable « type de profil de QI » c'est-à-dire que les enfants HP avec un profil de QI homogène montrent des scores de qualité d'écriture significativement meilleurs que

les enfants HP avec un profil de QI hétérogène et que les enfants non-HP en général ($F(1,78) = 8.55, p < 0.001$).

En ce qui concerne la pragmatique du langage, le tableau ci-après montre qu'il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP à l'échelle de Bishop si ce n'est au niveau de deux items dont l'initiation à la conversation. Cette dernière est significativement meilleure chez les enfants HP ($F(1,78) = 4.56, p = 0.03$). Le rapport conversationnel est également significativement meilleur chez les enfants HP ($F(1,78) = 9.25, p = 0.003$). Il n'existe aucune différence significative au regard des profils de QI (homogène/hétérogène) ($p = 0.82$).

Tableau 18: Pragmatique du langage chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Items (Score Z)	Groupes	n	Moyenne	Ecart-type	F	Valeur de P																																																																																																
Composante pragmatique	Non-HP	30	-0,16	1,17	1,58	0,21																																																																																																
	HP	50	0,65	1,29			Intelligibilité & fluence	Non-HP	30	0,06	1,45	1,3	0,25	HP	50	0,21	1,86	Syntaxe	Non-HP	30	0,03	1,50	2,23	0,14	HP	49	0,05	0,92	Initiation à la conversation	Non-HP	30	-0,07	0,83	4,56	0,03*	HP	50	0,46	1,25	Cohérence	Non-HP	30	0,02	1,67	0,01	0,9	HP	50	0,51	1,50	Langage stéréotypé	Non-HP	30	0,09	1,24	0,42	0,52	HP	50	0,78	1,33	Contexte conversationnel	Non-HP	30	0,03	0,97	9,52	0,003*	HP	50	0,52	1,34	Rapport conversationnel	Non-HP	30	0,81	1,54	9,52	0,45	HP	50	0,86	1,56	Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44	HP	50	0,88	1,32	Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP
Intelligibilité & fluence	Non-HP	30	0,06	1,45	1,3	0,25																																																																																																
	HP	50	0,21	1,86			Syntaxe	Non-HP	30	0,03	1,50	2,23	0,14	HP	49	0,05	0,92	Initiation à la conversation	Non-HP	30	-0,07	0,83	4,56	0,03*	HP	50	0,46	1,25	Cohérence	Non-HP	30	0,02	1,67	0,01	0,9	HP	50	0,51	1,50	Langage stéréotypé	Non-HP	30	0,09	1,24	0,42	0,52	HP	50	0,78	1,33	Contexte conversationnel	Non-HP	30	0,03	0,97	9,52	0,003*	HP	50	0,52	1,34	Rapport conversationnel	Non-HP	30	0,81	1,54	9,52	0,45	HP	50	0,86	1,56	Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44	HP	50	0,88	1,32	Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP	50	0,62	1,42								
Syntaxe	Non-HP	30	0,03	1,50	2,23	0,14																																																																																																
	HP	49	0,05	0,92			Initiation à la conversation	Non-HP	30	-0,07	0,83	4,56	0,03*	HP	50	0,46	1,25	Cohérence	Non-HP	30	0,02	1,67	0,01	0,9	HP	50	0,51	1,50	Langage stéréotypé	Non-HP	30	0,09	1,24	0,42	0,52	HP	50	0,78	1,33	Contexte conversationnel	Non-HP	30	0,03	0,97	9,52	0,003*	HP	50	0,52	1,34	Rapport conversationnel	Non-HP	30	0,81	1,54	9,52	0,45	HP	50	0,86	1,56	Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44	HP	50	0,88	1,32	Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP	50	0,62	1,42																			
Initiation à la conversation	Non-HP	30	-0,07	0,83	4,56	0,03*																																																																																																
	HP	50	0,46	1,25			Cohérence	Non-HP	30	0,02	1,67	0,01	0,9	HP	50	0,51	1,50	Langage stéréotypé	Non-HP	30	0,09	1,24	0,42	0,52	HP	50	0,78	1,33	Contexte conversationnel	Non-HP	30	0,03	0,97	9,52	0,003*	HP	50	0,52	1,34	Rapport conversationnel	Non-HP	30	0,81	1,54	9,52	0,45	HP	50	0,86	1,56	Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44	HP	50	0,88	1,32	Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP	50	0,62	1,42																														
Cohérence	Non-HP	30	0,02	1,67	0,01	0,9																																																																																																
	HP	50	0,51	1,50			Langage stéréotypé	Non-HP	30	0,09	1,24	0,42	0,52	HP	50	0,78	1,33	Contexte conversationnel	Non-HP	30	0,03	0,97	9,52	0,003*	HP	50	0,52	1,34	Rapport conversationnel	Non-HP	30	0,81	1,54	9,52	0,45	HP	50	0,86	1,56	Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44	HP	50	0,88	1,32	Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP	50	0,62	1,42																																									
Langage stéréotypé	Non-HP	30	0,09	1,24	0,42	0,52																																																																																																
	HP	50	0,78	1,33			Contexte conversationnel	Non-HP	30	0,03	0,97	9,52	0,003*	HP	50	0,52	1,34	Rapport conversationnel	Non-HP	30	0,81	1,54	9,52	0,45	HP	50	0,86	1,56	Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44	HP	50	0,88	1,32	Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP	50	0,62	1,42																																																				
Contexte conversationnel	Non-HP	30	0,03	0,97	9,52	0,003*																																																																																																
	HP	50	0,52	1,34			Rapport conversationnel	Non-HP	30	0,81	1,54	9,52	0,45	HP	50	0,86	1,56	Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44	HP	50	0,88	1,32	Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP	50	0,62	1,42																																																															
Rapport conversationnel	Non-HP	30	0,81	1,54	9,52	0,45																																																																																																
	HP	50	0,86	1,56			Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44	HP	50	0,88	1,32	Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP	50	0,62	1,42																																																																										
Relations sociales	Non-HP	30	0,03	1,16	0,57	0,44																																																																																																
	HP	50	0,88	1,32			Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32	HP	50	0,62	1,42																																																																																					
Centres d'intérêts restreints	Non-HP	30	0,64	1,27	0,61	0,32																																																																																																
	HP	50	0,62	1,42																																																																																																		

Pour résumer, le développement psychomoteur (station assise, marche autonome, faire du vélo sans stabilisateur, nager, s'habiller seul, âge de dextrie) est langagier (babillage, premiers mots, premières phrases, écriture) est significativement plus précoce chez les enfants HP (deux mois en moyenne). Il existe des spécificités significativement liées au profil du QI. En effet, le

développement moteur avancé est significativement plus présent chez les enfants HP avec un profil de QI homogène, alors que le taux de développement langagier avancé est significativement plus élevé chez les enfants HP avec un profil de QI hétérogène. En ce qui concerne la pragmatique du langage, il existe uniquement deux différences significatives entre les enfants HP et non-HP, particulièrement au niveau de l'initiation à la conversation et du rapport conversationnel, qui sont significativement meilleures chez les enfants HP.

4.3. Caractéristiques développementales cliniques des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT) et des performances motrices (M-ABC)

4.3.1. Tonus de fond

L'examen NP-MOT montrent des différences significatives entre les enfants HP et non-HP sans différence significative entre les profils de QI (homogène/hétérogène). Au premier abord, l'extensibilité de l'épaule souligne une résistance significativement plus marquée à droite chez les enfants HP ($F(1, 78) = 20.89, p < 0.001$). Au niveau distal, la résistance à l'examen du ballant et de l'extensibilité du poignet (à droite) ($F(1, 78) = 18.03, p < 0.001$) et du pied (à gauche) ($F(1, 78) = 4.29, p = 0.04$) est également significativement plus marquée chez les enfants HP. Il existe une corrélation significative entre l'extensibilité du poignet et le ballant du poignet chez les enfants HP. Nous notons alors une latéralité tonique significativement plus homogène dans le groupe HP ($F(1, 78) = 7.68, p = 0.007$) et significativement corrélée avec la latéralité fonctionnelle (gestuelle, usuelle, psychosociale) ($r = 0.41; p = 0.01$). D'ailleurs, la latéralité fonctionnelle est significativement plus affirmée (à droite) chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP. Par ailleurs, l'extensibilité des angles de poplité ($F(1, 78) = 8.12, p = 0.006$) et adducteurs ($F(1, 78) = 7.12, p = 0.009$) montrent des angles articulaires significativement plus réduits chez les enfants HP (NP-MOT : $M = 100^\circ$) comparés aux enfants non-HP (NP-MOT : $M = 120^\circ$). En revanche, l'extensibilité du tronc montre quant à elle une grande extension et flexion du tronc (hypotonie axiale) de façon équilibrée (Score $Z = -0.34$ E.T. ; $NS = 2/4$) significativement plus présente chez les enfants HP ($F(1, 78) = 15.72, p < 0.001$). L'hypotonie axiale s'avère significativement et négativement corrélée avec l'intégration de l'orientation corporelle sur autrui ($r = 0.35; p = 0.04$) et par rapport à un plan ($r = 0.55; p < 0.001$). Toutefois,

les enfants HP montrent des scores significativement meilleurs à l'épreuve « orientation sur soi » ($F(1,78) = 7.07, p=0.009$), « orientation des trois objets » ($F(1,78) = 20.29, p < 0.001$).

Il n'existe aucune différence significative au regard des profils de QI (homogène/hétérogène) concernant l'ensemble des items NP-MOT.

4.3.2. Tonus d'action et de soutien et d'attitude

Au niveau du tonus d'action, nous notons une seule différence significative entre les enfants non-HP et HP au niveau des syncinésies controlatérales de l'hémicorps gauche en faveur du dernier groupe ($F(1, 78) = 5.95, p=0.01$; respectivement Score Z moyen = -1.7 E.T. ; 0.99 E.T.). Au niveau du tonus de soutien, les enfants HP présentent un score Z significativement inférieur à celui des enfants non-HP à l'épreuve des quatre poussées ($F(1, 78) = 5.56, p=0.02$). En ce qui concerne le tonus d'attitude, la contraction du pied est significativement plus marquée (à gauche) chez les enfants HP ($\chi^2(1) = 6.43, p=0.04$).

4.3.3. Motricité globale

Au niveau de la motricité globale, l'examen NP-MOT montre des capacités de coordination des membres supérieurs/inférieurs qui sont significativement meilleures chez les enfants HP ($F(1, 78) = 6.38, p=0.01$). L'épreuve du rythme, particulièrement l'adaptation au rythme auditivo perceptivo-moteur est significativement meilleure chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP ($F(1, 78) = 7.47, p=0.008$).

Tableau 19: Motricité globale (NP-MOT) chez les enfants HP comparés aux non-HP.

Item NP-MOT (Score Z)	HP vs non-HP	n	Moyenne	Ecart-type	Valeur P
Coordination membre sup/inf	Non-HP	30	0.12	0.71	0.01*
	HP	50	0.4	0.48	
Équilibre dynamique	Non-HP	30	0.92	1.36	0.98
	HP	50	1.14	1.52	
Équilibre statique	Non-HP	30	0.52	0.68	0.58
	HP	50	0.58	1.29	

HP : Haut Potentiel

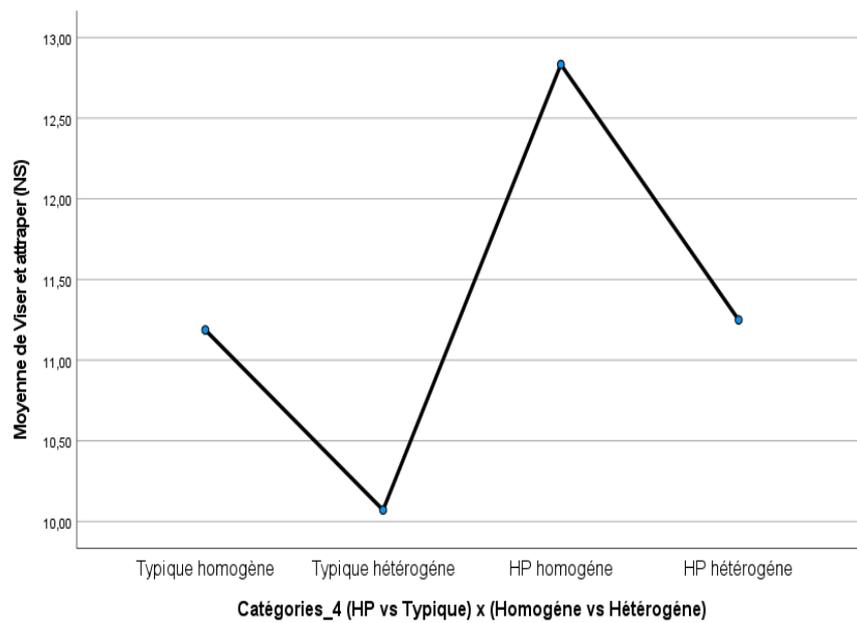
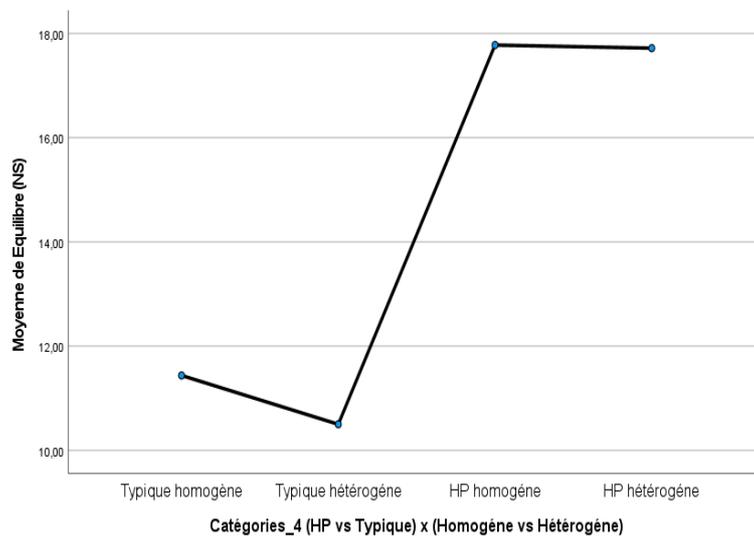
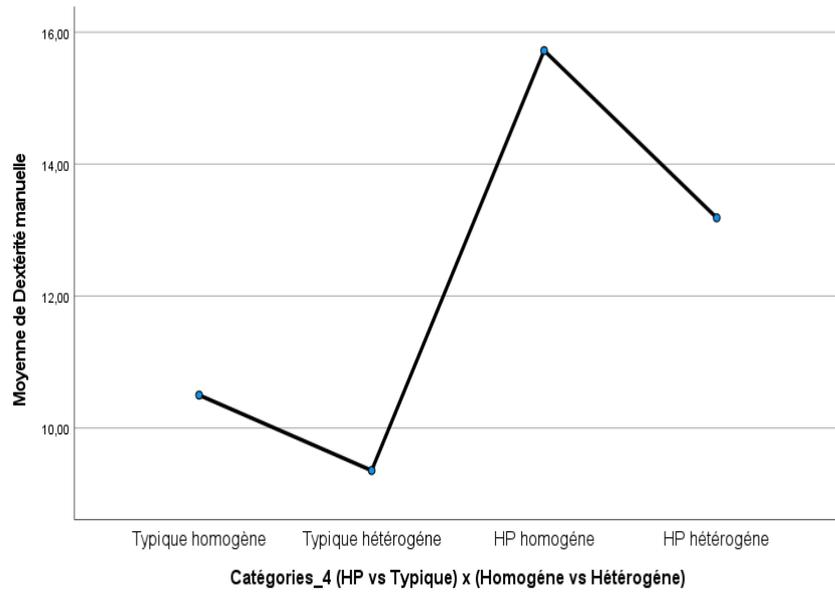
Au niveau des performances motrices, les enfants HP montrent des scores significativement meilleurs que les enfants non-HP pour la dextérité manuelle,

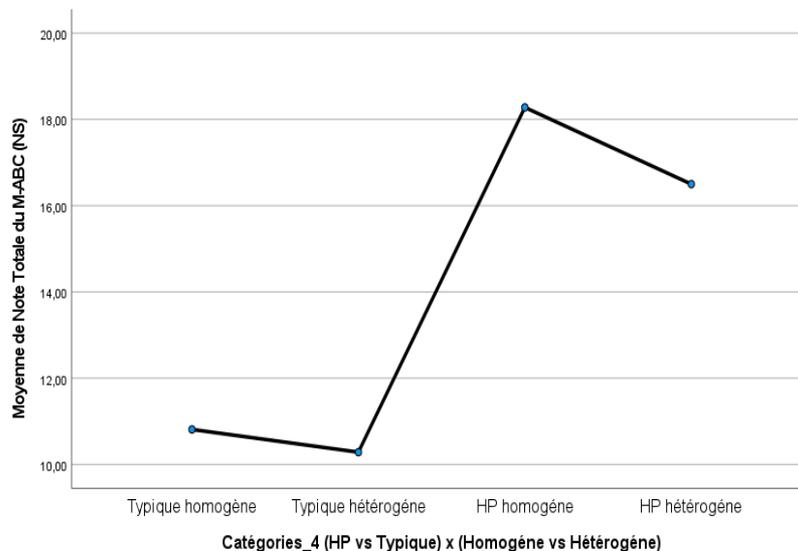
l'équilibre et le score total de la batterie M-ABC (tableau ci-après). Au regard des profils de QI, les analyses multiples montrent des scores significativement meilleurs à tous les items du M-ABC ($p < 0.001$) chez les enfants HP avec un profil de QI homogène (figure 56).

Tableau 20: Performances motrices chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP (M-ABC).

Items du M-ABC (NS)		n	Moyenne	Ecart type	F	Valeur de P	Intervalle de confiance à 95 % pour la moyenne	
							Inférieure	Supérieure
Dextérité manuelle	Non-HP homogène	16	10,50	1,96	11.53	<0.001*	9,45	11,54
	Non-HP hétérogène	14	9,35	1,49			8,49	10,22
	HP homogène	18	15,72	3,69			13,88	17,55
	HP hétérogène	32	13,18	4,28			11,64	14,73
	Total	80	12,55	4,04			11,65	13,44
Viser et attraper	Non-HP homogène	16	11,18	1,55	1.36	<0.001*	10,35	12,01
	Non-HP hétérogène	14	10,07	0,61			9,71	10,42
	HP homogène	18	12,83	4,64			10,52	15,14
	HP hétérogène	32	11,25	4,97			9,45	13,04
	Total	80	11,38	3,95			10,50	12,26
Équilibre	Non-HP homogène	16	11,43	1,15	47.17	<0.001*	10,82	12,05
	Non-HP hétérogène	14	10,50	1,40			9,69	11,30
	HP homogène	18	17,77	3,11			16,22	19,32
	HP hétérogène	32	17,71	2,84			16,69	18,74
	Total	80	15,21	4,08			14,30	16,12
Score Totale	Typique homogène	16	10,8125	0,65	75.46	<0.001*	10,46	11,16
	Non-HP hétérogène	14	10,2857	0,61			9,93	10,63
	HP homogène	18	18,2778	0,95			17,80	18,75
	HP hétérogène	32	16,5000	2,88			15,45	17,54
	Total	80	14,6750	3,78			13,83	15,51

HP : Haut Potentiel





Typiques : non-HP tout-venant

Figure 56: Les scores aux items du M-ABC chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP, au regard du profil de QI (homogène/hétérogène).

4.3.4. Praxies et gnosopraxies (NP-MOT)

Au niveau des **épreuves bi-manuelles** ($F(1, 78) = 6.98, p = 0.01$) ainsi que les scores à **l'épreuve uni-manuelle d'opposition pouce/doigts** ($F(1, 78) = 6.46, p = 0.01$) sont significativement meilleurs chez les enfants HP. Aucune différence significative n'est montrée au niveau des gnosopraxies à l'imitation de mouvements des mains [EMG, NP-MOT : $F(1, 78) = 0.05, p = 0.83$] et des doigts [EMG, NP-MOT : $F(1, 78) = 0.01, p = 0.92$], ni au niveau des gnoses tactiles digitales [Main droite : ($F(1, 78) = 3.27, p = 0.07$; Main gauche : $F(1, 78) = 0.27, p = 0.61$)], ni au niveau des représentation des mimes ($F(1, 78) = 0.93, p = 0.34$).

4.3.5. Latéralité fonctionnelle et habiletés oculo-manuelles

Au niveau de la latéralité fonctionnelle manuelle, nous avons déterminé 82% de droitiers dans le groupe HP vs 83% de droitiers dans le groupe des enfants non-HP. L'examen NP-MOT met en exergue une différence significative entre les deux groupes avec une latéralité plus affirmée à droite, et ce dès l'âge de 7 ans (échantillon âgé de 7 à 13 ans), chez les enfants HP ($\chi^2(1) = 9.37, p = 0.04$). Aucune différence significative n'est objectivée entre les deux groupes concernant la latéralité pédestre ($\chi^2(1) = 0.71, p = 0.7$), ni au niveau de l'œil directeur ($\chi^2(1) = 0.05, p = 0.81$). Au niveau des habiletés

oculo-manuelles, les enfants HP montrent un score Z d'indice de dominance (dextralité) significativement plus important que le score Z des enfants non-HP ($F(1, 78) = 4.43, p = 0.03$).

4.3.6. Corrélations entre les activités de la vie quotidienne (AVQ) et les profils de QI (homogène/hétérogène)

Les résultats montrent des corrélations significatives chez tous les enfants (HP et non-HP) entre les indices de QI et le développement des capacités motrices de la vie quotidienne : « boutonner ses vêtements » est significativement et positivement corrélé avec l'IMT ($\rho = -0,30, p = 0,02, [IC \text{ à } 95\% = -0,51 \text{ à } -0,03]$). « Mettre ses vêtements à l'endroit » est significativement et positivement corrélé avec l'IVS ($\rho = -0,33, p = 0,01, [IC \text{ à } 95\% = -0,50 \text{ à } -0,14]$), l'IMT ($\rho = -0,30, p = 0,03, [IC \text{ à } 95\% = -0,5 \text{ à } -0,01]$) et le QIT [$\rho = -0,30, p = 0,02, [IC \text{ à } 95\% = -0,5 \text{ à } -0,09]$]. « Utiliser un couteau correctement » est significativement et positivement corrélé avec l'IMT [$\rho = 0,27, p = 0,04, [IC \text{ à } 95\% = -0,03 \text{ à } 0,5]$] et l'IVT ($\rho = 0,26, p = 0,05, [IC \text{ à } 95\% = -0,01 \text{ à } 0,51]$). « Utiliser correctement une fourchette » est significativement et positivement corrélé avec l'IRF ($r = 0,35, p = 0,01, [IC \text{ à } 95\% = 0,15 \text{ à } 0,52]$). « Maladresse » est significativement et négativement corrélée avec l'IVS ($\rho = -0,3, p = 0,02, [IC \text{ à } 95\% = -0,5 \text{ à } 0,07]$), l'IMT ($\rho = -0,31, p = 0,02, [IC \text{ à } 95\% = -0,50 \text{ à } -0,08]$), et l'IVT ($\rho = -0,75, p = 0,04, [IC \text{ à } 95\% = -0,50 \text{ à } -0,02]$).

Concernant le profil de QI, il existe une corrélation significative entre le type de profil (homogène/hétérogène) et « les difficultés pour boutonner ses vêtements », des « difficultés pour mettre ses vêtements à l'endroit », « difficultés pour lacer ses chaussures », et « l'utilisation correcte d'un couteau » (tableau 21). Ces difficultés concernant les AVQ sont significativement et positivement corrélées avec « la maladresse » : « difficultés pour mettre ses vêtements à l'endroit » ($\rho = 0,30, p = 0,005$), « difficultés pour lacer ses chaussures » ($\rho = 0,44, p = 0,005$), "utilisation correcte du couteau" ($\rho = -0,55, p = 0,001$). Nous avons identifié 41 % des enfants HP avec un profil de QI hétérogène, contre 7 % pour un QI homogène profil, qui présente des difficultés dans au moins deux domaines des AVQ. Chez les enfants HP avec profil hétérogène, nous avons identifié l'ICV (moyenne = 148) et l'IRF (moyenne = 124) comme indices les plus élevés, les plus faibles étaient IVT (moyenne = 107), IMT

(moyenne = 119) et IVS (moyenne = 122). Ces trois indices sont significativement et négativement corrélés à « la maladresse » (respectivement $p= 0,02$; $\rho= -0,30$, $p= 0,04$; $\rho= -0,30$, $p= 0,03$; $\rho= -0,31$).

Tableau 21: Corrélations entre les activités motrices de la vie quotidienne (AVQ : habillage, repas) et les profils de QI (homogène/hétérogène).

Activité de la vie quotidienne (AVQ)		Échantillon total (n= 80)		Spearman's ρ test (p)	
		Profil hétérogène (n=45)	Profil homogène (n=35)	Valeur	Valeur-p
Difficultés pour boutonner ses vêtements	Oui	6 (13,33%)	1 (2,86%)	0,27	0,03*
	Non	39 (86,67%)	27 (97,14%)		
Difficultés pour mettre ses vêtements à l'endroit	Oui	7 (15,56%)	1 (2,86%)	0,29	0,03*
	Non	38 (84,44%)	27 (97,14%)		
Difficultés pour lacer ses chaussures	Oui	9 (20%)	2 (5,71%)	0,19	0,04*
	Non	36 (80%)	33 (94,29%)		
Utilisation correcte du couteau	Oui	8 (17,78%)	30 (85,71%)	-0,11	0,01*
	Non	37 (82,22%)	5 (14,29%)		

HP : Haut Potentiel

4.3.7. Corrélations entre activités scolaires, AVQ (jeux et loisirs) et profils du QI (homogène/hétérogène)

Concernant les jeux et les activités scolaires des enfants HP, nous avons montré une corrélation significative avec le profil de QI et « jouer aux puzzles sans difficulté », « jouer à des jeux de construction sans difficulté », « difficultés d'autonomie », « difficultés d'attention », et « adaptation aux jeux collectifs » (Tableau 22). Nous avons identifié 14% des enfants HP avec profil de QI hétérogène, contre 7 % avec QI homogène, qui ont présenté des difficultés dans au moins deux domaines. De plus, bien qu'aucune difficulté de lecture n'ait été notée dans l'un ou l'autre des deux profils, nous avons identifié un pourcentage élevé de difficultés d'écriture manuscrite, copie de dessin, et capacités de coloriage chez les enfants HP avec profil de QI hétérogène par rapport à l'homogène (respectivement 64%, 62%, 67 % contre 34 %, 34 %, 41 %).

Tableau 22: Corrélations entre activités scolaires/jeux et profils de QI (homogène/hétérogène).

Activités scolaires et jeux		Échantillon total (n= 80)		Spearman's ρ test (p)	
		Profil hétérogène (n=45)	Profil homogène (n=35)	Valeur	Valeur-p
Jouer aux Puzzles sans difficultés	Oui	21 (46,67%)	30 (85,71%)	-0,43	0,02*
	Non	24 (53,33%)	5 (14,29%)		
Jouer aux jeux de construction sans difficultés	Oui	21 (46,67%)	29 (82,86%)	-0,54	0,01*
	Non	24 (53,33%)	6 (17,14%)		
	Oui	5 (11,12%)	3 (8,57%)		

Difficultés d'autonomie	Non	40 (88,88%)	32 (91,43%)	0,65	0,08
	Oui	2 (4,45%)	3 (8,57%)		
Difficultés d'attention	Non	43 (95,55%)	32 (91,43%)	0,67	0,09
	Oui	28 (62,23%)	33 (94,28%)		
Adaptation aux jeux collectifs	Non	17 (37,77%)	2 (5,72%)	-0,78	0,02*
	Oui	28 (62,23%)	33 (94,28%)		

HP : Haut Potentiel

Résumé : Au niveau du tonus du fond, la latéralité tonique est significativement plus homogène et plus affirmée dans le groupe HP et significativement corrélée avec la latéralité fonctionnelle (82% de droitiers dans le groupe HP vs 83% dans le groupe non-HP). L'extensibilité du tronc montre une grande extension et flexion du tronc (hypotonie axiale), de façon équilibrée, qui est significativement plus présente chez les enfants HP. À ceci s'associe une extensibilité des angles de poplités et des adducteurs qui est significativement plus réduite dans le même groupe. L'hypotonie axiale est significativement et négativement corrélée avec l'intégration de l'orientation corporelle sur autrui et par rapport à un plan. Toutefois, les enfants HP montrent des scores significativement meilleurs à l'épreuve « orientation sur soi » et « orientation des trois objets ». Au niveau du tonus de soutien, les enfants HP présentent un score Z significativement inférieur à celui des enfants non-HP à l'épreuve des quatre poussées. Sur le plan du tonus d'action, les syncinésies controlatérales de l'hémicorps gauche disparaissent significativement plus précocement chez les enfants HP. Il n'existe aucune différence significative au regard des profils de QI (homogène/hétérogène) concernant l'ensemble des items NP-MOT.

Au niveau de la motricité globale, les capacités de coordination des membres supérieurs/inférieurs et d'adaptation au rythme auditivo perceptivo-moteur sont significativement meilleures chez les enfants HP. Au niveau des performances motrices, les enfants HP montrent des scores significativement meilleurs au niveau de la dextérité manuelle, l'équilibre et le score total de la batterie M-ABC, particulièrement dans le profil de QI homogène. Par ailleurs, les praxies uni-et-bimanuelles sont significativement meilleures chez les enfants HP. Les habiletés motrices dans les AVQ sont significativement liées avec certains indices du QI (IVS, IVT et IMT). Ces derniers sont les mêmes indices qui sont significativement et négativement corrélés à « la maladresse ».

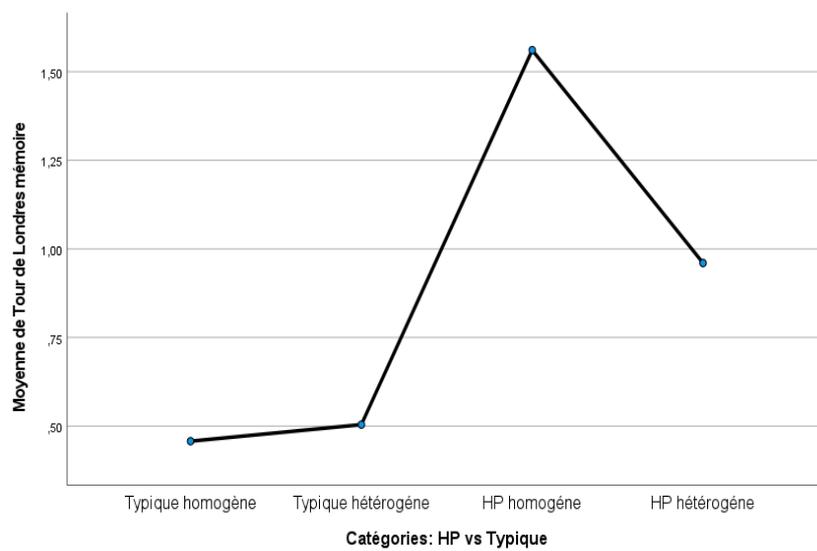
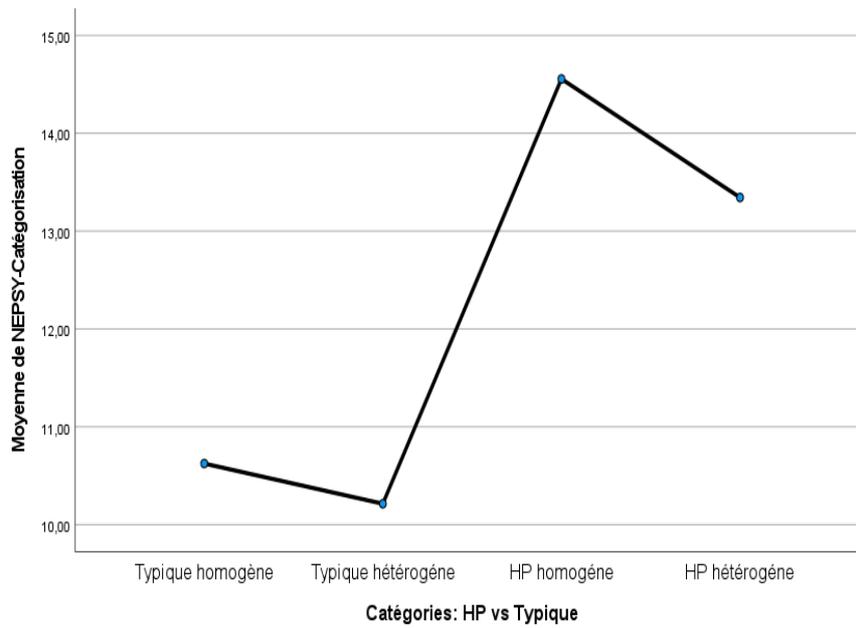
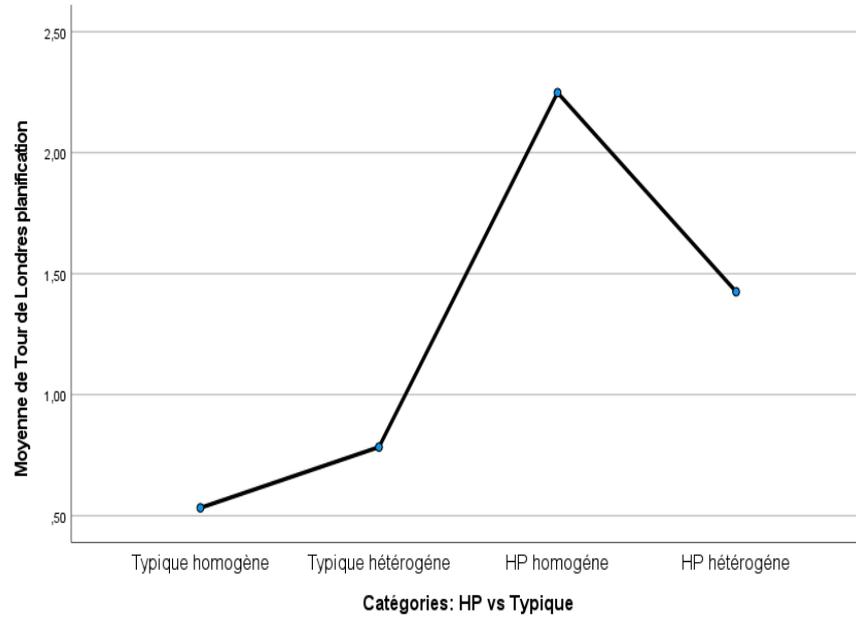
5. Caractéristiques cognitives des enfants HP comparés aux enfants non-HP

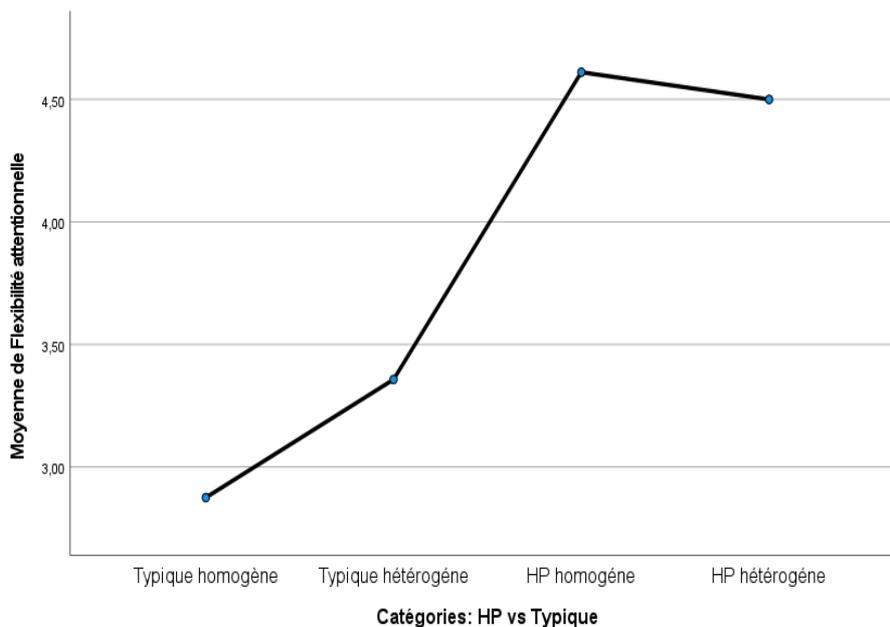
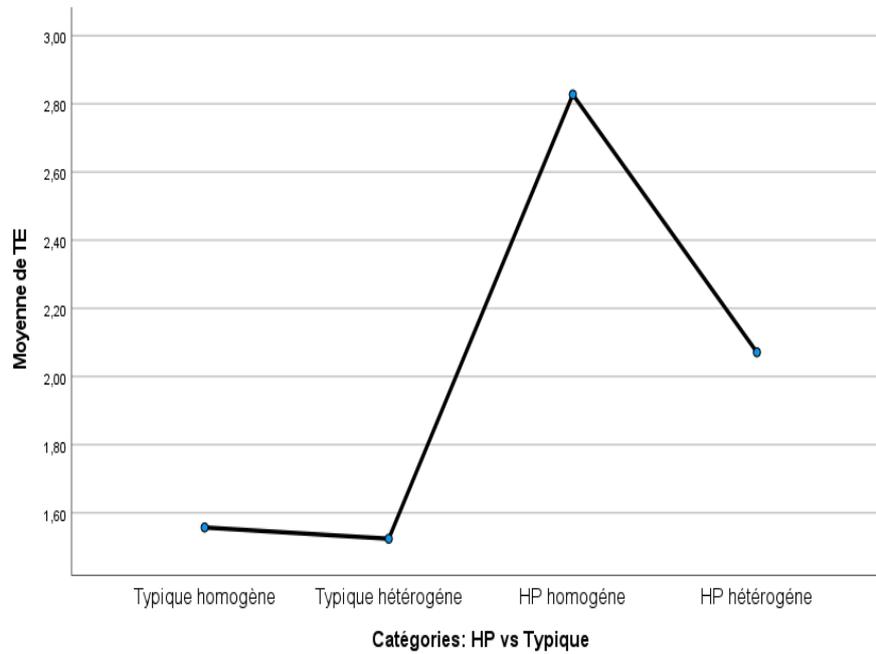
5.1. Fonctions exécutives, performances visuo-spatiales/constructives et attention

Les résultats illustrés dans le tableau ci-après montrent des différences significatives entre le groupe d'enfants non-HP et les enfants HP en faveur de ce dernier au niveau de la flexibilité cognitive, la planification, la mémoire de travail visuo-spatiale et le temps de planification et d'exécution à l'épreuve de la Tour de Londres. De plus, les scores de planification à la Tour de Londres sont significativement meilleurs lorsque le profil de QI est homogène ($F(1,78) = 5.42, p = 0.02$). De même pour les scores de catégorisation ($F(1,78) = 8.21, p < 0.001$) (figure 57). En revanche, aucune différence significative n'est objectivée au niveau des capacités visuo-spatiales-constructives [Cubes de Kohs : ($F(1,78) = 0.02, p = 0.9$) ; Figure de complexe de Rey : ($F(1,78) = 0.01, p = 0.95$) ; Beery VMI moteur : ($F(1,78) = 0.03, p = 0.87$)]. En revanche, lorsque nous nous intéressons au type du profil de QI, nous notons que les enfants HP avec un profil de QI homogène montrent des scores à l'épreuve des cubes de Kohs qui sont significativement meilleurs ($F(1,78) = 9.82, p < 0.001$). Au niveau de l'inhibition motrice lors de l'épreuve d'attention auditive (GO-no-GO) de la NP-MOT, il n'existe aucune différence significative entre les deux groupes ($F(1,78) = 0.23, p = 0.63$).

Tableau 23: Résultats des tests neuropsychologiques des enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Tests neuropsychologiques	Groupes	n	Moyenne	Ecart-type	F	Valeur de P
Flexibilité cognitive (NEPSY-Catégorisation) (NS)	Non-HP	30	10,43	2,78	1.04	<0.001*
	HP	50	13,78	3,18		
Planification (Tour de Londres) (Score Z)	Non-HP	30	0,64	1,28	0.22	<0.001*
	HP	50	1,72	1,42		
Mémoire de travail visuo-spatiale (Tour de Londres mémoire) (Score Z)	Non-HP	30	0,47	0,99	0.41	<0.001*
	HP	50	1,17	0,93		
Temps de planification (Tour de Londres) (Score Z)	Non-HP	30	1,61	1,63	0.98	<0.001*
	HP	50	2,15	1,91		
Temps d'exécution (Tour de Londres) (Score Z)	Non-HP	30	1,54	2,25	4.22	0.03*
	HP	50	2,34	1,63		





Typiques : non-HP tout-venant

Figure 57: Figures illustrant les différences liées aux caractéristiques cognitives entre les enfants HP et non-HP eu regard du profil de QI (homogène/hétérogène).

Au niveau attentionnel, le tableau ci-après montre l'absence de différences significatives entre les deux groupes que ce soit pour l'attention auditive sélective ou soutenue. En revanche, les enfants HP montrent de meilleurs scores au niveau de l'attention visuelle sélective à l'épreuve de barrage linéaire des O ($F(1,78) = 6.27, p = 0.01$). Aucune différence significative n'est notée de la stratégie adoptée lors de cette épreuve ($F(1,78) = 1.56, p = 0.21$).

Tableau 24: Résultats aux épreuves de la NEPSY-II chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Tests neuropsychologiques	Groupes	n	Moyenne	Ecart type	F	Valeur P
Attention auditive-NEPSY-II (NS)	Non-HP	30	9,8	3,60	0.09	0.76
	HP	50	9,96	3,42		
Attention auditive-NEPSY-II (Commission, Percentile)	Non-HP	30	59,8	26,94	0.04	0.84
	HP	50	57,22	25,60		
Attention auditive-NEPSY-II (Omission, Percentile)	Non-HP	30	58,67	25,21	0.04	0.84
	HP	50	58,18	26,21		
Attention auditive-NEPSY-II (Inhibition, Percentile)	Non-HP	30	62,27	24,46	0.01	0.93
	HP	50	60	23,87		
Attention sélective-NEPSY-II (note étalonnée de comparaison)	Non-HP	30	10,13	3,28	0.01	0.93
	HP	50	9,82	3,56		

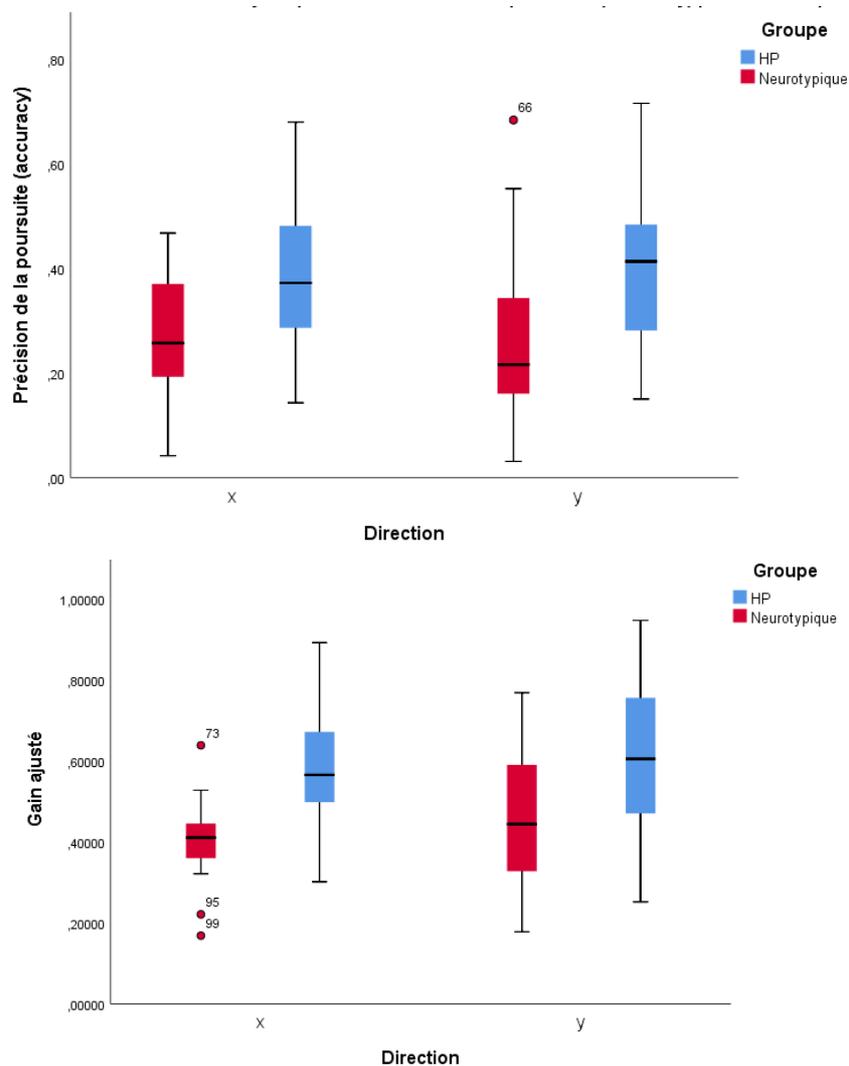
6. Capacités oculométriques et neurovisuelles des enfants HP comparés aux enfants non-HP

6.1. Caractéristiques de la poursuite visuelle lisse (horizontale et verticale)

Au niveau perceptif, aucune différence significative n'est montrée entre les deux groupes [VMI perceptif : (F (1,78) =2.63, $p=0.11$)]. En ce qui concerne la représentation mentale à l'épreuve de DPGV (reconnaissance des silhouettes d'animaux et des fruits enchevêtrés), les enfants HP montrent des meilleurs performances (F (1,78) =6.26, $p=0.01$). En revanche, aucune différence significative n'est notée concernant les gnosies visuelles à l'épreuve du K-ABC (F (1,78) =0.37, $p=0.54$).

Au niveau oculomoteur, les analyses multivariées de variance (MANCOVA) ont montré des différences significatives entre les enfants neurotypiques et HP, en faveur de ces derniers, au niveau du gain (F (1,48) =6.25, $p=0.01$), la précision (F (1,48) =3.18, $p=0.04$), et l'erreur d'entropie (F (1,48) =6.85, $p=0.01$). Concernant la direction, les analyses post-hoc ont montré un effet d'interaction (âge*groupe) soulignant une différence significative entre les deux groupes au niveau du gain (F (1,48) =0.07, $p<0.001$) et de la précision (F (1,48) =0.001, $p=0.002$). Les enfants HP,

dès l'âge de 9 ans, montrent un gain et une précision de poursuite visuelle significativement meilleurs au niveau vertical (figure 58).

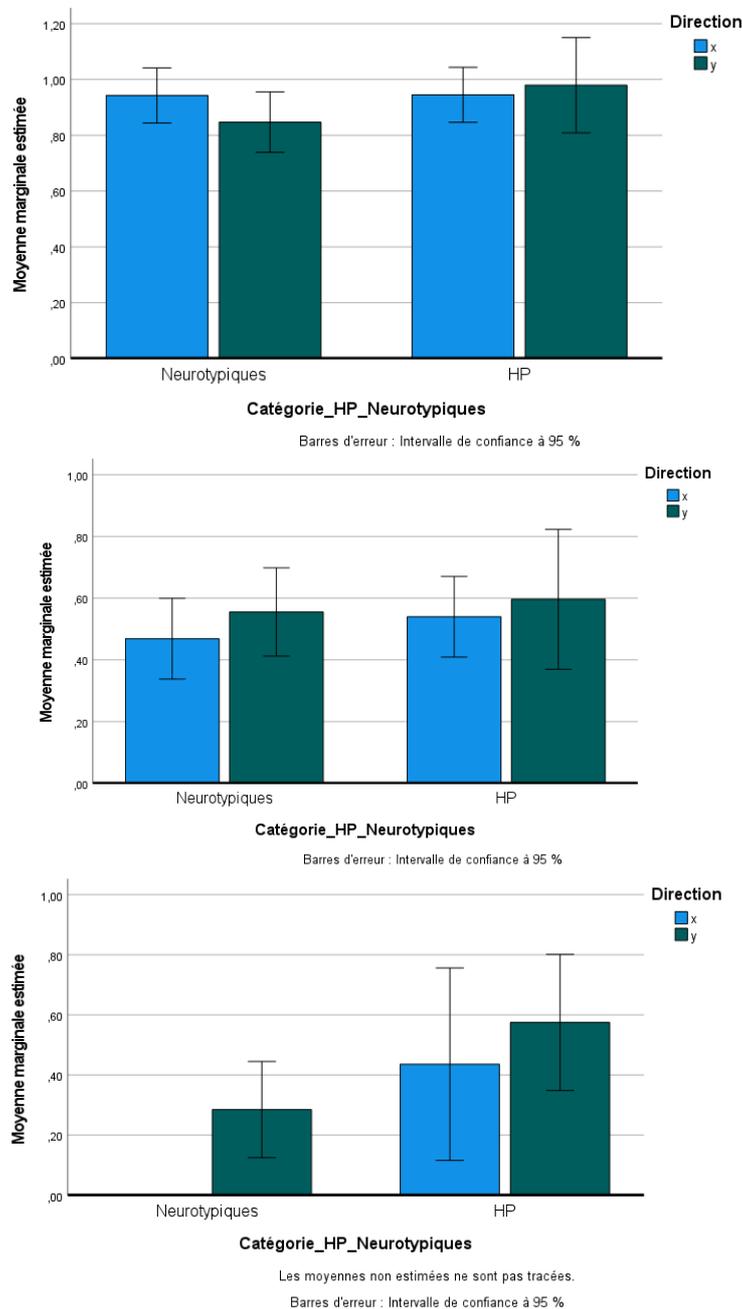


Neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 58: Les caractéristiques oculomotrices en fonction de la direction dans les deux groupes (enfants HP et neurotypiques) .

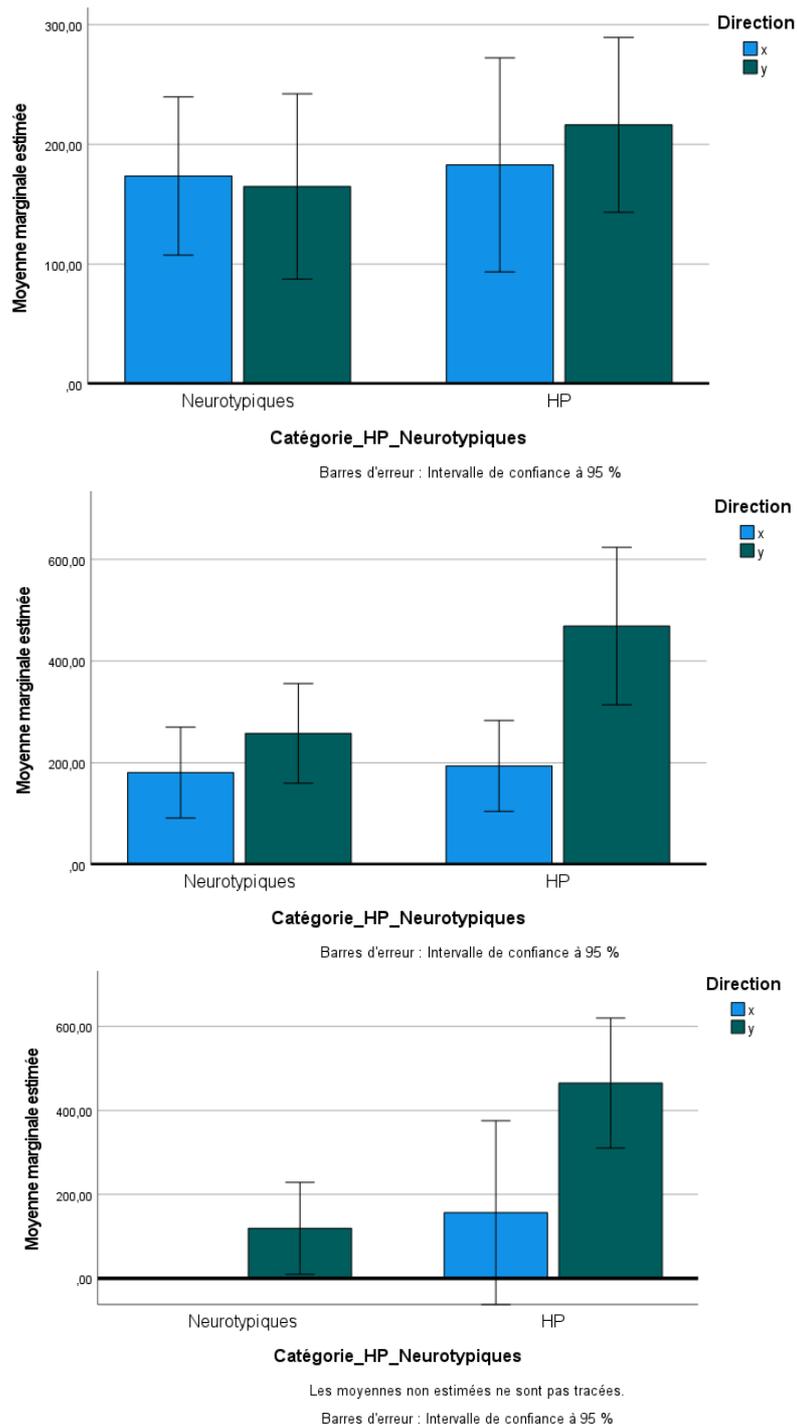
Au regard du nombre d'expériences, la précision et la durée de la poursuite visuelle lisse sont significativement plus importantes dans le groupe d'enfants HP dès la première expérience et cet effet significatif augmente avec le nombre d'expérience (figure 59 et 60). De plus, il existe un effet d'interaction significatif entre la variable « direction x et y », la variable « durée » et la variable « groupe ». Autrement dit, la durée de la poursuite visuelle lisse est significativement plus importante dans le groupe d'enfants HP en direction verticale (M=450ms par proportion lisse chez les HP vs 186ms chez les non-HP) et ce dès l'âge de 9 ans. Il existe une corrélation significative

et positive entre la précision lors de la poursuite visuelle lisse et les résultats à l'épreuve Méli-Mélo ($r=0.42$; $p=0.04$) ainsi qu'avec le barrage des O ($r=0.39$; $p=0.01$) dans le groupe d'enfants HP. Il n'existe aucune différence significative au regard des profils de QI (homogène/hétérogène) ($p=0.67$).



Neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 59: La précision de la poursuite visuelle lisse des enfants HP comparés aux enfants non-HP lors de la 1ère 2ème et la 3ème expérience.

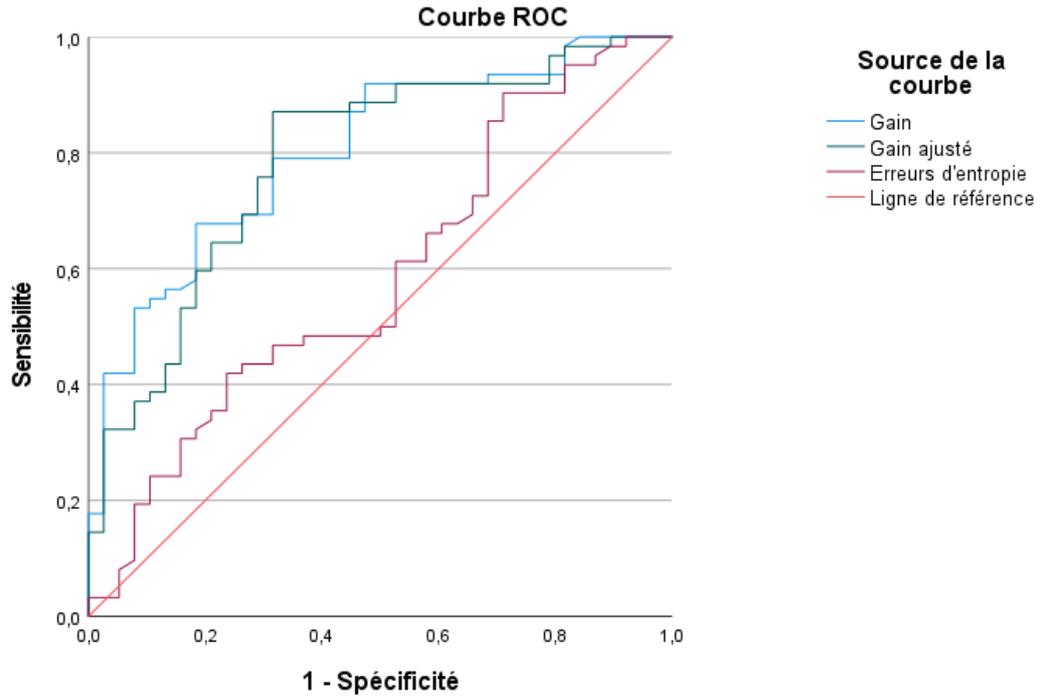


Neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 60: La durée de la poursuite visuelle lisse des enfants HP comparés aux enfants non-HP lors de la 1ère 2ème et la 3ème expérience.

6.2. Prédiction du HP à partir des caractéristiques oculomotrices

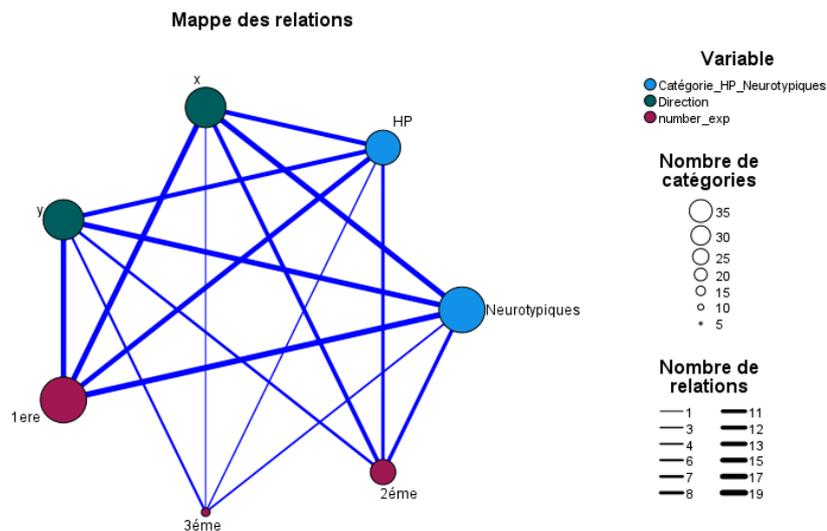
La courbe de ROC illustrée dans la figure 61 met en évidence les trois meilleurs prédicteurs sensibles et spécifiques permettant de prédire le Haut Potentiel. La caractéristique oculomotrice du « Gain » (AUC=0.8 ; $p < 0.001$), « Gain ajusté » (AUC=0.72 ; $p < 0.001$), « l'erreur d'entropie » (AUC=0.6 ; $p = 0.02$).



Les segments diagonaux sont générés par les liens.

Figure 61: Courbe de ROC obtenue avec des classificateurs de forêt aléatoire utilisant les caractéristiques oculomotrices.

Nous nous sommes également intéressés à la comparaison des schémas inter-corrélacionnels entre ces différentes mesures dans les deux groupes (HP et non-HP). La carte suivante des corrélations entre les variables (figure 62) montre une indépendance entre les variables, qui est significativement présente chez les enfants HP comparés aux enfants non HP qui montrent eux une certaine interdépendance.



Neurotypiques : non-HP tout-venant

Figure 62: La carte des corrélations croisées chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

En synthèse, les enfants HP montrent des résultats significativement meilleurs au niveau de la flexibilité cognitive, la planification, la mémoire de travail visuo-spatiale et le temps de planification et d'exécution à l'épreuve de la Tour de Londres. Les scores de planification visuo-spatiales-constructive et de flexibilité cognitive sont significativement meilleurs chez les enfants HP, lorsque le profil de QI est homogène. Il n'existe aucune différence significative concernant l'inhibition et l'attention auditive, mais l'attention visuelle sélective est significativement meilleure chez les enfants HP.

Au niveau perceptif, la représentation mentale à l'épreuve de DPGV chez les enfants HP est significativement meilleure. Sur le plan de l'oculomotricité, les enfants HP montrent des capacités significativement meilleures au niveau du gain, de la précision et de l'erreur d'entropie. De plus, les enfants HP, dès l'âge de 9 ans, montrent un gain et une précision de poursuite visuelle significativement meilleurs au niveau vertical. Par ailleurs, la précision et la durée de la poursuite visuelle lisse sont significativement plus importantes dans le groupe d'enfants HP dès la première expérience et cet effet significatif augmente avec le nombre d'expérience chez les enfants HP. Enfin, il existe une corrélation significative et positive entre la précision lors de la poursuite visuelle lisse et les résultats à l'épreuve Méli-Mélo ainsi qu'avec le barrage des O dans le groupe d'enfants HP. Enfin, la courbe de ROC met en exergue les trois meilleurs prédicteurs sensibles et spécifiques permettant de prédire le Haut Potentiel : la caractéristique oculomotrice du « Gain », « Gain ajusté » et « l'erreur d'entropie ».

7. Caractéristiques psycho-socio-affectives des enfants HP comparés aux enfants non-HP

7.1. Données anamnestiques liées au développement psycho-affectif chez les enfants HP et non-HP

Il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP concernant les données d'anamnèse liées au développement psycho-affectif (tableau 25). En revanche, au niveau de la perception des parents du comportement de leurs enfants, il existe des différences significatives non liées au profil du QI (homogène/hétérogène). En effet, selon les parents, les enfants HP seraient

significativement plus sensibles au niveau émotionnel ($\chi^2 (1) = 19.44, p < 0.001$), régissent significativement plus vivement à la frustration ($\chi^2 (1) = 6.17, p = 0.01$), imposent significativement mieux leur présence ($\chi^2 (1) = 5.01, p = 0.02$). De plus, les parents des enfants HP se jugent significativement plus exigeants que les parents des enfants non-HP ($\chi^2 (1) = 39.57, p < 0.001$). Par ailleurs, il existe dans tout l'échantillon (HP et non-HP) des associations significatives et positives entre l'indice visuo-spatial (IVS) et la capacité à s'adapter à de nouvelles personnes ($\rho = 0,41, p = 0,02, [IC\ 95\% = 0,133 \text{ à } 0,673]$), l'indice de vitesse de traitement (IVT) et la capacité à comprendre l'humour ($\rho = -0,4, p = 0,03, [IC\ 95\% = -0,62 \text{ à } -0,25]$).

Tableau 25: Données anamnestiques liées au développement psycho-affectif chez les enfants HP et non-HP.

Items		Non-HP		HP		Total		χ^2	Valeur de P
		Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)		
Contact visuel dans l'échange à naissance	Non	2	6,7%	1	2,0%	3	3,8%	1.13	0.29
	Oui	28	93,3%	49	98,0%	77	96,3%		
Contact visuel dans l'échange 1 ^{ers} mois	Non	1	3,3%	1	2,0%	2	2,5%	0.14	0.71
	Oui	29	96,7%	49	98,0%	78	97,5%		
Contact visuel dans l'échange 1 ^{eres} années	Non	1	3,3%	1	2,0%	2	2,5%	0.14	0.71
	Oui	29	96,7%	49	98,0%	78	97,5%		
Contact visuel dans l'échange aujourd'hui	Non	0	0,0%	3	6,0%	3	3,8%	1.87	0.71
	Oui	30	100,0%	47	94,0%	77	96,3%		
Gestes pour indiquer un objet désiré	Non	0	0,0%	2	4,0%	2	2,5%	1.23	0.27
	Oui	30	100,0%	48	96,0%	78	97,5%		
Passage par les jeux d'imitation	Non	8	26,7%	17	34,0%	25	31,3%	0.47	0.49
	Oui	22	73,3%	33	66,0%	55	68,8%		
S'adapte facilement à des nouvelles personnes	Non	2	6,7%	5	10,0%	7	8,8%	0.26	0.61
	Oui	28	93,3%	45	90,0%	73	91,3%		
Reconnait facilement les personnages dans un livre ou télévision	Non	0	0,0%	2	4,0%	2	2,5%	1.23	0.27
	Oui	30	100,0%	48	96,0%	78	97,5%		
Communique aisément avec ses pairs	Non	1	3,3%	2	4,0%	3	3,8%	0.02	0.88
	Oui	29	96,7%	48	96,0%	77	96,3%		
Utilise des formules adaptées à des fins sociales	Non	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1.25	0.87
	Oui	30	100,0%	50	100,0%	80	100,0%		
Il a du mal à respecter le tour de parole	Non	26	86,7%	46	92,0%	72	90,0%	0.59	0.44
	Oui	4	13,3%	4	8,0%	8	10,0%		
Il a du mal à utiliser des habiletés verbales pour réguler l'interaction	Non	28	93,3%	46	92,0%	74	92,5%	0.41	0.28
	Oui	2	6,7%	4	8,0%	6	7,5%		
Comprend l'humour	Non	3	10,0%	3	6,0%	6	7,5%	0.43	0.13
	Oui	27	90,0%	47	94,0%	74	92,5%		
Intérêts restreints	Non	25	83,3%	40	80,0%	65	81,3%	0.14	0.71
	Oui	5	16,7%	10	20,0%	15	18,8%		
Mouvements stéréotypés ou répétitifs	Non	29	96,7%	48	96,0%	77	96,3%	0.02	0.87
	Oui	1	3,3%	2	4,0%	3	3,8%		

7.2. L'attachement chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP

Comme le montre le tableau ci-après, il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP au niveau du questionnaire de l'attachement. En revanche, lorsque nous nous intéressons à la trajectoire développementale de l'attachement dans les deux groupes en distinguant la période de l'adolescence [7-10 ans (56% dans le groupe HP vs 53% dans le groupe non-HP) ; 11-13 ans (44% dans le groupe HP vs 47% dans le groupe non-HP)], nous notons un score d'intégration de l'attachement résolu au questionnaire qui est significativement plus élevé chez les enfants HP âgés de 7 à 10 ans comparés aux enfants non-HP du même âge. En revanche, les scores atteints chez les deux groupes à l'âge de 11-13 ans sont similaires (figure 63). Le score de l'attachement résolu chez les enfants HP reste stable à l'adolescence (11-13 ans).

Par ailleurs, alors que nous n'avons obtenu aucune association significative avec le mode de garde à l'âge de 0-2 mois ($\chi^2 (1) = 15.28, p=0.22$), il existe une association significative et positive dans l'ensemble de l'échantillon (HP et non-HP) entre le score total de l'attachement et le mode de garde stable et continu (un ou deux parents) entre 3 et 12 mois ($\chi^2 (1) = 39.68, p=0.009$), entre 1-4 ans ($\chi^2 (1) = 34.57, p=0.02$), entre 4-6 ans ($\chi^2 (1) = 35.23, p=0.004$).

Par ailleurs, le test de Mann-Whitney a montré une différence significative entre les enfants qui ont été allaités au sein et ceux allaités au biberon dans tout l'échantillon (HP et non-HP), sans différence significative entre les deux groupes, concernant l'attachement. En effet les enfants qui ont été allaités au sein montraient un attachement significativement stable (score élevé moyen= 30/30) ($U=95.5, p=0.009, [IC\ 95\ \%=0,001\ \text{à}\ 0,009]$). Toutefois, le mode d'allaitement au biberon s'avère significativement lié au mode de garde variable (nourrice, mère, crèche, baby-sitter) entre 3 et 12 mois ($\chi^2 (1) = 17.34, p=0.01$).

Enfin, les scores totaux au questionnaire de l'attachement sont significativement liés avec certaines données anamnestiques (dans tout l'échantillon : enfants HP et non-HP) : s'adapte facilement à des nouvelles personnes ($\rho = -0.62, p=0.03$), absence d'anxiété de séparation ($\rho = -0.64, p=0.04$), absence de tendance à

l'isolement ($\rho = -0.73$, $p = 0.01$), présence des parents lors des devoirs, des jeux et lors du bain ou de sorties lors des premières années de la vie ($\rho = -0.69$, $p = 0.02$).

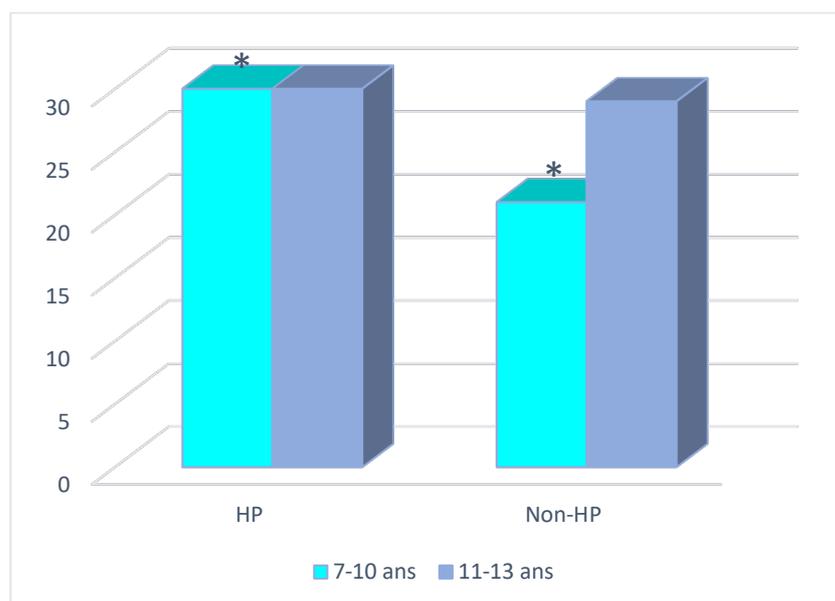


Figure 63: Somme des scores au questionnaire de l'attachement chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP en fonction de l'âge.

Tableau 26: Résultats au questionnaire d'attachement chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP

Items	Non-HP		HP		χ^2	Valeur de P	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)			
« Mon parent est présent pour écouter ma colère »	Profondément d'accord	0	0,0%	13	26,0%	7.65	0.11
	D'accord	0	0,0%	13	26,0%		
	Pas certain	0	0,0%	10	20,0%		
	En désaccord	0	0,0%	9	18,0%		
	Profondément en désaccord	1	100,0%	5	10,0%		
Total	1	100,0%	50	100,0%			
« Je peux compter sur mon parent si j'ai besoin »	Profondément d'accord	0	0,0%	10	20,0%	1.58	0.81
	D'accord	0	0,0%	12	24,0%		
	Pas certain	0	0,0%	2	4,0%		
	En désaccord	1	100,0%	19	38,0%		
	Profondément en désaccord	0	0,0%	7	14,0%		
Total	1	100,0%	50	100,0%			
« Mon parent me déçoit toujours »	Profondément d'accord	1	100,0%	23	46,0%	1.15	0.89
	D'accord	0	0,0%	10	20,0%		
	Pas certain	0	0,0%	1	2,0%		

	En désaccord	0	0,0%	8	16,0%		
	Profondément en désaccord	0	0,0%	8	16,0%		
	Total	1	100,0%	50	100,0%		
« Je ne m'attends pas à ce que mon parent prenne mes soucis au sérieux »	Profondément d'accord	1	100,0%	5	10,0%		
	D'accord	0	0,0%	13	26,0%		
	Pas certain	0	0,0%	13	26,0%	7.65	0.11
	En désaccord	0	0,0%	13	26,0%		
	Profondément en désaccord	0	0,0%	6	12,0%		
	Total	1	100,0%	50	100,0%		
« Je trouve injuste de devoir régler ses problèmes seul »	Profondément d'accord	0	0,0%	1	2,0%		
	D'accord	0	0,0%	13	26,0%		
	Pas certain	1	100,0%	13	26,0%	2.69	0.61
	En désaccord	0	0,0%	13	26,0%		
	Profondément en désaccord	0	0,0%	10	20,0%		
	Total	1	100,0%	50	100,0%		
« Je suis très en colère quand mon parent ne m'aide pas »	Profondément d'accord	1	100,0%	10	20,0%		
	D'accord	0	0,0%	24	48,0%		
	Pas certain	0	0,0%	11	22,0%	3.71	0.45
	En désaccord	0	0,0%	3	6,0%		
	Profondément en désaccord	0	0,0%	2	4,0%		
	Total	1	100,0%	50	100,0%		
« Je suis très en colère car mon parent pourrait m'accorder plus de temps »	Profondément d'accord	0	0,0%	7	14,0%		
	D'accord	1	100,0%	18	36,0%		
	Pas certain	0	0,0%	5	10,0%	1.71	0.78
	En désaccord	0	0,0%	17	34,0%		
	Profondément en désaccord	0	0,0%	3	6,0%		
	Total	1	100,0%	50	100,0%		
« J'ai très peur de perdre l'amour de mon parent »	Profondément d'accord	1	100,0%	5	10,0%	7.57	0.12
	D'accord	0	0,0%	4	8,0%		
	Pas certain	0	0,0%	1	2,0%		
	En désaccord	0	0,0%	24	48,0%		

	Profondément en désaccord	0	0,0%	16	32,0%		
	Total	1	100,0%	50	100,0%		
	Profondément d'accord	1	100,0%	5	10,0%	7.65	0.11
« J'ai une peur terrible que ma relation avec mon parent s'arrête »	D'accord	0	0,0%	2	4,0%		
	Pas certain	0	0,0%	3	6,0%		
	En désaccord	0	0,0%	21	42,0%		
	Profondément en désaccord	0	0,0%	19	38,0%		
	Total	1	100,0%	50	100,0%		
	Profondément d'accord	0	0,0%	12	24,0%		
« Je suis certain que mon parent m'aimera toujours »	D'accord	0	0,0%	9	18,0%	4.76	0.31
	Pas certain	0	0,0%	3	6,0%		
	En désaccord	0	0,0%	18	36,0%		
	Profondément en désaccord	1	100,0%	8	16,0%		
	Total	1	100,0%	50	100,0%		

7.3. Cognition sociale chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP

Au niveau de la reconnaissance des affects et de la théorie de l'esprit, il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP comme le montre le tableau suivant. En ce qui concerne le quotient empathique (QE), il n'existe aucune différence significative ($F(1,78) = 0.06, p = 0.81$). De même pour le quotient autistique (AQ) ($F(1,78) = 0.42, p = 0.51$).

Tableau 27: Résultats aux tests de la cognition sociale chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

Tests standardisés et normés (Percentile)	Groupes	n	Moyenne	Ecart type	F	Valeur de P
Théorie de l'esprit (Tache contextuelle)	Non-HP	30	64,86	18,23	0.35	0.55
	HP	50	65,86	16,10		
Théorie de l'esprit (Tache verbale)	Non-HP	30	63,56	15,90	1.17	0.28
	HP	50	66,44	14,72		
Reconnaissance d'affects	Non-HP	30	13,10	7,32	0.59	0.44
	HP	50	10,88	3,14		
Reconnaissance d'affects (joie)	Non-HP	30	44,90	19,91	1.83	0.17
	HP	50	48,23	16,54		

Reconnaissance d'affects (tristesse)	Non-HP	30	61,00	20,82	1.12	0.29
	HP	50	57,02	25,06		
Reconnaissance d'affects (neutre)	Non-HP	30	55,40	28,09	0.69	0.87
	HP	50	54,94	27,92		
Reconnaissance d'affects (peur)	Non-HP	30	49,33	26,44	0.02	0.79
	HP	50	47,28	25,61		
Reconnaissance d'affects (colère)	Non-HP	30	64,03	21,77	0.63	0.24
	HP	50	61,92	23,59		
Reconnaissance d'affects (dégout)	Non-HP	30	54,03	27,19	0.22	0.63
	HP	50	50,28	26,69		

De même, comme illustré dans le tableau ci-après, le questionnaire de dépression pour enfant (MDI-C) ne montre aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène). En revanche, les sous-scores d'anxiété ($r=0.41$, $p<0.001$) et faible estime de soi ($r=0.55$, $p=0.03$) sont significativement et positivement corrélés avec l'hétérogénéité de profil de QI.

Les scores au questionnaire d'anxiété (R-CMAS) ne sont pas significativement différents entre les enfants HP et non-HP ($F(1,78)=34$, $p=0.57$). En revanche, il existe dans tout l'échantillon des corrélations significatives entre l'indice de compréhension verbale (ICV) et score total de l'anxiété ($r=0.78$, $p=0.01$), avec les sous-échelles du R-CMAS notamment l'hypersensibilité ($r=0.75$, $p<0.001$), la préoccupation sociale ($r=0.71$, $p<0.001$), et faiblement mais significativement avec l'item mensonges ($r=0.37$, $p=0.007$). L'hétérogénéité de profil est également significativement liée à l'anxiété ($r=0.42$, $p<0.001$).

Tableau 28: Résultats à l'échelle de dépression pour enfants chez le groupe HP comparé au groupe non-HP.

Items (scoreT)	Groupes	n	Moyenne	Ecart type	F	Valeur de P
Score Total	Non-HP	30	45,10	10,59	0.65	0.42
	HP	50	48,82	9,61		
Anxiété	Non-HP	30	46,10	8,75	0.01	0.92
	HP	50	50,42	9,32		
Estime de soi	Non-HP	30	48,33	8,84	0.37	0.54
	HP	50	50,84	8,06		
Humeur triste	Non-HP	30	48,30	6,53	2.05	0.16
	HP	50	49,82	8,76		
	Non-HP	30	49,10	8,63	1.53	0.21

Sentiment d'impuissance	HP	50	48,46	9,41		
Introversion sociale	Non-HP	30	46,66	10,42	0.01	0.96
	HP	50	50,12	9,65		
Faible énergie	Non-HP	30	47,36	7,07	3.03	0.85
	HP	50	49,32	9,33		
Pessimisme	Non-HP	30	48,10	8,32	0.51	0.48
	HP	50	45,88	7,76		
Provocation	Non-HP	30	47,23	8,64	1.31	0.25
	HP	50	47,84	9,38		

Il n'existe aucune différence significative entre les deux groupes au niveau des données du développement psycho-affectif relevé à l'anamnèse (tableau 25). En revanche, selon les parents, les enfants HP seraient significativement plus sensibles au niveau émotionnel. D'ailleurs, les parents des enfants HP se jugent significativement plus exigeants que les parents des enfants non-HP. Au regard du profil de QI, existe dans tout l'échantillon (HP et non-HP) des associations significatives et positives entre l'IVS et la capacité à s'adapter à de nouvelles personnes, l'IVT et la capacité à comprendre l'humour.

Au niveau de l'attachement, il existe dans l'ensemble de l'échantillon une association significative et positive entre le score total de l'attachement et le mode de garde stable et continu (un ou deux parents) à partir de l'âge de 3 mois. L'attachement résolu est significativement lié avec certaines données anamnestiques (dans tout l'échantillon : enfants HP et non-HP) : s'adapte facilement à des nouvelles personnes, absence d'anxiété de séparation, absence de tendance à l'isolement, présence des parents lors des devoirs, des jeux et lors du bain ou de sorties lors des premières années de la vie. Par ailleurs, les enfants qui ont été allaités au sein montrent un attachement significativement plus stable. Toutefois, le mode d'allaitement au biberon s'avère significativement lié au mode de grade variable (nourrice, mère, crèche, baby-sitter) entre 3 et 12 mois. Enfin, il existe une intégration significativement plus précoce de l'attachement résolu chez les enfants HP qui semble rester stable à l'adolescence.

Au niveau de la cognition sociale, il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP concernant la reconnaissance des

affects, la théorie de l'esprit, le quotient empathique (QE), ni au niveau du quotient autistique. De même, pour les scores de dépression et d'anxiété. En revanche, les sous-scores d'anxiété et faible estime de soi sont significativement et positivement corrélés avec l'hétérogénéité du profil de QI dans tout l'échantillon. Il existe aussi des corrélations significatives et positive entre l'indice l'ICV et les scores de l'échelle R-CMAS : score total de l'anxiété, sous-score d'hypersensibilité, de préoccupation sociale, et l'item mensonges dans l'ensemble des échantillons HP et non-HP.

8. Régression des différents indices du QI au regard de toutes les variables significatives

Sur la base de toutes ces données de comparaisons multiples et en sélectionnant toutes les variables significatives, nous avons testé un modèle de régression pas à pas ascendante avec un intervalle de confiance de 95%. La sélection du modèle est basée sur des critères d'information d'entrée/de suppression (AICC). Les résultats montrent des modèles valides et précis avec des valeurs de précisions qui vont de 62.5 à 73.3% en fonction des indices. Les figures ci-après (regroupées dans la figure 61) illustrent tous les prédicteurs significatifs pour chaque indice. Nous en retenons que l'ICV est particulièrement influencé par le niveau socio-économique (profession et niveau d'étude des parents). Les autres indices sont prédits par des variables cognitives et neuropsychomotrices (figure 64).

ICV : Qualité du modèle prédictif = 66.8%

Terme de modèle	Coefficient ►	Sig.	Importance
Constante	142,061	,000	
Prof_Mère_transformed=0	14,111	,000	0,340
Prof_Mère_transformed=1	0 ^a		0,340
Niv.scol_Mère_transformed=0	-21,602	,000	0,236
Niv.scol_Mère_transformed=1	-0,582	,832	0,236
Niv.scol_Mère_transformed=2	0 ^a		0,236
Intég.Orient.Corpo_Trois. Objets_transformed	4,616	,001	0,171
Age_Vélo_transformed	-0,205	,008	0,101
Âge_Pr_Mots_transformed	-1,058	,013	0,086
Ton.Fond_Ext.pied.D_jamb. tendue_D_transformed=0	5,584	,031	0,065
Ton.Fond_Ext.pied.D_jamb. tendue_D_transformed=1	0 ^a		0,065

^aCe coefficient est défini sur zéro car il est redondant.

IRF : Qualité du modèle prédictif = 66.3%

Terme de modèle	Coefficient ►	Sig.	Importance
Constante	137,699	,000	
Âge_Prop_Noct_transformed	-0,374	,000	0,116
Fig.rey_Cop_transformed	7,241	,000	0,109
Ton.Fond_Ext.Tronc_hypo. axiale_transformed=0	9,313	,000	0,097
Ton.Fond_Ext.Tronc_hypo. axiale_transformed=1	0 ^a		0,097
Ton.Fond_Ext.pied_Jamb. fléch_D_transformed=0	13,126	,001	0,088
Ton.Fond_Ext.pied_Jamb. fléch_D_transformed=1	0 ^a		0,088
Bhk_Vit_transformed	2,739	,008	0,051
Mot_Irr_transformed	-5,109	,008	0,051
Âge_Pr_Mots_transformed	-1,093	,009	0,049
Classe_transformed=0	-5,462	,017	0,041
Classe_transformed=1	0 ^a		0,041

^aCe coefficient est défini sur zéro car il est redondant.

IVS : Qualité du modèle prédictif = 71.5%

Terme de modèle	Coefficient ►	Sig.	Importance
Constante	79,665	,000	
Cub.khos_transformed	5,089	,000	0,193
Prax.Man_Touch.Pouc.Index_G.sz_transformed	-4,422	,000	0,132
Fig.rey_Cop_transformed	7,531	,000	0,108
Ton.Fond_Ext.épau.résis_transformed=0	-8,571	,000	0,105
Ton.Fond_Ext.épau.résis_transformed=1	0 ^a		0,105
Intég.Orient.Corpo_Sur.Soi_transformed	8,237	,000	0,089
Bhk_Vit_transformed	-3,592	,001	0,083
Ton.Fond_Ext.Tronc.sz_transformed	-4,677	,002	0,068
Naiss_Taille_transformed	1,065	,006	0,050
Naiss_Poids_transformed	-4,663	,025	0,033

^aCe coefficient est défini sur zéro car il est redondant.

IMT : Qualité du modèle prédictif = 73.3%

Terme de modèle	Coefficient ►	Sig.	Importance
Constante	142,618	,000	
Impuls=0	-14,006	,000	0,134
Impuls=1	0 ^a		0,134
Ton.Sout_Quatr.pouss_transformed	-2,211	,000	0,103
Âge_Prop_Diu_transformed	-0,629	,000	0,090
Ton.Fond_Ext.Tronc.sz_transformed	5,807	,000	0,076
Ton.Fond_Ball.poign.résis_transformed=0	11,192	,001	0,064
Ton.Fond_Ball.poign.résis_transformed=1	0 ^a		0,064
Fig.rey_Cop_transformed	5,993	,003	0,052
Mot_Rég_transformed	9,969	,003	0,052
Intég.Orient.Corpo_Sur.Soi_transformed	7,645	,008	0,042

^aCe coefficient est défini sur zéro car il est redondant.

IVT : Qualité du modèle prédictif = 62.5%

Terme de modèle	Coefficient ►	Sig.	Importance
Constante	169,911	,000	
Rythm_Aud.percept.moteur_transformed	11,162	,000	0,219
Lat.Toni_Ped_transformed=0	12,510	,000	0,201
Lat.Toni_Ped_transformed=1	0 ^a		0,201
Bhk_Vit_transformed	3,569	,001	0,095
Tou.lond_Memo_transformed	3,336	,003	0,077
Fig.rey_Cop.tem_transformed	-0,121	,004	0,072
Âge_Bab_transformed	-1,812	,005	0,070
Ton.Fond_Popl.sz_transformed	1,100	,005	0,069
Intég.Orient.Corpo_Sur.Soi_transformed	-5,891	,021	0,045
Naiss_Taille_transformed	-0,705	,046	0,033

^aCe coefficient est défini sur zéro car il est redondant.

Figure 64: Prédicteurs et qualité de la précision du modèle prédictif de tous les indices principaux du QI.

9. Validation d'un modèle prédictif du Haut Potentiel

L'ensemble de ces analyses de phénotypage nous permettent de tester la validation d'un modèle prédictif du Haut Potentiel. Nous avons utilisé la méthode de CHAID Algorithmme pour régression afin de valider le modèle. Le tableau ci-après représente les paramètres statistiques du modèle CHAID dans la phase d'apprentissage et la phase test, lors des prévisions du HP avec comme premier critère d'information le QI. Le nombre minimal d'erreurs reflète la différence entre les valeurs observées du QI et ses valeurs prédites. Le nombre maximal affiche le nombre maximal d'erreurs lors de la prédiction. Le nombre moyen d'erreurs affiche le nombre moyen d'erreurs sur l'ensemble de la prédiction du HP. Il Indique s'il existe un biais systématique (tendance à surestimer au lieu de sous-estimer ou inversement) dans le modèle. L'erreur absolue moyenne affiche la moyenne des valeurs absolues des erreurs sur l'ensemble des prédictions. Il Indique la grandeur moyenne des erreurs, indépendamment de la direction. L'écart type indique la valeur de l'écart-type des erreurs lors de la prédiction. La corrélation linéaire indique le lien linéaire entre les valeurs prédites et observées. Ces statistiques varient entre -1.0 et 1.0. Les valeurs

proches de +1,0 indiquent une association positive forte, de sorte que les valeurs prédites élevées sont associées à des valeurs réelles élevées et les valeurs prédites faibles à des valeurs réelles faibles. Les valeurs proches de -1 indiquent une association négative forte, de sorte que les valeurs prédites élevées sont associées à des valeurs réelles faibles, et inversement. Les valeurs proches de 0 indiquent une association faible, de sorte que les valeurs prédites sont plus ou moins indépendantes des valeurs observées. L'occurrence indique le nombre de sujets sélectionnés utilisés dans l'analyse suivant le choix méthodologique : 70 % dans la partition apprentissage ; 30 % partition test.

Tableau 29: Comparaison des paramètres statistiques du HP prédictif dans la partition apprentissage et la partition test (CHAID algorithm).

Paramètres	Partition	
	Apprentissage	Test
Nombre minimal d'erreurs	-10,01	-8,87
Nombre maximal d'erreurs	4,82	3,24
Nombre moyen d'erreurs	0,13	-0,39
Erreur absolue moyenne	1,80	0,77
Ecart type	2,52	1,98
Corrélation linéaire	0,99	0,91
Occurrences (nombre de sujets)	50	30

Ainsi, nous illustrons dans la figure 65 le résultat du modèle prédictif du Haut Potentiel en se basant sur le phénotypage multidimensionnel effectuée dans cette thèse. Le QI (=125) ($F(1,78) = 0.98, p < 0.001$) s'avère le seuil requis le plus sensible à la prédiction du HP. En deuxième position, le langage précoce (particulièrement l'expression des premières phrases à 18 mois en moyenne) s'avère un des meilleurs prédicteurs du HP ($F(1,78) = 26.10, p < 0.001$). Ensuite, nous retrouvons la planification et l'attention visuelle sélective avec la variable d'hypotonie axiale et du développement psychomoteur précoce. La sensibilité et la spécificité de ce modèle ont été testées par la corrélation entre les valeurs de gain et d'apprentissage (figure 66), équivalent de courbe de ROC car ici le modèle ne fonctionne pas par des discriminants binaires mais par arbres de prédicteurs. Cette corrélation est forte et valide ($r = 0.99-0.91 ; p < 0.001$).

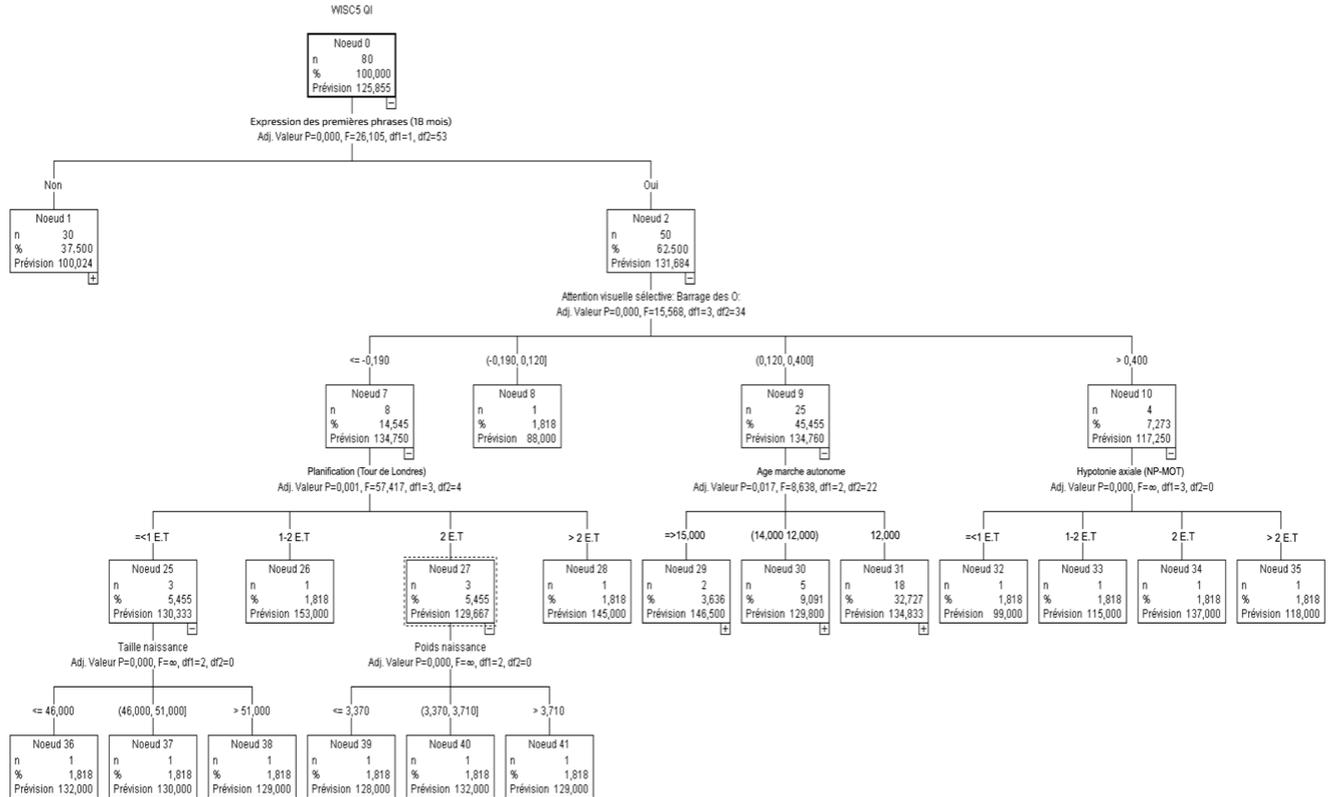


Figure 65: Modèle prédictif du Haut Potentiel à l'aide du « CHAID algorithm » en se basant sur le phénotypage multidimensionnel.

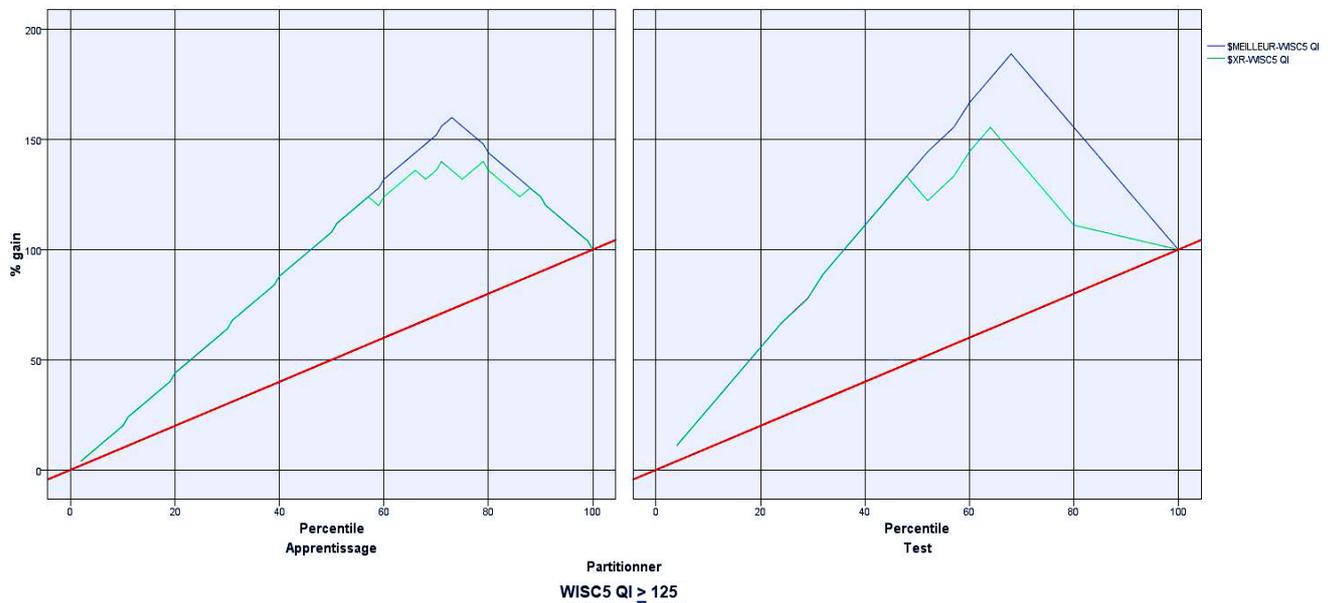
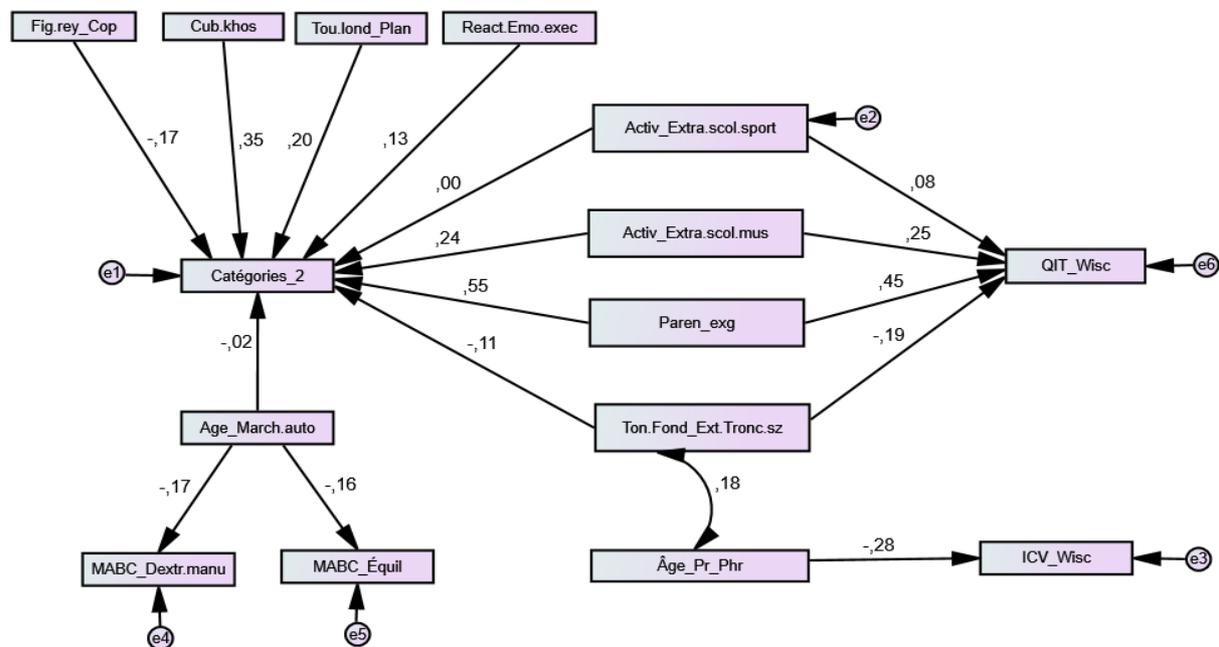


Figure 66: Corrélation valide entre les valeurs de gain et d'apprentissage validant notre modèle

Pour confronter nos résultats à la revue de littérature présentée précédemment, nous avons réalisé une méta-analyse à l'aide du modèle cartésien d'enrichissement « Pathway Analysis ». Ce dernier se base sur nos variables et les résultats d'analyses

multivariées pour tester la méta-analyse issue de l'état de l'art. Les résultats ne valident pas toutes les données de la revue de littérature soulignant des coefficients de régression très faibles et non significatifs allant de $p=0.56$ à $p=0.87$ (figure 67).



*Les valeurs sur les indiquent les coefficients de régression. Les flèches indiquent une prédiction.

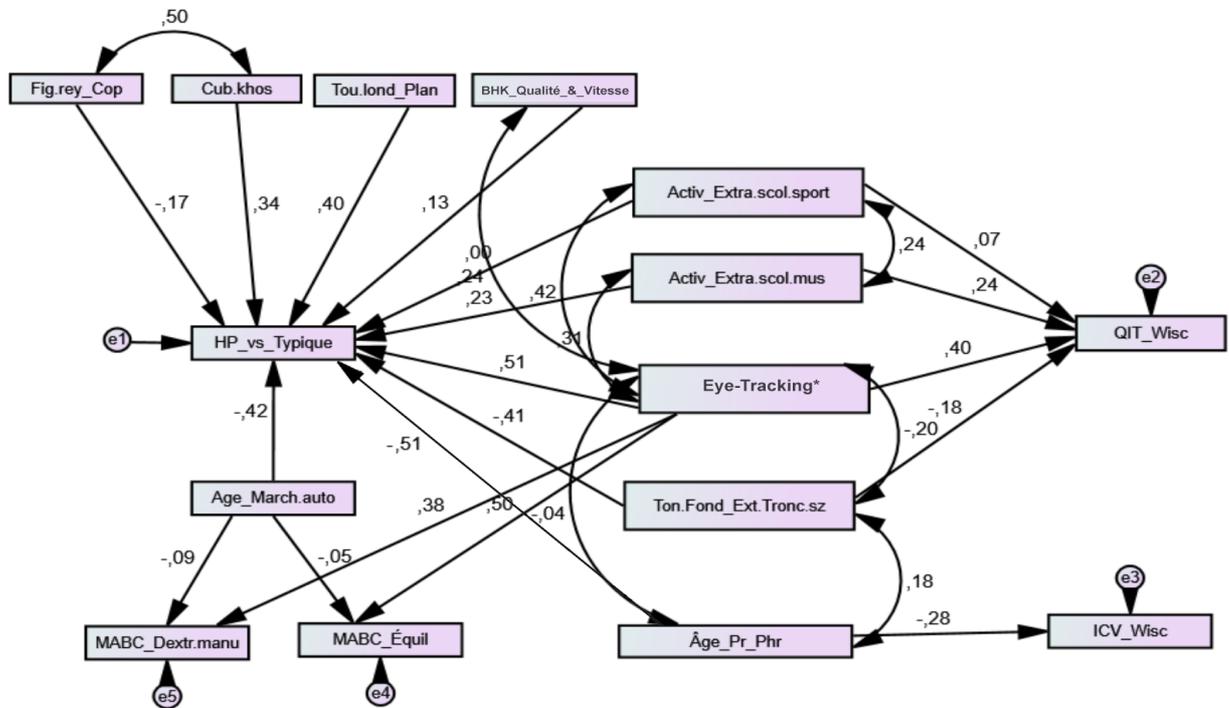
Figure 67: Méta-analyse testée par « Pathway Analysis : modèle mixte ».

Pour améliorer le modèle, nous avons effectuée des modifications pas à pas introduites dans le modèle mixte initiale (figure 67). Le tableau ci-après montre toutes les valeurs obtenues jusqu'à arriver au 8^{ème} modèle qui est significativement valide en se basant sur le référentiel statistique (Annexe 9). Les détails de covariances du modèle sont présentés dans l'annexe 9. Le modèle amélioré valide en se basant sur la méta-analyse effectuée est illustré par la figure 68.

Tableau 30: Comparaison de modèles de l'Analyse Factorielle Confirmatoire.

Modèles	Indices Absolus			Indices incrémentaux			Indices Parcimonieux		
	X^2	ddl	p	RMSEA	NFI	TLI	CFI	X^2/df	AIC
Initial	482,561	88	0.00	,238	,230	-,063	,221	5,484	576,561
2 ^{ème}	429.036	83	0.00	0.230	0.315	0.012	0.317	5,169	533.036
3 ^{ème}	428.113	82	0.00	0.231	0.316	0.00	0.316	5.221	534.113
4 ^{ème}	4.19.993	82	0.00	0.228	0.329	0.023	0.332	5.122	525.993

5 ^{ème}	4.19.834	81	0.00	0.230	0.330	0.009	0.331	5.1830	527.834
6 ^{ème}	328.868	80	0.00	0.219	0.389	0.103	0.402	4.786	492.868
7 ^{ème}	391	82	0.00	0.219	0.374	0.104	0.388	4.779	497.912
8 ^{ème} (retenu)	378.916	79	0.00*	0.219*	0.395*	0.100*	0.408*	4.796*	490.916*



Typiques : non-HP tout-venant

*Les valeurs sur les flèches indiquent les coefficients de régression ou de corrélation. Les flèches unidirectionnelles indiquent une prédiction ; les flèches bidirectionnelles indiquent des corrélations.

Figure 68: Méta-analyse amélioré et validée par « Pathway Analysis : modèle mixte amélioré ».

La régression pas à pas ascendante montre que l'ICV est particulièrement significativement influencé par le niveau socio-économique (profession et niveau d'étude des parents). Les autres indices du QI sont prédits par des variables cognitives et neuropsychomotrices. Les analyses de modélisation par « machine learning » mettent en exergue un modèle prédictif valide du Haut Potentiel ($r=0.99-0.91$; $p<0.001$). Le QI (≥ 125) est le seuil significativement requis pour la prédiction du HP. Ensuite, le langage précoce, les capacités de planification et de l'attention visuelle sélective, l'hypotonie axiale isolée et le développement psychomoteur précoce sont aussi des caractéristiques significativement prédictives du HP. L'analyse de nos données par rapport à la méta-analyse, met en exergue d'autres caractéristiques notamment les capacités visuo-spatiales/constructives et graphomotrices de meilleure qualité, mais aussi un intérêt particulier pour les activités physiques et musicales.

Au total, au regard du « CHIAD algorithm », de la « Pathway analysis » et des analyses multivariées de comparaison nous retenons les items suivants comme les plus importants dans la prédiction du HP : poursuite visuelle lisse horizontale et verticale significativement plus précise et plus rapide à l'oculométrie, une poursuite visuelle lisse verticale significativement plus précoce et un apprentissage significativement plus rapide à l'oculométrie. Au niveau développemental, un développement psychomoteur et langagier précoce. En ce qui concerne les fonctions neuropsychomotrices, une hypotonie axiale isolée sans incidence sur les performances motrices, disparition précoce des syncinésies, des scores significativement meilleurs de praxies uni et bi-manuelles et latéralité proximale et distale plus homogène entre membres sup/inf et plus affirmée. Au niveau cognitif, une attention visuelle sélective, fonctions exécutives, capacités visuo-spatiales/constructives de lecture et d'écriture significativement meilleurs. Au niveau psycho-socio-affectif, une intégration d'un attachement résolu significativement plus précoce (7 ans) et stable à 10-13 ans, empathie, capacités de reconnaissance des affects, théorie de l'esprit sans spécificité.

Étude 2 : Tableau clinique du trouble développemental de la coordination (TDC) chez des enfants HP comparés aux enfants avec un Haut QI et des enfants non-HP avec TDC

1. Caractéristiques descriptives de l'échantillon d'étude

Le tableau ci-après montre les caractéristiques sociodémographiques, cognitives et médicales des trente-huit enfants avec trouble développemental de la coordination (TDC). Les groupes sont appariés selon l'âge ($t = -0,069$, $df = 18$, $p = 0,94$, [IC à 95 %, 95,16 à 124,24]), l'absence de trouble du langage $\chi^2 (1) = 0,3$, $p = 0,73$, [IC 95 %, 0,72 à 0,74], et l'absence d'anomalies ophtalmologiques $\chi^2 (1) = 0$, $p = 1$, [IC à 95 %, 1 à 1]. Seuls les scores de QI sont identifiés comme critère de différenciation des groupes ($t = 12,87$, $df = 18$, $p < 0,0001$, [IC à 95 %, 127,36 à 138,01]). Chez les enfants ayant un Haut QI (HQ-HP) avec TDC, nous avons identifié un taux élevé de TDC mixte (MX : 58% vs 21%), un faible taux de TDC idéomotrice (IM : 5% vs 11%)

visuo-spatio-constructive (VSC : 37% vs 68%) par rapport aux enfants non-HP avec TDC. HQ par rapport au HP, il n'y a pas de différence significative de fréquence du sous-type MX-TDC (respectivement 56% vs 60%). Les difficultés mathématiques sont fortement présentes dans l'ensemble de l'échantillon, comparant les enfants TDC non-HP et HQ-HP, 100% vs 20% de difficultés mathématiques dans $\chi^2 (1) = 4,5$, $p=0,07$, [IC à 95 %, 0,067 à 0,077], mais dans MX il est repéré 100 % contre 90,91 %. Ces difficultés mathématiques n'apparaissent pas dans le TDC idéomoteur.

Tableau 31:Caractéristiques sociodémographiques, cognitives et médicales des participants (étude 2).

Variables	Non-HP (n = 19)	HQ (n= 10)	HP (n = 9)
Age (mois) Moyenne (Écart-type)	109.84 (33.72)	118.66 (31.45)	100.5 (28.88)
Sexe			
Fille (%)	5	10	11
Garçon (%)	95	90	89
QIT Moyenne (Écart-type)	100.79 (6.83)	122.78 (2.97)	143.1 (7.65)
FQIT (min-max)	90-114	120-128	134-157
Absence du trouble du langage (%)	84	100	98
Absence anomalies ophtalmologiques (%)	68	97	97
TDC visuo-spatiale pure (%)	0	10	22
TDC visuo-constructive pure DCD (%)	0	0	0
Déficit de mémoire auditive (%)	16	20	33
Déficit attentionnel (%)	5	40	33
Difficultés mathématiques (%)	89	90	89

2. Relation entre le QI et le développement neuropsychomoteur dans un échantillon d'enfants TDC

Chez les enfants HQ-HP, il existe des corrélations négatives et significatives entre les principaux scores de l'indice de QI (ICV, IVS et QIT) et l'âge de la station assise, la marche autonome et l'expression des premières phrases. L'ICV est significativement et négativement corrélé à l'âge de l'expression des premières phrases ($r= -0,36$ [IC 95 %, $-0,587$ à $0,135$], $p=0,02$). L'VS est corrélée à la marche $r= -0,42$ [IC à 95 %, $-0,626$ à $-0,147$], $p=0,009$, la position assise ($r= -0,43$ [IC 95%, $-0,651$ à $-0,167$], $p=0,008$), et à l'expression des premières phrases ($r= -0,51$ [IC à 95 %, $-0,701$ à $-0,319$], $p=0,001$). Le QIT est négativement et significativement corrélé

à la position assise ($r = -0,37$ [IC 95%, - 0,626 à -0,008], $p=0,02$), la marche ($r = -0,41$ [IC à 95 %, -0,621 à -0,122], $p=0,01$) et à l'expression des premières phrases ($r = -0,62$ [IC à 95 %, -0,766 à -0,462], $p<0,0001$).

3. Relation entre les variables cognitives et les sous-types de TDC

Les résultats montrent que le sous-type IM-TDC a eu une influence sur le QIT [F (1, 36) = 4,67, $p = 0,03$] et l'IVS [F (1, 36) = 4,91, $p=0,03$]. Le sous type VSC-TDC a eu une influence sur le QIT [F (1, 36) = 5,28, $p = 0,02$]. Les TDC étant présents dans les deux groupes (HQ-HP et non-HP). Dans l'ensemble de l'échantillon (tous les participants), le sous-type IM-TDC est significativement et positivement corrélé avec un déficit au niveau des fonctions exécutives ($\rho = +0,51$ [IC 95 %, 0,163 à 0,795], $p=0,001$), et une corrélation significative et négative entre déficit aux cubes de Kohs et du le sous-type VSC-TDC ($\rho = -0,65$ [IC à 95 %, -0,899 à -0,406], $p = 0,006$). Il n'y a pas de différence significative entre HP et HQ.

4. Les signes cliniques du NP-MOT

En ce qui concerne les caractéristiques neuropsychomotrices évaluées par batterie NP-MOT, 84 % des enfants HQ-HP vs 47 %, respectivement, ont réussi l'item d'orientation spatiale des trois objets, bien que ce résultat ne soit pas significatif. De plus, 84 % des enfants HQ-HP vs 37% ont réussi l'item de diadococinésies $\chi^2 (1) = 5,4$, $p=0,02$, [IC 95%, 0,033 à 0,041]. Respectivement, 10% vs 87% ont réussi l'épreuve de praxies bi-manuelles $\chi^2 (1) = 9$, $p=0,003$, [IC à 95 %, 0,003 à 0,005]. Il n'y a pas de différence significative entre HP et HQ. Les résultats ont montré de meilleurs scores en faveur du groupe HQ-HP pour l'épreuve de l'orientation des trois objets, mais ils montrent de moins bons scores que les enfants non-HP en ce qui concerne « l'orientation spatiale sur autrui » et l'item « intégration corporelle de l'orientation spatiale sur un plan » (tableau 32).

Tableau 32: Les signes cliniques NP-MOT chez les enfants TDC.

Réussite ou non aux items du NP-MOT en fonction de l'âge	Enfants avec TDC (N = 38)								χ^2			
	HQ (N = 10)		HP (N = 9)		HP-HQ (N = 19)		Non-HP (N = 19)					
	N	%	N	%	N	%	N	%	value	df	p-value	
Sur soi	OUI	8	80	9	100	17	89.47	17	89.47	0.003	1	0.86
	NON	2	20	0	0	2	10.53	2	10.53			

Intégration corporelle spatiale	Trois objets	OUI	8	80	8	88.89	16	84.21	9	47.37	1.96	1	0.224
		NON	2	20	1	11.11	3	15.79	10	52.63			
	Sur autrui	OUI	5	50	4	44.44	9	47.37	11	57.89	0.43	1	0.51
		NON	5	50	5	55.56	10	52.63	8	42.10			
	Sur un plan	OUI	10	100	9	100	19	100	17	89.47	0.11	1	0.74
		NON	0	0	0	0	0	0	2	10.53			
Praxies manuelles	Imitation des gestes (mains)	OUI	10	100	9	100	19	100	17	89.47	0.47	1	0.49
		NON	0	0	0	0	0	0	2	10.53			
	Imitation des gestes (doigts)	OUI	7	70	6	66.67	13	68.42	13	68.42	0.03	1	0.86
		NON	3	30	3	33.33	6	31.58	6	31.58			
	Praxies digitales	OUI	5	50	4	44.44	9	47.37	11	57.89	0.22	1	0.64
		NON	5	50	5	55.56	10	52.63	8	42.10			
	Praxies bucco-faciales	OUI	9	90	9	100	18	94.73	12	63.16	0.50	1	0.21
		NON	1	10	0	0	1	5.26	7	36.84			
	Prono-supination bimanuelles symétriques	OUI	10	100	9	100	19	100	16	84.21	0.47	1	0.49
		NON	0	0	0	0	0	0	3	15.79			
	Prono-supination bimanuelles asymétriques	OUI	7	70	6	66.67	13	68.42	9	47.37	0.39	1	0.53
		NON	3	30	3	33.33	6	31.58	10	52.63			
Tonus	Hypertonie (Spasticité distale)	OUI	3	30	1	11.11	4	21.05	8	42.11	1	1	0.312
		NON	7	70	8	88.89	15	78.95	11	57.89			
	Hypotonie	OUI	5	50	3	33.33	8	42.11	7	36.84	0.17	1	0.68
		NON	5	50	6	66.67	11	57.89	12	63.16			
	Quatres poussées	OUI	3	30	2	22.22	5	26.32	9	47.37	1.5	1	0.22
		NON	7	70	7	77.78	14	73.68	10	52.63			
	Réflexes rotuliens	OUI	5	50	6	66.67	11	57.89	9	47.37	0.43	1	0.51
		NON	5	50	3	33.33	8	42.11	10	52.63			
	Mobilisation passives	OUI	7	70	6	66.67	13	68.42	9	47.37	0.47	1	0.50
		NON	3	30	3	33.33	6	31.58	10	52.63			
	Syncinésies	OUI	1	10	5	55.56	6	31.58	13	68.42	0.8	1	0.37
		NON	9	90	4	44.44	13	68.42	6	31.58			
Coordination	Marche	OUI	5	50	1	11.11	4	21.05	7	36.84	0.33	1	0.56
		NON	5	50	8	88.89	15	78.95	12	63.16			
	Équilibre statique	OUI	5	50	8	88.89	13	68.42	9	47.37	0.39	1	0.53
		NON	5	50	1	11.11	6	31.58	10	52.63			
	Équilibre dynamique	OUI	5	50	7	77.78	12	63.16	9	47.37	1.47	1	0.23
		NON	5	50	2	22.22	7	36.84	10	52.63			
Difficultés de coordination des membres sup/inf	OUI	10	100	1	11.11	11	57.89	11	57.89	0.73	1	0.39	
	NON	0	0	8	88.89	8	42.11	8	42.11				
Gnosies tactiles	Troubles main droite	OUI	1	10	1	11.11	2	0	3	15.79	0.13	1	0.72
		NON	9	90	8	88.89	17	100	16	84.21			
	Troubles main gauche	OUI	1	10	1	11.11	2	10.53	4	21.05	0.13	1	0.72
		NON	9	90	8	88.89	17	89.47	15	78.95			
Latéralité	Latéralité Tonique des membres supérieurs	OUI	2	20	3	33.33	5	26.31	7	36.84	0.60	1	0.81
		NON	8	80	0	0	8	42.11	8	42.10			
		Indeterminé	0	0	6	66.67	6	31.58	4	21.05			
	Latéralité tonique des membres inférieurs	OUI	3	30	4	44.44	7	36.84	6	31.58	0	1	1
		NON	6	60	2	22.22	8	42.11	8	42.10			
		Indeterminé	1	10	3	33.33	4	21.05	5	26.31			
Latéralité fonctionnelle des membres supérieurs	OUI	5	50	7	77.78	12	63.16	14	73.68	0.15	1	0.70	
	NON	5	50	2	22.22	7	36.84	3	15.79				
	Indeterminé	0	0	0	0	0	0	2	10.53				

Variables neurovielles	Latéralité fonctionnelle des membres inférieurs	OUI	8	80	8	88.89	16	84.21	15	78.95	0.03	1	0.86	
		NON	2	20	1	11.11	3	15.79	2	10.53				
		Indeterminé	0	0	0	0	0	0	2	10.53				
	Gestuelle+ psychosociale + spontanée Latéralité homogène	OUI	0	0%	6	66.67	6	31.59	11	61.11	0.17	1	0.68	
		NON	7	70%	1	11.11	8	42.11	2	5.56				
		Indeterminé	3	30%	2	22.22	5	0	6	33.33				
	Variables neurovielles	Difficultés de poursuite visuelle horizontale	OUI	6	60	8	88.89	14	73.68	14	73.68	0	1	1
			NON	4	40	1	11.11	5	26.32	5	26.32			
		Difficultés de poursuite visuelle verticale	OUI	6	60	4	44.44	10	52.63	7	38.89	0.53	1	0.47
			NON	4	40	5	55.56	9	47.37	11	61.11			
		Anomalie au Potentiel Visuel Évoqué	OUI	8	80	9	100	17	89.47	17	89.47	0	1	1
			NON	2	20	0	0	2	10.53	2	10.53			
NON	0		0	0	0	0	0	0	0					

Au niveau du développement des jalons de la motricité, L'acquisition précoce de la station assise, de la marche et des premières phrases est significativement liée avec le QIT. Le langage précoce est significativement et positivement corrélé avec l'ICV. La station assise et la marche précoces sont significativement et positivement corrélées avec l'IVS.

Au niveau des habiletés motrices au quotidien, le tableau clinique du TDC est similaire dans les deux groupes, avec les mêmes sous-types. Il existe cependant moins de sous-type idéomoteur et visuo-spatial/constructif dans le groupe d'enfants HQ-HP. Ces deux sous-types de TDC sont significativement et positivement corrélés, respectivement, avec des déficits des fonctions exécutives et au niveau de l'épreuve des cubes de Kohs.

Discussion & Conclusion

Rappelons que cette thèse est constituée de deux études principales :

- 1) Phénotypage neurodéveloppemental du HP tout-venant, afin de mieux comprendre le profil d'efficacité intellectuelle au regard du fonctionnement neuropsychologique, neuromoteur, neurovisuel, et socio-psycho-affectif. Pour cela, cinquante enfants HP tout-venant sont comparés à trente enfants non-HP tout-venant. Ainsi, nous allons pouvoir proposer une définition objective du HP et mieux comprendre les profils du QI.
- 2) Comparaison des sous-types du trouble développemental de la coordination (TDC/dyspraxies) chez un échantillon d'enfants TDC, neuf enfants HP comparés à dix enfants avec un HQ et dix-neuf enfants non-HP. Ainsi, nous allons pouvoir répondre à la question de dyssynchronie cognitive/psychomotrice et de distinguer les enfants HP tout-venant des enfants HP consultants.

Nous allons confronter tout au long de la discussion nos résultats à la revue de littérature. Nous discuterons également des hypothèses de corrélats neuronaux et génétiques, pouvant ouvrir sur des perspectives d'études futures en imagerie et/ou en électrophysiologie avec des enregistrements oculomoteurs.

1. Caractéristiques d'anamnèse des enfants HP tout-venant vs HQ vs enfants non-HP

1.1. Qu'en est-il de l'histoire de grossesse et des paramètres néonataux chez les enfants HP tout-venant comparés aux enfants à Haut QI vs non-HP ?

Au niveau des conditions de grossesse, il n'existe aucune différence significative entre les trois groupes d'enfants au niveau des complications durant la grossesse, la consommation de tabac et/ou d'alcool pendant la grossesse, et la prise médicamenteuse. De même, aucune différence significative n'est relevée entre les deux groupes concernant les problèmes périnataux et néonataux tels que l'anoxie, l'ictère, la cyanose, les convulsions. De plus, comme attendu, les résultats ne montrent aucune différence significative entre les deux groupes au niveau du score APGAR à 1 et à 5 minutes et toutes les naissances sont à terme sans aucune différence statistique entre les deux groupes, puisque nous avons inclus que des nouveau-nés à terme (m=39 semaines d'aménorrhée ; E.T.+ 1 semaine). Ces résultats issus d'un échantillon représentatif de la population HP tout-venant sont en contradiction avec

l'étude de Louis et al. (2005). Cette dernière a montré à l'aide d'une enquête comparative : la prépondérance d'une grossesse anormale, d'une migraine récurrente chez la mère, de prématurité, des difficultés néonatales, et d'une grande fréquence d'asthme chez les enfants HP âgés de 8-11 ans. Cependant, il existe un biais méthodologique majeur dans l'étude de Louis et al. (2005), qui s'appuie sur un échantillon d'enfants HP consultants et n'exclut pas les critères d'anomalies de grossesse. Louis et al. (2005) ont même émis l'hypothèse d'un rôle que jouerait la grossesse anormale sur le développement de l'enfant HP. Dans ce sens, Camos (2004) atteste que ces particularités peuvent être mises en lien avec un taux de testostérone important durant la période fœtale, qui aurait une influence sur le développement cérébral avec plus de symétrie hémisphérique, jouant ainsi un rôle direct sur la construction des représentations bilatérales chez les enfants HP. Cependant, l'ensemble de ces études se sont basés sur un échantillon d'enfants HP recrutés principalement dans des consultations libérales, ce qui ne permet pas généraliser les résultats, étant donné qu'il existe de fortes probabilités d'avoir une histoire médicale neurodéveloppementale et des particularités de grossesse et d'accouchement lorsque l'on est dans le registre de consultations. De façon contrastée, d'autres auteurs comme Wiley et Goldstein (1991) ne retrouvent pas de correspondances systématiques et significatives entre le Haut Potentiel et les particularités de grossesse. En effet, dans l'étude de Wiley et Goldstein (1991), les résultats sont en congruence avec notre étude et apparaissent plus représentatifs de la population d'enfants HP tout-venant, étant donné que les participants ont été recrutés dans le cadre du programme d'identification des talents qui couvre une région de seize états dans le sud-est et le Midwest des États-Unis.

En revanche, de façon surprenante, le taux de naissance par césarienne dans notre échantillon s'avère significativement élevé dans le groupe d'enfants HP comparé au groupe d'enfants non-HP (respectivement 96% vs 70%). Mais, l'analyse des résultats montre qu'en dépit de la différence significative entre les deux groupes, le taux d'accouchement par césarienne reste tout de même élevé dans le groupe des enfants non-HP (70%). Nous avons alors cherché à savoir si ce résultat est directement lié au HP ou au statut socio-économique. Il s'avère que le taux élevé d'accouchement par césarienne est plutôt associé au niveau d'études de la mère (Master : 46% vs 18% par voie basse) et à la profession du père (cadre et employé : respectivement 55%, 22% vs 9%, 27% par voie basse). Ces derniers sont

significativement plus élevés dans le groupe HP, ce qui expliquerait la significativité de différence entre les deux groupes concernant l'accouchement par césarienne. Le taux élevé d'accouchement par césarienne n'est alors pas spécifique aux enfants HP, mais plutôt expliqué par le niveau socio-économique des parents qui leur permet peut-être de programmer un accouchement par césarienne, ce qui peut aussi être lié au choix personnel des parents comme nous l'avons constaté lors de l'anamnèse. En effet, au moins 60% des femmes dans l'ensemble de l'échantillon (HP et non-HP) nous ont expliqué que l'accouchement par césarienne relève plutôt d'un choix personnel par précaution, leur permettant d'éviter les effets délétères de l'accouchement par voie basse, notamment sur le plancher pelvien et les éventuelles complications néonatales. Ainsi, ce taux d'accouchement par césarienne semble être lié à une pratique de plus en plus choisie, aussi en lien avec les facteurs socio-économiques plutôt qu'au fait d'être HP ou pas.

Nous retrouvons la confirmation de notre explication dans la littérature, soulignant que le taux de césariennes a généralement augmenté, malgré les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de ne pas dépasser 10 à 15 %. En effet le taux mondial a presque triplé en un quart de siècle, passant de 6.7% en 1990 à 19.1% en 2014 (OMS, 2015). L'élévation du taux de césariennes ces dernières années est justifiée selon Rozenberg (2004) par l'évolution de la mortalité et la morbidité maternelle liée à la césarienne élective (les risques liés à la chirurgie ont diminué avec le temps, particulièrement pour la césarienne élective). De même, une autre explication de l'élévation du taux de césarienne ces dernières années se trouve, selon Rozenberg (2004), dans le choix par précaution, évitant les effets délétères de l'accouchement par voie basse (prolapsus d'organe pelvien, incontinence urinaire, risque de complications hémorragiques). Cependant, l'analyse mondiale des dernières données nationales par l'OMS (2015) a montré que l'accouchement par césarienne est efficace pour sauver la vie de mères et de nouveau-nés, mais uniquement lorsqu'elle est justifiée par une indication médicale. D'autre part, à l'aide d'une approche longitudinale, l'OMS (2015) a affirmé qu'une partie significative de l'association entre le taux de césarienne et la mortalité semble être expliquée par des facteurs socio-économiques.

Par ailleurs, étant donné qu'une étude sur les enfants HP et la prématurité a mis en évidence des particularités d'anthropométrie supérieure à la moyenne des enfants nés à terme (Vaivre-Douret et al., 2010), étant donné le rôle déterminant du

poids et de la taille à la naissance en lien avec l'âge gestationnel dans le développement moteur (Ego, 2013), nous nous sommes intéressés à l'analyse des valeurs staturo-pondérales de nos échantillons (HP et non-HP tout-venant). Nos résultats ont montré des moyennes staturo-pondérales significativement plus élevées chez les enfants HP ($m=3.46$ Kg ; 50.34 cm) comparés aux non-HP ($m=3.16$ Kg ; 47.78 cm), en faveur des garçons dans tout l'échantillon. Sans différence significative au regard des profils de QI (homogène/hétérogène).

Dans la littérature, il est d'abord attesté une différence significative entre les filles et les garçons en faveur de ces derniers, ce qui est cohérent avec nos résultats. Lorsque nous comparons nos résultats aux normes développementales de la courbe standardisée AUDIPOG d'anthropométrie obstétrique (Salomon et al., 2007), nous observons que notre groupe non-HP se situe dans la moyenne des enfants nés à terme (50^{ème} Percentile). De leur côté, les enfants du groupe HP se situent plutôt entre le 50-70^{ème} Percentile pour le poids et la taille, que ce soit pour les garçons ou les filles. Par ailleurs, nous nous sommes assurés, à l'aide des carnets de santé et de l'entretien clinique, que le rebond d'adiposité chez les enfants HP se soit survenu à l'âge de six ans, conformément aux normes développementales rappelées par Rolland-Cachera (2004). En effet, lorsque le rebond d'adiposité, qui correspond à la remontée de l'indice de masse corporelle (IMC) dans le couloir de la courbe de croissance, survient précocement (avant l'âge de 6 ans), il constitue un facteur de risque de l'obésité selon les lignes de recommandation du Programme National Nutrition Santé (PNNS-4) (Bocquet et al., 2022). Nous n'avons pas calculé l'IMC pour nos participants, mais aucun élément d'obésité n'a été relevé. Ainsi, les valeurs staturo-pondérales élevées chez les enfants HP de notre échantillon ne peuvent-être considérées comme des facteurs de risque de l'obésité. Dans l'état de l'art, aucune étude, à notre connaissance, ne s'est intéressée à analyser les données anthropométriques chez les enfants HP, sauf les travaux de Vaivre-Douret et al. (2010, 2011a, 2019). Ces derniers ont montré que, même chez des enfants HP prématurés, voire avec des difficultés à l'école ou même avec un tableau clinique de dépression avérée, il existe une avance du développement moteur qui est marquée par une hypertrophie néonatale (Percentile 90) au niveau du poids, taille, et du périmètre crânien, autant chez les filles que les garçons. Un des éléments les plus récurrents dans la littérature pour expliquer ce résultat d'hypertrophie néonatale réside dans une explication hormonale, qui se joue dans la période prénatale. Plus précisément,

plusieurs études ont montré un lien significatif et positif entre l'exposition au « stress positif » prénatal et une meilleure croissance intra-utérine qui se dit « accélérée » (Field et al., 2010 ; Perkin et al., 1993). Cette association significative et positive a été également évoquée dans le cadre du développement moteur et cognitif (DiPietro et al., 2006). En effet, lorsque la femme enceinte est face à une situation stimulante (telle que les défis), son organisme libère des hormones glucocorticoïdes, appelés hormones du stress (cortisol) (Bussièrès, 2012). Lors du mécanisme de la programmation foetale, les glucocorticoïdes sont transférés de la mère au foetus via le placenta, ils jouent effectivement un rôle très important dans le développement normal des structures cérébrales et dans la maturation pulmonaire du foetus (Bussièrès, 2012). Ainsi, c'est l'exposition à des quantités excessives de glucocorticoïdes qui serait néfaste pour le développement (Griveau, 2012 ; Baud & Gressens, 2009). Nous émettons alors l'hypothèse d'une meilleure efficacité du mécanisme de programmation foetale, associée à des particularités biologiques développementales, chez les enfants HP.

Contrairement aux résultats significatifs des données du poids et de la taille à la naissance, aucune différence significative n'est notée entre les deux groupes concernant le périmètre crânien ($m_{non-HP} = 34.58\text{cm} \pm 0.6$ vs. $m_{HP} = 34.93\text{cm} \pm 0.7$). Le résultat concernant le périmètre crânien est divergeant avec le peu d'études s'intéressant à ce sujet. Par exemple, une des anciennes études américaines (Willerman et al., 1991) s'est intéressée aux corrélats morphométriques cérébraux de l'intelligence chez des sujets sans troubles et sans maladies en utilisant l'IRM. L'échantillon était composé de quarante sujets (20 HP et 20 non-HP), [HP : $QI > 130$ à la WAIS (Wechsler, 1981)], âgés de 18 ans en moyenne, qui ont été tirés d'un groupe plus large d'étudiants universitaires (parcours de psychologie). Les résultats de Willerman et al. (1991) ont montré une corrélation significative et positive entre la taille de la région corticale et le niveau de QI chez les enfants HP. Les auteurs ont fait des rapprochements avec des couches de myéline plus épaisses, qui devraient augmenter la taille du cerveau pouvant ainsi donner lieu à un meilleur traitement de l'information. En plus de l'IRM, d'autres études cliniques comme celle qui a porté sur trente-neuf échantillons provenant de vingt-quatre équipes de recherche travaillant sur huit décennies, a également montré (de façon contradictoire avec nos résultats) une corrélation positive et significative entre le périmètre crânien et l'intelligence (Wickett et al., 1994). De même, l'étude de Vaivre-Douret et al. (2010) a mis en évidence un

périmètre crânien significativement supérieur à la norme chez les enfants HP nés à terme ($m=35\pm 1.56$ cm) et prématurés ($m=34.5 \pm 0.8$ cm). Cependant, cette étude n'inclut pas un groupe témoin non-HP et l'échantillon porte sur des enfants issus de la fédération ANPEIP. Ceci souligne que le résultat retrouvé dans l'étude de Vaivre-Douret et al. (2010) concernerait peut-être que des enfants HP consultants puisque l'ANPEIP accueille des enfants demandant d'aide, souvent diagnostiqués avec des troubles.

À l'inverse, une étude plus récente de Bethlehem et al. (2022), apparue dans la revue scientifique « *Nature* », est cohérente avec nos résultats. En effet, Bethlehem et al., (2022) ont mis en place des normes développementales de la croissance cérébrale pour la première fois, de la même façon que les courbes de croissance dans le carnet de santé du poids et de la taille (Bethlehem et al., 2022). Les auteurs ont utilisé l'IRM auprès de 101 457 participants tout-venant, suivis entre 115 jours après la conception jusqu'à 100 ans. Les résultats ont identifié des jalons de développement neurologique non signalés auparavant, avec une grande stabilité des individus à travers les évaluations, mais aucune corrélation significative n'a été établie entre le périmètre crânien et le niveau de l'intelligence. En revanche, les auteurs ont souligné la pertinence de s'intéresser plutôt au volume subcortical et ventriculaire notamment dans les troubles neurodéveloppementaux et les troubles spécifiques des apprentissages (Bethlehem et al., 2022). Par ailleurs, il est montré que le périmètre crânien au-dessus de la norme relève plutôt du registre pathologique neurochirurgicales comme dans le cas d'hydrocéphalie ou de tumeurs cérébrales (Brahem et al., 2006 ; Zhang et al., 2022).

Au niveau des antécédents médicaux, aucune différence significative n'est relevée entre le groupe d'enfants HP et non-HP de notre échantillon, que ce soit pour l'asthme l'allergie, les otites, la myopie, la prise médicamenteuse, ou les maladies neurologiques (épilepsie, kyste, hydrocéphalie, tumeurs) ou pédopsychiatriques. De même, les deux groupes ne diffèrent pas significativement par rapport aux antécédents médicaux familiaux, ni par rapport aux antécédents de troubles d'apprentissages dans la famille. Ce résultat est en cohérence avec le peu d'études qui se sont intéressées à l'analyse de ces variables chez les enfants HP, telle que l'étude de Loureiro et al. (2010). Ces derniers se sont appuyés sur un échantillon de quarante-cinq enfants HP, âgés entre 7 à 11 ans, sans troubles neurologiques ni sensoriels avérés. Les auteurs ne retrouvent pas de lien significatif entre HP et myopie, allergie, l'asthme, troubles du sommeil, et migraines. À l'inverse, Wiley et Goldstein

(1991) et Louis et al. (2005) retrouvent des résultats contradictoires avec notre étude. En effet, Louis et al. (2005) ont montré une grande fréquence d'asthme chez les enfants HP âgés de 8-11 ans, mais que ne nous pouvons pas généraliser car l'étude s'appuie sur un échantillon d'enfants HP consultants. De plus, les critères d'inclusion de Louis et al. (2005) soulignent des biais méthodologiques pouvant générer des facteurs de confusions à l'interprétation. Benbow et Stanley (1983) ont également évoqué dans leur revue de littérature une fréquence élevée de myopie et de maladies immunitaires chez les enfants HP, en citant Geschwind et Behan (1982). Cependant, l'étude de Geschwind et Behan (1982) est en réalité une étude expérimentale qui n'est pas pour objectif de s'intéresser aux enfants HP, mais plutôt aux sujets gauchers (253 gauchers recrutés dans une boutique à Londres qui fournit des articles à l'usage des gauchers). Au regard de nos résultats et des biais méthodologiques de cette étude, nous ne pouvons pas confirmer une attribution systématique de ces caractéristiques au HP.

1.2. Les enfants HP sont-ils différents des enfants non-HP au niveau du sommeil et de la propreté ?

Dans notre étude, il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP concernant les troubles du sommeil, que ce soit des difficultés d'endormissement, d'agitation pendant le sommeil, des terreurs nocturnes ou des rituels d'endormissement. Ce résultat corrobore les postulats de Loureiro et al. (2010) et montre que lorsque l'on étudie un échantillon représentatif d'enfants HP, on constate que les troubles du sommeil ne constituent pas une caractéristique systématique chez ces enfants, n'en ayant pas plus que les enfants non-HP.

En revanche, il existe une différence significative entre les deux groupes au niveau de l'âge d'accès à la propreté nocturne, qui est significativement plus précoce chez les enfants HP (m=31 mois ; 85%), quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène), par rapport aux enfants non-HP (37 mois ; 39%). L'âge d'accès à la propreté diurne n'est pas significativement différent entre les deux groupes. Aucune étude à notre connaissance n'a étudié l'âge d'accès à la propreté chez les enfants HP.

En général, la propreté diurne est généralement acquise avant la propreté nocturne et s'échelonne vers l'âge de 36 mois chez les enfants tout-venant (Beaufils et al., 2015). Cela correspond à l'âge d'acquisition de la propreté dans notre groupe d'enfants tout-venant non-HP. La propreté, en plus d'être un pas vers l'autonomie, elle

serait liée à l'organisation du sommeil, mais également à la capacité d'apprentissage intellectuel et affectif de l'enfant selon Challamel et Franco (2005). Néanmoins, la propreté est avant tout une maturation physiologique de la motricité, liée au contrôle sphinctérien. Elle s'avère précoce chez les enfants HP tout-venant dans notre étude concernant la propreté nocturne. Rappelons que lors de la première année de vie, la miction réflexe est déclenchée par la pression intra-vésicale à partir d'un certain seuil (Moutard, 1992). Cela donne lieu à une contraction de la musculature lisse de la paroi vésicale, avec relâchement de la musculature striée du sphincter externe et du plancher périnéal. À partir de 12 mois, les connections avec les centres cérébraux supérieurs permettent de conscientiser la miction qui devient alors un acte conscient et volontaire (Moutard, 1992). Ainsi, l'enfant devient capable d'identifier ses perceptions internes et les verbaliser ou les signaler par des gestes. À 24 mois, la propreté diurne est acquise et à 36 mois l'enfant acquiert la propreté nocturne. À partir de 3 ans, le système régulateur de l'évacuation vésicale devient automatique (Moutard, 1992). Lors du sommeil, l'enfant devient alors capable de contracter volontairement le sphincter externe et les muscles du plancher périnéal. Ainsi, la maturation précoce de la sensori-motricité liée au contrôle sphinctérien (m=31 mois) peut être considérée comme un phénotype physiologique intrinsèque au HP, qui correspond à l'avance de la maturation neurologique de la motricité en général (acquisition de la station assise, la marche, etc.), ce que nous développerons de façon plus détaillée plus loin. Avant d'analyser tous les autres phénotypes intrinsèques au HP, nous nous sommes intéressés aux caractéristiques extrinsèques recueillies à l'aide des questionnaires d'anamnèse, telles que le niveau socio-démographique, professionnel et scolaire.

2. Caractéristiques socio-démographiques-professionnelles et scolaires des enfants HP tout-venant comparés aux enfants non-HP

2.1. Caractéristiques socio-démographiques-professionnelles des parents

Au niveau scolaire des parents, nos résultats ont montré un taux significativement plus élevé des parents qui ont atteint le niveau Master dans le groupe d'enfants HP comparé au groupe d'enfants non-HP, que ce soit pour les pères (respectivement 70% vs 40%) ou pour les mères (respectivement 58% vs

16.67%). Au niveau professionnel, il existe significativement plus de cadres et professions intellectuelles supérieures dans le groupe d'enfants HP, particulièrement pour les mères (58% ; père : 26%) que dans le groupe d'enfants non-HP (mère : 13% ; père 13%). Pourtant, nous avons recruté tous nos participants (HP et non-HP) de manière vaste dans différentes régions d'île de France. Au regard des données de l'Insee (2021), il existe également significativement plus de cadres et professions intellectuelles supérieures dans notre groupe d'enfants HP (mère 58% ; père 26%) par rapport à la population générale. Bien que tous les enfants de notre protocole (HP et non-HP) aient été recrutés dans les mêmes écoles (privées et publiques) de manière très vaste en île de France, le niveau scolaire et professionnel des parents s'avère significativement plus élevé dans la population d'enfants HP.

Ces résultats sont en congruences avec la littérature (Gottfried et al., 1994 ; Guérolé et al., 2013 ; Vaivre-Douret, 2019 ; Wiley & Goldstein, 1991). Les études de Vaivre-Douret et al. (2010) et Vaivre-Douret (2019) ont identifié un pourcentage qui se rapproche de celui déterminé dans notre étude, soit 63% de classe socio-professionnelle « cadres et professions intellectuelles supérieures » dans un échantillon d'enfants HP (n=725). Dans une des plus anciennes études longitudinales de Terman (1925), il a également été montré sur un échantillon de 1528 enfants HP ($QIT_M=150$; 671 filles et 857 garçons ; âge moyen 11 ans), recrutés dans les écoles de Californie, que l'environnement des enfants HP était marqué par un niveau socio-économique significativement plus élevé que dans la population générale.

Ici, une question s'impose ; le niveau socio-économique élevé est-il à l'origine du HP ? Nous discuterons plus loin les résultats statistiques concernant l'influence de l'environnement sur les indices de QI (indicateur de base pour identifier les enfants HP), mais l'indice de compréhension verbale s'avère généralement significativement prédit par le niveau scolaire (variance=21.6 ; $p<0.001$) et la profession de la mère (variance=14.11 ; $p<0.001$). Ce qui souligne l'importance d'être prudent au niveau clinique par rapport à la confusion entre enfant très stimulés socialement, qui se développe dans un environnement très riche, lui permettant de développer un stock lexical très riche et un niveau d'expression verbale très élevé, d'un enfant réellement HP quel que soit le niveau socio-économique et professionnel de son environnement. Dans ce sens, de façon cohérente avec notre étude, Quartier et al. (2019) ont mis en évidence le niveau socio-économique élevé dans la population des enfants HP, en précisant que le facteur « niveau socio-économique et formation des parents » est très

important à prendre en considération dans la démarche d'identification du HP. En effet, il nous paraît indispensable d'analyser les profils du QI au regard des facteurs environnementaux, en étoffant l'interprétation quantitative par une analyse clinique qualitative.

2.2. Existe-il une différence significative au niveau des caractéristiques scolaires et extra-scolaires des enfants HP comparés aux enfants non-HP ?

Au niveau des caractéristiques scolaires des enfants HP et non-HP, il existe une différence significative entre les deux groupes, avec un taux élevé de saut de classe en faveur des enfants HP avec un profil de QI homogène (56% vs 25% chez les enfants HP avec profil de QI hétérogène) comparés aux enfants non-HP (avec QI homogène : 3% ; hétérogène : 0%), sans effet du genre (pas de différence significative entre filles et garçons). Il n'existe pas de différence significative entre les filles et les garçons. Ce résultat est en cohérence avec la littérature bien que cette dernière ne nuance pas la différence entre profil de QI homogène et hétérogène (Grégoire, 2020 ; Lautrey, 2003 ; Stampfli & Collaros, 2010 ; Terrassier, 2005). De plus, le saut de classe paraît dans nos résultats comme un bon prédicteur d'un niveau de raisonnement fluide élevé (IRF élevé au WISC) tel qu'il est connu chez les enfants HP ($p=0.01$). Notre résultat fait écho à l'évolution des mesures d'aménagement scolaire pour les enfants HP dans l'Éducation nationale en France. En effet, le saut de classe consiste à suivre un parcours scolaire plus rapidement que ne le prévoient les *curriculums*, il n'est possible qu'après avoir obtenu l'aval de l'inspecteur suite à une commission (mise en œuvre de la loi d'orientation n° 2005-1014 de 2005). Il est souvent envisagé dans le but d'éviter le désintérêt et l'ennui face à un parcours scolaire qui peut, dans certains cas, ne pas correspondre au niveau du fonctionnement cognitif de l'enfant, pouvant ainsi créer un manque de stimulation et d'épanouissement, voire même un désinvestissement scolaire (Vrignaud, 2006). Par ailleurs, notre résultat témoigne d'une facilité pour la réussite scolaire des enfants HP, ce qui corrobore les propos de Gauvrit (2021) et l'étude rétrospective de Gauvrit et Guez (2018). Cette dernière souligne, à l'aide d'une base de données constituée de 26957 élèves HP français, une corrélation significative et positive entre le niveau de QI et la réussite aux examens scolaires. De même, l'étude de Guez et al. (2018) atteste aussi du lien significatif et

positif entre l'intelligence et la réussite scolaire chez les enfants HP, sans différence significative entre les garçons et les filles.

Toutefois, nos résultats apportent une nuance montrant que le saut de classe est en faveur des enfants HP avec un profil de QI homogène, ce qui est en cohérence avec les recommandations de certains auteurs, afin d'éviter les difficultés scolaires et « *la spirale de l'échec* » comme l'a précisé Vaivre-Douret (2002). En effet, un profil de QI très hétérogène peut masquer des troubles des apprentissages, des difficultés scolaires (Brody & Mills, 1997 ; Cuny et al., 2022 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020 ; Hamdioui et al., 2021 ; Vaivre-Douret, 2020), et/ou des difficultés psycho-socio-affectives (Boschi et al., 2016 ; De Lassalle et al., 2021 ; Guénolé et al., 2015 ; Loureiro et al., 2009 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020 ; Weismann-Arcache, 2006). En effet, bien que l'enfant soit HP, s'il saute de classe alors qu'il a des troubles des apprentissages ou des difficultés scolaires, il serait face à d'autres difficultés, ce qui ne lui permettrait pas un épanouissement scolaire et personnel. Dans ce sens certaines études ont aussi souligné l'association récurrente entre HP avec un profil de QI très hétérogène et troubles des apprentissages, voire psychologiques. Par exemple, l'étude de Vaivre-Douret et Hamdioui (2021), s'est basée sur un échantillon d'enfants HP (QI \geq 130 au WISC-IV ; n=438) recrutés dans l'association nationale ANPEIP, afin de mieux comprendre les facteurs protecteurs et les facteurs de vulnérabilité sous-jacents à la dépression chez la population d'enfants HP. Les auteurs ont montré que les troubles des apprentissages étaient significativement plus présents chez les enfants HP consultants et constituaient un facteur de risque important dans la dépression de ces enfants. De même, Vaivre-Douret (2019) a évoqué qu'un trouble non diagnostiqué, notamment dans le domaine des apprentissages, pénalise les résultats scolaires et/ou demande à l'enfant un investissement important en mettant en place instinctivement des stratégies de compensation, et que n'ayant pas des résultats à la hauteur des efforts fournis, l'enfant risque de montrer un manque de motivation et de perdre confiance en lui. En effet, l'étude de Vaivre-Douret (2019) s'est intéressée à la trajectoire développementale de l'enfant HP vers la dépression à des étapes différentes du développement, de l'âge scolaire en primaire au collège. Elle porte sur une cohorte nationale d'enfants HP d'âge scolaire (QI \geq 130 au WISC-IV ; n=725), recrutés dans des associations notamment l'association nationale pour les enfants intellectuellement précoces (ANPEIP). Les enfants HP sont souvent reçus

dans ces associations pour une souffrance à l'école avec un désinvestissement scolaire notable.

L'auteur précise que malgré le biais méthodologique de recrutement, cette étude permet tout de même de comprendre le tableau clinique de dépression chez ces enfants HP avec difficultés scolaires. Les parents ont rempli des questionnaires portant entre autres sur le développement psychomoteur, le comportement et les habiletés et les apprentissages. Les enfants quant à eux ont rempli l'auto-questionnaire MDI-C. Les données traitées concernaient 361 protocoles complets. Les résultats ont montré que la dépression touche 47 % (n=170) des enfants HP. Chez tous les enfants, l'auteur a relevé autant de dépressions faibles à modérées que de modérées à sévères, mais le taux augmente de 39 % en primaire et de 58 % au collège. Vaivre-Douret (2019) a relevé de façon significative des difficultés en lecture (23 % chez les enfants HP dépressifs scolarisés en primaire vs 6% chez les enfants HP non dépressifs), en expression écrite (respectivement 7% vs 2%) et en calcul (respectivement 7 % vs 2 %). Au collège, il apparaît selon l'auteur une augmentation des difficultés, mais sans différence significative entre les enfants HP montrant une symptomatologie de dépression et sans dépression (37 % vs 25 % pour l'expression écrite ; 17 % vs 14 % pour le calcul). L'auteur précise que le niveau de QI n'est pas significativement lié à la présence ou non d'une dépression, et ce même pour l'enfant HP né prématuré (nés avant 37 semaines d'aménorrhée ; 18.6%). L'analyse des sous-échelle de la MDI-C a montré que ce n'est pas que l'estime de soi ou que l'anxiété qui sont significatifs mais tous les symptômes s'associant ainsi significativement au score de dépression. De même, Tordjman et al. (2018) a montré qu'il existe 76.6% de troubles des apprentissages dans une population de 611 enfants HP consultant au CNAHP, et qu'environ 40 % de troubles anxieux sont en lien significatif avec un profil de QI hétérogène, avec un ICV élevé et un IRP faible au WISC-IV. C'est pourquoi, avant de prendre la décision du saut de classe, il est fortement conseillé d'investiguer le profil cognitif de l'enfant, au regard de son développement et de son fonctionnement psychologique. Cela se fait en réalisant des évaluations pluridisciplinaires et approfondies qui sont censées s'effectuer par des spécialistes notamment par un/une neuropsychologue, psychomotricien, pédopsychiatre, ergothérapeute, pédiatre (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020). D'ailleurs, nos résultats objectivent des fréquences de difficultés scolaires significativement plus importantes dans le cas de profil de QI hétérogène par rapport au profil homogène, particulièrement dans le domaine des

mathématiques et de l'écriture, que ce soit pour le groupe d'enfants HP (57%) ou non-HP (75%) sans aucune différence significative entre les deux groupes. Ce qui est en cohérence avec les résultats de Vaivre-Douret et al. (2020) qui ont souligné 20% de difficultés mathématiques chez des enfants HP avec TDC visuo-spatial/constructif, en lien avec un profil de QI très hétérogène et 90.91% chez des enfants HP avec TDC mixte. De même, Hamdioui et Vaivre-Douret (2020) ont aussi montré que chez des enfants HP avec TDC, il est retrouvé une comorbidité de dysgraphie en lien avec un profil de AQI très hétérogène. L'ensemble de ces éléments corrobore notre résultat de saut de classe qui s'avère plus adéquat pour les enfants HP avec un profil de QI homogène, ce qui a déjà été retrouvé dans l'étude de Tordjman et al. (2018) et Vaivre-Douret (2002).

Au niveau des activités extra-scolaires, nous avons identifié significativement plus d'activités sportives (26% judo, 12% gymnastique, 20% Karaté, 9% danse, 15% football, 3% basketball, 7% tennis, 8% natation), chez les enfants HP (90%) comparés aux enfants non-HP (56%). De même, pour les activités musicales (respectivement 68% vs 20%). Ce résultat est d'autant plus significatif chez les enfants HP avec un profil de QI hétérogène par rapport aux enfants HP avec un profil de QI homogène. Notre étude est globalement en concordance avec la littérature. Par exemple, l'étude descriptive américaine de Olszewski-Kubilius et Lee (2004) s'est intéressée à deux-cent-trente jeunes HP, tous recrutés lors d'un programme d'été des jeunes talents (*critères d'inclusion* : Percentile 95 au test de réussite scolaire : Standardized Achievement Test : SAT ; Percentile 95 aux épreuves américaines standardisées verbales, non-verbales et mathématiques), 49% de garçons et 51% de filles, scolarisés entre la 5^{ème} et la terminale. De façon congruente avec nos résultats, les auteurs ont montré que les jeunes HP étaient significativement plus impliqués dans les activités extra-scolaires que les élèves non-HP de l'établissement. Nous pouvons nous associer aux conclusions de ces auteurs qui ont confirmé un intérêt et un investissement dans les activités extra-scolaires significativement plus important chez les enfants HP, particulièrement pour la musique (arts) et le sport.

Nos résultats suggèrent alors que les enfants HP s'intéresseraient significativement plus à des activités artistiques et sportives, qu'ils investiraient significativement plus que les enfants non-HP. Des questions s'imposent ici, les enfants HP seraient plus prédisposés à s'orienter spontanément vers ces domaines en raison d'une certaine aisance par rapport aux enfants non-HP ? L'investissement

de ces domaines chez les enfants HP est-il influencé par l'environnement ? Est-ce que les deux facteurs intra-personnels et environnementaux font que les enfants HP investissent significativement plus la musique et le sport ? Pour répondre à ces questions d'interprétation, nous utilisons le modèle de Gagné (1985, 2008, 2009). Ce dernier s'inscrit dans une approche neuro-développementale définissant le Haut Potentiel comme un individu possédant les capacités de transformation progressive des dons en talents. Son modèle est constitué de trois composants : douance, talent, et processus développemental. Deux composants additionnels viennent compléter la structure de ce modèle : les catalyseurs intra-personnels (physiques, mentaux, connaissance du soi et des autres, volition, motivation, persévérance) et environnementaux. Il existerait ainsi des facteurs personnels et environnementaux modérant le passage du « don : intellectuel, créatif social, perceptuel, et physique » au « talent : académique, technique, scientifique, artistique, service social, opérations commerciales, jeux et sports ». Alors, le processus développemental des enfants HP leur aurait permis de transformer leur don notamment perceptuel et physique en des talents artistiques et sportifs, grâce à des facteurs à la fois intra-personnels et environnementaux. Cette hypothèse d'explication de nos résultats est cohérente avec la littérature scientifique (Gardner, 1983 ; Gagné, 2009 ; Heller & Perleth, 2008 ; Renzulli, 1978, 2002 ; Scherer & Zentner, 2001). En effet, le modèle de Renzulli (1978, 2002) permet aussi d'expliquer nos résultats liés au sport et à la musique. Rappelons que cet auteur a proposé le modèle « *Three Rings Model* » mettant en exergue les trois composantes déterminant le Haut Potentiel : 1) des aptitudes intellectuelles au-dessus de la moyenne ; 2) un engagement dans la tâche évoquant des traits de personnalité tels que la volition, la persévérance, et la motivation ; 3) la créativité (que nous n'avons pas étudiée dans cette thèse en raison de la complexité et la multitude d'évaluations effectuées dans notre phénotypage, comme nous l'avons précisé plus haut). D'un autre côté, le domaine de sport et de la musique en tant que tels demandent des capacités très développées au niveau intellectuel, notamment la mémoire (*Musical memory, Auditory skills*) selon Persson (2011), la *Multiple music-cognitive representation* selon Winner et Martino (2000), un niveau de motivation intrinsèque (Wankel & Kreisel, 1985), la créativité et la persévérance (Haroutounian, 2000). Alors, les enfants HP étant caractérisés par des capacités supérieures de persévérance, de volition et des traits de personnalité marqués par plus de motivation

(selon Renzulli, 2002), investiraient plus facilement le sport et la musique que les enfants non-HP.

Au niveau artistique, il est stipulé que chez un enfant HP, il existerait entre autres une « douance » qui s'exprimerait également dans le domaine musical. Le traitement de l'information musicale étant complexe et s'inscrit dans un processus actif et intentionnel, en créant et analysant un produit musical qui se communique dans l'art de la transmission comme le précise Person (2011). Pour Person (2011) ce processus demande des capacités de traitement et d'apprentissage de l'information musicale avec facilité et efficacité. Simonton (1999) qui ont proposé un modèle où la musique est au cœur du HP avec les hypothèses du développement suivantes : « *tout le monde a une capacité musicale sauf en cas de dysfonctionnement neurologique ; le don musical dépend de l'hérédité, mais le potentiel biologiquement déterminé doit être stimulé et autorisé à se développer dans un environnement approprié pour se manifester ; la nature de la stimulation et du développement diffère selon les domaines musicaux* » (Simonton, 1999 ; cité par Person, 2011). Par ailleurs, en congruence avec nos résultats, le modèle de Gardner (1983) défendant l'idée des intelligences multiples, inclut également l'intelligence musicale-rythmique qui serait significativement plus investie et développée chez les enfants HP.

Pour expliquer pourquoi les enfants HP de notre échantillon, particulièrement ceux avec un QI hétérogène, pratiquent plus d'activités extra-scolaires sportives et musicales, nous rappelons que généralement le profil de QI hétérogène est très souvent marqué par un ICV élevé (Tordjman et al., 2018 ; Vaivre-Douret et al., 2020). Cela est le cas également de nos résultats. Pour rappel, les enfants de notre échantillon ayant un profil de QI hétérogène présentent une distribution d'indices marquée par l'indice de compréhension verbale (ICV) comme l'indice le plus élevé et l'indice de vitesse de traitement (IVT) comme l'indice le plus faible, bien que celui-ci reste significativement plus élevé que l'IVT des enfants non-HP. Selon Subotnik et al. (2000), parmi les marqueurs du « don de la musique » chez les enfants HP, il existe des capacités intellectuelles très supérieures, particulièrement dans le domaine verbal et dans le domaine de la lecture. Cela pourrait expliquer pourquoi nous retrouvons significativement plus d'activités extra-scolaires musicales en faveur des enfants HP avec un profil hétérogène.

Au niveau sportif, une autre explication est possible : dans notre étude les enfants avec un QI hétérogène (HP et non-HP sans différence significative) montrent

significativement plus d'anxiété. Nous expliquerons plus loin avec plus de détails les résultats psycho-affectifs, mais il convient ici de souligner que ce résultat est d'abord en cohérence avec la littérature (Denis & Baghdadi, 2017 ; Guénoles et al., 2013 ; Guignard, 2020 ; Guignard & Zenasni, 2004 ; Tordjman et al., 2018 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020). Il pourrait en plus expliquer ce qui motiverait les enfants avec un profil de QI hétérogène à faire du sport de façon plus significative. En effet, de façon générale, il a été déjà évoqué dans la littérature que les sportifs peuvent présenter une anxiété élevée (Maugendre & Spitz, 2011), ce qui signifierait peut-être que les enfants HP ayant besoin d'évacuer des tensions internes, cherchent à extérioriser et faire baisser le niveau d'anxiété en pratiquant davantage des activités sportives et/ou musicales. Cela peut en plus souligner de meilleures capacités d'introspection et de compréhension de soi chez les enfants HP (en cohérence avec Mendaglio, 1995, Andreani & Pagnin, 1993), les amenant à percevoir leur niveau d'anxiété et à choisir spontanément d'y remédier par le sport et/ou la musique par exemple. Il est montré de nombreux bienfaits de la pratique de l'activité physique sur le plan physiologique et psychologique, particulièrement une réduction des états dépressifs et anxieux (comme décrits par De Matos et al., 2009). Une autre hypothèse peut éclairer ce résultat de choix sportif, peut être que l'enfant HP souvent décrit comme « maladroit » cherche à compenser ce stéréotype « moins bonnes performances motrices » par le sport afin d'être « plus à l'aise avec son corps ».

Pour éclaircir la question de maladresse ou de dyssynchronie cognitive/psychomotrice répandue chez les enfants HP et pour comprendre les résultats des aspects développementaux de la motricité au regard du QI, nous avons besoin d'éléments importants de l'analyse de ce dernier. Ce que nous présentons dans le chapitre suivant.

3. Qu'en est-il du profil psychométrique au WISC-V^{FR} des enfants HP tout-venant comparés aux enfants non-HP ?

3.1. Quelle est la distribution des indices du profil psychométrique au WISC-V^{FR} chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP ?

Nos résultats montrent une différence significative entre les enfants non-HP et HP tout-venant concernant tous les scores d'indices, en faveur de ces derniers.

Toutefois, l'indice de compréhension verbale (ICV) s'avère être le plus élevé dans les deux groupes, l'indice de vitesse de traitement (IVT) étant le plus faible tout en se situant dans la norme. Concernant les subtests, les enfants HP présentent des scores significativement plus élevés que notre groupe témoin non-HP avec « Similitudes », qui fait partie de l'ICV, comme le subtest le plus élevé dans les deux groupes, « Code », qui fait partie de l'IVT, étant le subtest le plus faible dans les deux groupes. Toutefois, ces deux subtests restent significativement plus élevés dans le groupe d'enfants HP comparé aux enfants non-HP. Dans le groupe d'enfants non-HP, tous les scores d'indices et de subtests se situent dans la moyenne (50%) par rapport à la courbe de Gauss (Wechsler, 2016). Les enfants HP (profil homogène/hétérogène), montrent des scores qui se situent entre la zone supérieure (seulement 6.7% de la population générale selon la courbe de Gauss) et la zone très supérieure (seulement 2.2% de la population générale selon la courbe de Gauss), sauf pour l'IVT qui se situe dans la moyenne forte. Ceci est valable pour les subtests.

Si nous analysons séparément les indices au regard du profil de QI (homogène/hétérogène), nous observons que l'ICV est l'indice le plus élevé dans le profil hétérogène que ce soit pour les enfants HP tout-venant ou non-HP tout-venant, sans différence significative. À l'inverse, l'IVT est l'indice le plus faible dans le profil hétérogène chez les enfants tout-venant HP et non-HP, sans différence significative. Dans le profil homogène, l'indice le plus élevé est l'indice de mémoire de travail (IMT), tandis que l'IVT est le plus faible que ce soit pour les enfants HP tout-venant ou non-HP tout-venant, sans différence significative.

Ainsi, les enfants HP tout-venant montrent des performances psychométriques au WISC-V^{FR} qui s'avèrent significativement meilleures par rapport à celles des enfants non-HP. Ce résultat est en cohérence avec la littérature notamment les études de Da Costa et Lubart (2016), Pereira-Fradin et al. (2010), Rowe et al. (2010), Sweetland et al. (2006), Wechsler (2016), qui confirment que les enfants HP réussissent significativement mieux tous les subtests de l'échelle du WISC bien que l'ICV soit plus élevé que les autres indices et que l'IVT soit plus faible. De même, de façon cohérente avec nos résultats, Liratni et Pry (2012) ont également montré dans leur étude que 77% des participants, issus d'un échantillon de soixante enfants HP, présentaient un ICV élevé par rapport aux autres indices. Les auteurs ont aussi précisé que cela concernait la totalité du groupe, dont 87 % des profils étaient hétérogènes (Liratni & Pry, 2012). De plus, Liratni et Pry (2012) ont aussi montré que le subtest

« Similitudes » était le plus réussi alors que « Code » était le moins réussi que ce soit pour les enfants HP ou non-HP, sans différence significative. Étant donné nos résultats et l'ensemble de ces études confirmant que les enfants HP montrent des performances significativement plus élevées à tous les subtests et indices du QI, alors le fait que l'IVT soit l'indice le moins réussi par tous les enfants, quel que soit leur groupe (HP ou non-HP), pourrait être lié à la composition de l'indice en tant que tel (outil de mesure dans la WISC-V) plutôt qu'aux caractéristiques des groupes d'enfants.

Ce résultat contraste cependant avec l'étude de Terrassier (2002) qui a été menée sur quatre-vingt garçons HP, recrutés en consultations psychologiques. En effet, les résultats de l'étude de Terrassier (2002) ont montré que le subtest « Code » était particulièrement échoué par les enfants HP et qu'une hétérogénéité importante des QI dans la population d'enfants HP était en grande partie liée au subtest « Code ». Ce dernier fait partie de l'IVT et contribue avec « Symboles et Barrage » au calcul du score de l'indice. Devant le constat que les enfants HP, les garçons en particulier, étaient peu efficaces à ce subtest par rapport aux autres subtests de la WISC, Terrassier (2002) a alors décidé d'attirer l'attention des cliniciens sur le subtest « Code » qu'il ne considérait pas en lien avec l'intelligence. Par conséquent, il a conseillé depuis la WISC-III de calculer deux QIT : l'un avec les subtests de l'IVT et l'autre sans IVT, supprimant ainsi code, symbole (subtests obligatoires) et barrage (subtest optionnel) (Terrassier, 1979, 2002). En effet, selon Terrassier (2018) le subtest « Code » ne contribue pas à l'intelligence et serait une « *épreuve graphique révélatrice de trouble attentionnel sévère* ». Selon Terrassier (2018), de par la dyssynchronie développementale spécifique aux enfants HP, particulièrement au niveau graphique et attentionnel, les enfants HP seraient systématiquement déficients au subtest « Code ». Or, Flanagan et Kaufman (2009), Groth-Marnat (2009), Sattler (2008) et Wechsler (2016) ont montré que le subtest « Code » fait appel principalement aux processus visuels et séquentiels et à l'intelligence fluide.

Par ailleurs, à l'aide des analyses de régression linéaire multiple nous avons essayé de déterminer les subtests les plus prédictifs à l'identification du HP. Les résultats ont mis en évidence les subtests significatifs suivants : « Similitudes », « Vocabulaire », « Balances », « Symboles », et « mémoire des chiffres », pouvant former une version abrégée du WISC-V^{FR}. Néanmoins, la qualité de ce modèle de mesure prédictive est faible à correcte ($r=0.31$) ce qui montre que ces subtests semblent être les plus prédictifs du HP, mais cette méthode reste peu fiable en raison

de son coefficient de régression à prendre en compte ($r=0.31$). Aubry et Bourdin (2018) ont également proposé une version abrégée du WISC-IV permettant de mieux identifier les enfants HP selon les auteurs. Ils ont montré qu'une version à deux subtests (similitudes + matrices) ($r=0.7$) et une version à quatre subtests (similitudes + vocabulaire + matrices + cubes) ($r=0.8$) sont les plus efficaces pour identifier les enfants HP au WISC-IV. Contrairement à nos résultats, la version d'Aubry et Bourdin (2018) au WISC-IV est plus fiable, permettant sans doute de gagner du temps pour le clinicien dans la démarche d'identification du HP. Cependant, au même titre que notre version abrégée du WISC-V, ces méthodes risquent d'ignorer d'autres fonctions cognitives qui mériteraient dans certains cas une interprétation clinique puisque ces subtests ne couvrent pas les mêmes processus cognitifs et neurologiques impliqués. Opter pour ces versions abrégées permettrait d'obtenir des mesures psychométriques pouvant aider à mettre en évidence un screening rapide du HP, mais laisserait certainement de côté plusieurs informations cliniques qui permettrait peut-être une interprétation sur les points forts et les points faibles du profil cognitif de l'enfant. D'ailleurs, nos résultats montrent qu'une meilleure compréhension du profil de QI repose sur l'analyse des profils (homogène/hétérogène) au regard des données anamnestiques et des autres tests complémentaires (neuropsychomotrices, neurovisuels, psycho-affectifs, etc.) (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2022). Nous allons alors analyser et interpréter ces résultats pour mieux affiner la compréhension du profil d'efficacité des enfants HP.

3.2. Le profil de QI hétérogène est-il spécifique aux enfants HP ?

Notre étude montre une distribution des scores d'indices pour les enfants non-HP qui est proche de la distribution de référence des enfants de la population française renseignée dans le manuel du WISC-V^{FR} (Wechsler, 2016), avec un peu moins de dispersion que prévu dans notre échantillon. Ceci peut être expliqué par nos critères d'inclusion qui sont plus stricts. En effet, d'un point de vue clinique, il est possible que certaines difficultés ou/et troubles pouvant interférer avec les indices de QI, soient plus contrôlés en les excluant lors du recrutement des participants. Ainsi, cela peut-être à l'origine des profils un peu plus homogènes que ce qui ne le sont dans la population générale de la WISC-V^{FR}, bien que cela ne soit pas significatif.

Au niveau de l'hétérogénéité du profil de QI, la distribution des scores d'indices dans notre groupe d'enfants HP montre des valeurs significativement plus élevées que

la distribution de référence (WISC-V), avec significativement plus de profils hétérogènes dans le groupe HP (64%) comparé au groupe des enfants non-HP (46%) et à la population générale du manuel WISC-V^{FR}. En revanche, la comparaison de l'écart médian, entre l'indice le plus élevé et l'indice le plus faible, montre que les enfants HP présentent des profils significativement plus hétérogènes, avec des écarts significativement plus importants (écart médian= 29.5 points ; dans la population générale au WISC^{FR} = 23) par rapport aux enfants non-HP (écart médian= 21.5). Au sein de chaque indice, les deux groupes d'enfants (HP et non-HP) présentent une homogénéité intra-scalaire sans différence significative.

Si nous analysons le QI comme étant un continuum dans notre étude, le QI s'avère significativement corrélé à l'hétérogénéité. Autrement dit, plus le QI est élevé plus l'hétérogénéité entre les indices est importante. Par ailleurs, des corrélations significatives sont mises en évidence entre les indices du QI et certaines caractéristiques du développement psychomoteur et langagier que nous analyserons plus loin. De plus, des liens significatifs sont déterminés entre certains indices de QI, particulièrement l'ICV et le développement psycho-affectif, pouvant apporter des éléments clés dans l'analyse des profils et l'orientation des hypothèses diagnostiques lorsqu'il est question de troubles neurodéveloppementaux. Au même titre que nos résultats, il est retrouvé significativement plus de profils hétérogènes dans le HP (Alsop, 2003 ; Grégoire, 2009 ; Liratni & Pry, 2007 ; Mueller et al., 1984 ; 2012). Cependant, au regard de nos résultats, cette hétérogénéité serait une caractéristique davantage liée à la valeur du QIT plutôt qu'au fait d'être HP ou non. En effet, un enfant ayant un QI de 115 présenterait un profil plus hétérogène que celui d'un enfant avec un QI de 80, qui serait lui-même moins hétérogène que le profil d'un enfant avec un QI de 135 par exemple.

Dans la littérature, la question d'homogénéité/hétérogénéité et son lien avec les difficultés/troubles est controversée. Certains auteurs (Alsop, 2003 ; Jambaqué, 2004 ; Liratni & Pry, 2007 ; Mueller et al., 1984 ; 2012 ; Pereira-Fradin, 2004), à l'inverse de nos interprétations, depuis la troisième version du WISC, considèrent un profil de QI hétérogène comme une caractéristique développementale typique propre au HP. Selon Gardner (1993), l'hétérogénéité reflète différents types d'intelligences. Terrassier (2005, 2018, 2020), psychologue clinicien, quant à lui, a continué d'affirmer depuis les années soixante-dix une dyssynchronie entre le profil psychomoteur/psycho-affectif et le profil intellectuel chez ces enfants (Terrassier,

1979). Cependant, il existe un biais méthodologique majeur concernant l'échantillon des enfants HP dans ses études. La majorité est recrutée lors des consultations cliniques avec la probabilité d'avoir des profils de QI principalement hétérogènes. En effet, il semble évident que ces enfants soient plus à risque d'être porteurs d'un trouble puisqu'ils sont consultants. De plus, la plupart d'entre eux consultent pour des problèmes à l'école, il n'est donc pas surprenant d'observer des subtests plus ou moins effondrés engendrant un profil hétérogène, comme cela peut être retrouvé chez un enfant de QI moyen non-HP présentant des troubles d'apprentissage. Il apparaît alors essentiel d'avoir un échantillon d'enfants HP tout-venant afin de mieux comprendre leurs trajectoires de développement et d'analyser les données au regard des indices du QI. De même, Labouret et Grégoire (2018) attestent qu'une différence de 23 points n'est atteinte que par 8 à 18 % de la population, selon les scores des indices. Lorsque tous les indices sont pris en compte, 52.8% de la population atteint la différence de 23 points. Ainsi, Labouret et Grégoire (2018) défendent l'idée que l'écart des scores d'indice dans la population française, sans trouble, est fréquent. Cependant, cette population n'a été testée qu'avec la WISC-V^{FR} sans aucune évaluation supplémentaire (neuropsychomoteur, neuropsychologique, neurovisuel, psycho-affectif, etc.) pouvant attester de l'absence ou de la présence de particularités ou de troubles associés.

En revanche, en congruence avec nos résultats, d'autres auteurs (dont les études sont détaillées dans la partie revue de littérature) ont montré un lien significatif entre une hétérogénéité trop importante et certaines caractéristiques du développement psychomoteur et langagier, pouvant expliquer certains troubles neurodéveloppementaux (Vaivre-Douret, 2004, 2019, 2021), tels que le trouble déficitaire avec ou sans hyperactivité (Tordjman et al., 2018), le trouble développemental de la coordination (TDC) (Vaivre-Douret et al., 2020), la dyslexie (Brody & Mills, 1997), la dysgraphie (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020), les difficultés socio-cognitives et psycho-affectives (Boschi et al., 2016 ; De Lassalle et al., 2021 ; Guénolé et al., 2015 ; Loureiro et al., 2009 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020 ; Weismann-Arcache, 2006), ou les troubles neuromoteurs (Vaivre-Douret, 2004, 2020 ; Holocher-Ertl & Seistock, 2019).

Le chapitre suivant explicite l'analyse de ces liens entre le développement moteur et langagier chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP, au regard des profils de QI (homogène/hétérogène).

4. Aspects développementaux de l'enfant HP

4.1. Existe-t-il un développement moteur et langagier spécifique de l'enfant HP ? (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2021 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2022)

Dans notre étude sur les enfants HP tout-venant (n=50) comparés aux enfants non-HP (n=30), des corrélations significatives-négatives ont été démontrées dans l'ensemble de l'échantillon entre le QI et l'âge de l'acquisition de la position assise sans appui (m=7 mois), de la marche autonome (m=12 mois) et de l'expression des premières phrases (m=18 mois). Dans le groupe d'enfants HP tout-venant, il existe un développement psychomoteur et langagier significativement plus précoce que le groupe d'enfants non-HP. Ce développement est également plus précoce par rapport à la norme (échelle française DF-MOT, Vaivre-Douret, 1999a ; échelle Brunet-Lézine, 2001). Plus précisément, cette précocité dans le groupe d'enfants HP (profil de QI homogène et hétérogène), concerne la station assise (m=6.5 mois ; E.T.=1.5), la marche autonome (m=12 mois ; E.T.=2.1), faire du vélo (m=54 mois ; E.T.=13.6), nager avec coordination des membres supérieurs/inférieurs (m=64 mois ; E.T.=20.3), habillage de façon autonome (m=48.7 mois ; E.T.=17.9) et l'âge de la dextérité (m=35 mois ; E.T.=14.8). En ce qui concerne le langage, nous avons déterminé une précocité significative dans le groupe d'enfants HP au niveau du babillage (m=4.5 mois ; E.T.=1.6), l'expression des premiers mots (m=10 mois ; E.T.=2.9), l'expression des premières phrases (m=17.3 mois ; E.T.=4.1). De plus, les enfants HP (profil de QI homogène et hétérogène) montrent des capacités de lecture à l'ODEDYS qui sont significativement meilleures que ce soit au niveau des mots irréguliers, mots réguliers et pseudo-mots. En ce qui concerne la pragmatique du langage, uniquement les enfants HP avec un profil de QI homogène montrent des scores significativement meilleurs aux items « initiation à la conversation » et « rapport conversationnel » à l'échelle de Bishop (1998).

Le développement moteur et langagier précoce chez les enfants HP démontré dans notre étude est un résultat congruent avec les rares études issues de la littérature (Gross, 1999 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2021 ; Kincaid, 1969 ; Stoeger et al., 2008 ; Vaivre-Douret, 2004, 2011 ; Winisdorffer & Vaivre-Douret, 2012). Celle-ci a aussi confirmé une avance développementale motrice chez les enfants HP avec une station

assise sans appui à l'âge moyen de 7 mois, la marche autonome vers l'âge moyen de 12 mois, et l'expression des premières phrases vers l'âge moyen de 18 mois. Ces trois stades du développement étant les plus grandes lignes étudiées. Cela peut être considéré comme un autre phénotype physiologique intrinsèque propre aux enfants HP, au même titre que l'acquisition précoce de la motricité du contrôle sphinctérien, reflétée par un accès précoce à la propreté (m=31 mois ; 85%), que nous avons démontrée plus haut. Une des plus anciennes études (Kincaid, 1969) sur un grand échantillon d'enfants HP tout-venant (n=561) a également montré un développement moteur précoce de la marche autonome par rapport aux enfants non-HP. Plus récemment, les résultats de Bildiren (2017) rejoignent aussi notre étude, car l'auteur a montré (à l'aide des questionnaires rétrospectifs) une avance de la marche et de la parole chez les enfants HP tout-venant (entre 0 et 2 ans), ainsi que des compétences précoces en lecture (entre 4 et 6 ans). Dans leur étude longitudinale (de plus de 18 ans) sur dix-neuf enfants HP tout-venant, Winisdorffer et Vaivre-Douret (2012) ont également souligné un développement précoce des capacités posturales, locomotrices, cognitives et linguistiques chez les enfants HP. Winisdorffer et Vaivre-Douret (2012) confirment entre autres la synchronicité entre développement intellectuel et psychomoteur à un âge précoce, ce qui est retrouvé par d'autres auteurs tels que Sweetland et al. (2006), Tolan (1994), Tucker et Lu Haferstein (1997). De plus, cette avance développementale peut aussi concerner les enfants HP nés prématurément comparés aux enfants HP nés à terme, tel qu'il a été montré dans l'étude française rétrospective Vaivre-Douret et al. (2010), qui a été effectuée sur une cohorte nationale de 725 enfants HP. Cela a été confirmé par une autre étude belge (Loureiro et al., 2010).

Paradoxalement, l'étude de Louis et al. (2005), contrairement à nos résultats, ne retrouve pas cette avance développementale chez les enfants HP. Toutefois, l'échantillon des enfants HP inclus dans l'étude de Louis et al. (2005) a été recruté dans des consultations psychologiques et pédopsychiatriques en libéral, ce qui biaise les résultats qui ne sont alors pas généralisables sur tous les enfants HP tout-venant non consultants. De même, Terrassier (1979, 2005, 2012, 2020) a depuis toujours attesté que les enfants HP ne sont pas en avance dans le domaine psychomoteur, se caractérisant ainsi par une dyssynchronie psychomotrice/intellectuelle/affective. Néanmoins, ses conclusions ont été tirées à partir de l'étude d'un échantillon d'enfants HP qui provient essentiellement de l'Association Nationale Pour Enfants

Intellectuellement Précoces (ANPEIP). Ceci biaise les résultats, étant donné que les enfants qui sollicitent cette association sont souvent demandeurs d'aide et consultants.

Nos résultats corroborent plutôt l'hypothèse d'une maturation cérébrale précoce chez les enfants HP tout-venant, attestée par une avance du développement psychomoteur et une avance de développement des habiletés motrices volontaires tel qu'il est confirmé par Vaivre-Douret (2004, 2011, 2010). En effet, Vaivre-Douret (2004) suggère l'hypothèse d'une maturation neurologique spécifique des enfants HP depuis la genèse intra-utérine qui continue après la naissance dans le domaine sensorimoteur et neuromoteur, engendrant une émergence précoce des capacités de coordination posturo-locomotrices et visuo-manuelles au même titre que les processus cognitifs très développés chez ces enfants. Toutefois, si l'hypothèse de caractéristiques physiologiques et neurobiologiques souligne une maturation cérébrale précoce permettant un développement neuropsychomoteur et intellectuel précoce, des facteurs environnementaux, un contexte stimulant à l'école et au sein de la famille, l'expérience individuelle et les ressources motivationnelles, ainsi que les facteurs éducatifs auraient une influence positive sur l'expression de cette avance développementale et inversement selon les études de Feinstein (2003), Loureiro et al. (2010, 2013), Schick et Phillipson (2009), Thomas (2018), Vaivre-Douret (2004). En effet, il a été évoqué que les scores plus élevés aux tests d'intelligence sont liés à une plus grande efficacité globale du réseau cérébral (Li et al., 2009). Il est également montré une spécificité de la maturation neurologique chez les enfants HP permettant un transfert d'informations cognitives et motrices plus efficace et plus rapide dans le cerveau grâce à une grande activité synaptique selon Geake (2008), Li et al., (2009), Navas-Sánchez et al. (2014), Thompson et Oehlert (2010). Ceci corrobore les hypothèses de Vaivre-Douret (2004, 2011) qui suggèrent l'existence d'une myéline plus épaisse chez les enfants HP, traduisant ainsi une meilleure conduction, une particularité au niveau des cellules gliales (astrocytes fournissant de l'énergie aux neurones à travers le glucose), des canaux ioniques et des axones avec des constructions protéiques différentes (Vaivre-Douret, 2004, 2011). Ce qui jouerait selon Vaivre-Douret (2004) un rôle primordial dans la conduction nerveuse, accélérant l'influx nerveux le long des fibres nerveuses nécessaires aux fonctions sensibles et motrices.

Une autre explication neuroanatomique à nos résultats se retrouve dans l'étude comparative espagnole de Navas-Sánchez et al. (2014). Cette dernière a porté sur un

échantillon de treize enfants HP, recrutés dans le cadre d'un programme national des enfants HP (WISC-R version espagnole ; $QI \geq 130$; QI verbal $M=125$; QI Performance $M=128$) et vingt-trois enfants non-HP recrutés à l'école ordinaire (WISC-R ; $QI \geq 105$; QI verbal $M=106$; QI Performance $M=99$). Tous les enfants étaient âgés entre 11 et 14 ans. Des enregistrements d'IRMf ont été effectués auprès de tous les enfants et analysés au regard des QI au sein des deux groupes. Les résultats ont montré que le QI était significativement et positivement corrélé avec une connectivité importante au niveau du corpus callosum. Ce qui confirme un transfert d'information efficace entre les hémisphères, avec une connectivité significativement plus élevée au niveau des voies de la substance blanche reliant les lobes frontaux aux ganglions de la base et aux régions pariétales, le forceps occipital et splenium (partie postérieure du corps calleux), l'aire prémotrice utilisée pour les activités motrices apprises ou automatiques, l'aire motrice supplémentaire qui coordonne différents mouvements, et la zone de Broca appelée également zone motrice de la parole. Ceci pourrait expliquer cette avance développementale à la fois au niveau moteur et verbal. Ces régions soutiennent particulièrement le contrôle de la motricité, le raisonnement fluide, la mémoire de travail visuo-spatiale, les capacités de planification visuo-spatio-constructives et la pensée divergente selon Navas-Sánchez et al. (2014). Ces différentes capacités motrices et cognitives sont significativement meilleures chez les enfants HP, ce qui est aussi retrouvé dans notre étude (nous détaillerons plus loin les capacités cognitives). Néanmoins, une limite importante est à souligner dans l'étude de Navas-Sánchez et al. (2014) au niveau du test psychométrique utilisé. En effet, pour une étude réalisée en 2014 il est étonnant qu'elle se soit basée sur la WISC-R alors que d'autres versions ont été en vigueur. De manière cohérente avec notre étude, des résultats similaires ont été retrouvés dans l'étude prospective française de Peyre et al. (2017) qui a été menée sur un échantillon de 1100 enfants, avec un âge moyen de 5-6 ans (1058 neurotypiques, 19 enfants avec déficience intellectuelle, et 23 enfants HP : $QI > 130$). Tous les enfants ont été évalués à l'aide de l'échelle de Wechsler (WPPSI-III) et le questionnaire de développement (Brunet & Lézine, 2001). Les enfants ont été recrutés dans une cohorte nationale de recherche dans un service d'examen obstétriques et de gynécologiques. Les résultats montrent que l'acquisition précoce de la motricité globale et fine à l'âge moyen de 8 et 12 mois, telle qu'elle est évaluée par le Brunet-Lézine, et prédisent significativement le niveau de QI élevé chez les enfants HP.

Au-delà des capacités motrices et de l'expression des premiers mots et premières phrases, la lecture des mots réguliers est significativement meilleure chez les enfants HP ayant un profil de QI homogène. Cela souligne de meilleures capacités d'intégration phonologiques et métaphonologiques, mais aussi une intégration précoce des procédures d'acquisition en lien avec de meilleures capacités neurovisuelles et oculomotrices, d'attention visuelle, et d'intégration visuo-spatiale (Valdois et al., 2011), qui sont aussi significativement meilleures et précoces chez les enfants HP de notre étude, et que nous discuterons plus loin. En effet, la lecture est une tâche complexe qui implique des compétences en matière de conscience phonologique, de mémoire phonologique à court terme (stockage temporaire des informations verbales) et d'entrée visuelle des informations (organisation du regard, mouvements et déplacements rapides, saccades oculaires et fixation) (Bradley & Bryant, 1978). La conscience phonologique et la mémoire à court terme ainsi que l'empan visuo-attentionnel (EVA), qui semblent être intégrés précocement chez les enfants HP de notre échantillon, seraient des prédicteurs fiables de l'apprentissage de la lecture et des facteurs déterminants pour pouvoir effectuer le traitement cognitif d'identification de la forme orthographique du mot (Bosse et al., 2007). Enfin, le profil du QI semble jouer un rôle très important dans l'analyse de ces résultats. Notre résultat significatif chez les enfants HP avec un profil de QI homogène pointe l'intérêt d'approfondir l'analyse des profils très hétérogènes. En effet, le profil de QI très hétérogène avec des difficultés de lecture et/ou neurovisuelles pourrait renseigner sur des éventuelles spécificités cliniques. Cette interprétation suit le même raisonnement que celui du profil très hétérogène associé à des difficultés de coordination, qui pourrait renseigner sur un éventuel TDC (Vaivre-Douret et al., 2020 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020), ou encore le cas des profils de QI très hétérogènes associés à des difficultés d'habiletés sociales (Vaivre-Douret & Planche, 2020). D'autres études descriptives ont montré, de façon congruente avec nos résultats, cette avance au niveau de l'acquisition du langage avec une progression rapide de la parole et un accès rapide à la lecture. L'étude descriptive de Peyre et al. (2017), basée sur l'échelle de Wechsler (WPPSI-III) et le questionnaire de développement (Brunet & Lézine), auprès de 1100 enfants, avec un âge moyen de 5-6 ans, recrutés dans le grand public (1058 neurotypiques, 19 enfants avec déficience intellectuelle, et 23 enfants HP), a également montré que les compétences linguistiques précoces prédisent plus fortement le QI que les autres domaines cognitifs et ce pour tous les groupes. Les

auteurs concluent que le développement précoce des capacités langagières s'avère meilleur prédicteur du QI chez les enfants HP dès l'âge de 12 mois (Peyre et al., 2017). L'analyse de cette étude nous a permis de constater que le domaine moteur s'avère également être un indicateur significatif pour prédire le QI chez les enfants HP, étant caractérisé par un développement précoce de deux mois d'avance en moyenne. Vaivre-Douret (2004) a également apporté dans son étude longitudinale rétrospective, sur soixante enfants HP tout-venant (WISC-III) (Wechsler, 1991), une avance développementale (2 mois environ) au niveau du langage chez ces enfants en les comparant aux normes du Brunet-Lézine (Brunet & Lézine, 2001).

Par ailleurs, nos résultats significatifs concernant la pragmatique du langage, particulièrement l'initiation à la conversation et le rapport conversationnel en faveur des enfants HP avec un profil de QI homogène, montrent que les enfants HP avec un profil de QI homogène disposent de meilleures capacités de communication. De manière cohérente avec notre étude, Hollingworth (1942) et Peyre et al. (2017) (détaillée ci-dessus) ont montré que le domaine du langage, notamment l'expression des premières phrases et la socialisation, prédisait significativement le niveau de QI élevé au même titre que la motricité (station assise et marche autonome). Au niveau neurologique, cela implique une implication davantage de l'hémisphère gauche avec une connectivité plus importante au niveau des voies reliant le lobe frontal au cervelet en passant par le pariétal comme l'a évoqué Nusbaum et al. (2017). En effet, les études d'imagerie ont montré des régions de diffusivité qui sont significativement plus élevées et significativement plus distribuées au niveau central bilatéral, particulièrement dans l'hémisphère gauche. Cela souligne les meilleures capacités de langage souvent reflétées par un ICV significativement plus élevé que les autres indices d'ailleurs. De plus, cette organisation bilatérale et hémisphérique des enfants HP tout-venant, particulièrement les enfants HP avec un profil de QI homogène, corrobore aussi leurs plus grandes capacités d'adaptation et d'apprentissage ainsi que leurs capacités de raisonnement fluide, reflétées par les autres indices de QI et particulièrement l'IRP et l'IMT, qui peuvent aussi s'exprimer dans un contexte conversationnel. Ce résultat souligne en plus la nécessité d'être prudent quant aux biais de recrutement et nous invite à prendre en compte davantage les sous-groupes et l'hétérogénéité.

Les meilleures capacités de la pragmatique de langage peuvent aussi s'inscrire dans certains modèles de l'intelligence. Particulièrement, Sternberg et al.

(2003) et Gardner (1993) qui soutiennent l'idée des intelligences multiples dont l'intelligence interpersonnelle ou sociale. La pragmatique du langage consiste en effet en la capacité à comprendre les autres dans un contexte de communication, comprendre les intentions d'autrui et la capacité à agir efficacement sur les intentions d'autrui dans un rapport conversationnel cohérent afin d'obtenir son adhésion. Dans son modèle multidimensionnel de l'intelligence, Sternberg et al. (2003) traduit cette forme d'intelligence par de bonnes capacités à identifier son environnement et à déterminer ce que l'on attend de lui (intelligence externe). Ceci pourrait correspondre au 6^{ème} sens définissant le côté intuitif chez les enfants HP, ce qui a été évoqué cliniquement par Vaivre-Douret (2004). Sternberg et al. (2003) mettent en exergue deux autres facettes de l'intelligence : analytique et créative. L'intelligence analytique correspond à l'aspect interne de l'intelligence (mobilisation des différentes composantes du traitement de l'information). L'intelligence créative, quant à elle, correspond à l'aspect expérientiel. Les connaissances et le traitement de la nouveauté sont en interaction afin de trouver une idée dite originale pour résoudre un problème. Sternberg et al. (2003) précise que l'intelligence, quelle que soit la facette, s'exprime dans un contexte particulier demandant des capacités d'adaptation (intelligence sociale avec sa facette externe). C'est ainsi que le modèle théorique de Sternberg et al. (2003) met en évidence l'importance de considérer les compétences sociales en commençant par les capacités de communication et de pragmatique de langage comme partie intégrante de l'intelligence supérieure comme dans le cas du HP. Ce qui est en cohérence avec nos résultats. Contrairement au modèle de Renzulli (2006) qui n'intègre pas particulièrement l'intelligence sociale, le modèle de Gagné (1985) souligne l'intelligence sociale caractérisée par des meilleures capacités d'adaptation et de communication chez les individus HP. Ainsi, la dyssynchronie du développement que Terrassier (1981, 2005, 2020) a considéré comme fait développemental définissant tous les enfants HP ne serait pas systématiquement présente chez tous les enfants HP tout-venant. Dans ce contexte et de manière discordante avec notre étude, Liratni et Pry (2011) ont montré à l'aide de la Vineland (interrogeant entre autres le domaine de la communication) que la dyssynchronie intellectuelle/sociale est présente chez tous les enfants HP (12 consultants dans des séances psychologiques vs 23 non-consultants recrutés dans des classes spécialisés). Cependant, le groupe d'enfants HP non consultants a été recruté dans des classes spéciales avec des aides et/ou des parcours adaptés. Les résultats de Liratni et Pry (2011), qui ne sont pas

concordants avec notre étude, ne peuvent donc pas être systématiquement généralisés. Toutefois, les auteurs expliquent que la dyssynchronie de Terrassier ne peut pas, à elle seule, expliquer les difficultés d'ajustements sociaux rencontrés par certains de ces enfants. Ils soulignent alors l'importance des investigations pluridisciplinaires pour mieux comprendre le fonctionnement des enfants HP. Le travail de cette thèse s'inscrit complètement dans les investigations pluridisciplinaires recommandées dans la littérature.

Au niveau du langage écrit en termes de graphomotricité, les enfants HP de notre étude montrent des scores qui sont significativement meilleurs au test du BHK, soulignant une meilleure qualité d'écriture. Il existe également une différence significative entre les profils de QI en faveur des enfants HP ayant un QI homogène. En revanche, la vitesse d'écriture ne diffère pas significativement entre les enfants HP et non-HP, quel que soit le profil de QI. Néanmoins, la vitesse d'écriture s'avère parmi les prédicteurs significatifs de certains indices du QI, particulièrement l'IRF ($p=0.008$), l'IVS ($p=0.001$) et l'IVT ($p=0.001$). Ceci souligne l'importance de l'interprétation des indices du QI en prenant en compte les tests complémentaires tels que le test d'écriture. De plus, cela nous amène à déduire qu'un éventuel trouble de l'écriture pourrait participer à affaiblir certains indices du QI et donc le QIT. Ce qui réconforte notre positionnement par rapport au risque de passer à côté de certains enfants HP si nous nous basons uniquement sur la définition du $QI \geq 130$. Les scores de qualité d'écriture au BHK, significativement meilleurs chez les enfants HP tout-venant, montrent que ces derniers disposent de meilleures capacités d'écriture. Rappelons que l'écriture manuscrite est un processus de développement complexe nécessitant des capacités perceptives, motrices, cognitives et émotionnelles (Cornhill & Case-Smith, 1996 ; Costa et al., 2016). Ce processus semble être plus efficace chez les enfants HP tout-venant selon nos résultats qui sont cohérents avec l'étude rétrospective de Vaivre-Douret (2004). Cette dernière a porté une attention particulière sur la graphomotricité en identifiant des prérequis à travers des simulacres (écriture) qui ont été observés de façon très précoce chez les enfants HP (autour de 34 mois), alors que ces enfants ne connaissaient pas les lettres et n'ont pas eu un apprentissage de l'écrit (Vaivre-Douret, 2004). Cette précocité d'initiation au geste graphomoteur peut expliquer la meilleure qualité d'écriture montrée chez les enfants HP de notre échantillon tout-venant. Toutefois, cela n'épargne pas la possibilité de trouble d'écriture chez les enfants HP (Hamdioui et Vaivre-Douret, 2020). Enfin, le profil de QI

semble jouer un rôle important dans le profil d'écriture au même titre que les autres registres développementaux.

À l'inverse de notre étude, la recherche française de Bessou et al. (2005) sur 245 enfants HP, recrutés dans la consultation de trois psychologues libérales et du service de psychopathologie infanto-juvénile de Lyon, a conclu sur un profil cognitif spécifique aux enfants HP. Celui-ci serait caractérisé par une aisance verbale et des difficultés graphomotrices. Les auteurs ont tiré cette conclusion à partir des scores supérieurs principalement aux subtests similitudes et compréhension (ICV au WISC), mais des scores significativement plus faibles au subtest Code (IVT). Cependant, des limites méthodologiques sont à noter dans l'étude de Bessou et al. (2005) qui généralisent les résultats d'enfants HP consultants sur un plus large panel d'enfants HP tout-venant. Au niveau neurodéveloppemental, nous citons les travaux expérimentaux de Lopez et al. (2016) qui se sont intéressés à l'étude du développement du contrôle du geste, particulièrement dans le geste d'écriture manuscrite chez les enfants (n=262 enfants âgés de 4 à 11 ans, sans troubles d'apprentissage avéré, scolarisé du CP au CM2). Deux types de données ont été collectés lors d'un examen graphomoteur (copie de boucles cycloïdes) : les données cinétiques avec un stylo numérique permettant d'enregistrer le tracé (vitesse, régularité, etc.) et des données posturo-gestuelles à l'aide d'une observation directe des variables préétablies par les auteurs. Il s'agit du même matériel que nous avons utilisé dans cette thèse pour la partie écriture, mais nous rappelons que les données n'ont pas été traitées et feront l'objet d'autres études. Lopez et al. (2016) ont montré une maturation posturale, gestuelle et cinétique de l'organisation développementale du geste graphomoteur qui serait dépendante de la maturation du système nerveux, mais également de l'apprentissage scolaire avec une évolution caractérisée en CE2 (Lopez et al., 2016). L'étude de Vaivre-Douret, Lopez, et al. (2021) a permis, sur la base de l'étude de Lopez et al. (2016), de valider les premières normes développementales des caractéristiques posturales et mettre en évidence les mécanismes de la programmation motrice nécessaire à l'automatisation du geste de l'écriture (Vaivre-Douret, Lopez, et al., 2021). Les auteurs précisent que la maturation du geste particulièrement graphomoteur, nécessite l'intégration des programmes moteurs impliqués dans le contrôle rétroactif à un contrôle proactif de l'écriture manuscrite. Selon les auteurs, c'est vers l'âge de 8-9 ans que l'enfant commence à accéder aux programmes moteurs (Vaivre-Douret, Lopez, et al., 2021). Leur contrôle

et leur exécution dépendraient du système rétroactif sensoriel et de la représentation interne du mouvement (Meulenbroek & Van Galen, 1988 ; cité par Vaivre-Douret, Lopez, et al. (2021). La revue de recherche de Jover et al. (2005) a précisé que la construction des représentations mentales liées à une activation corticale joue un rôle fondamental dans le développement de l'anticipation posturale lors de la réalisation des mouvements. Sur l'ensemble de ces études, nous suggérons un développement précoce des mécanismes de la programmation motrice nécessaire à l'automatisation du geste de l'écriture chez les enfants HP.

En plus des stades de jalons moteurs, nous avons aussi analysé les capacités de la coordination motrices des enfants HP comparés aux enfants non-HP lors des activités de la vie quotidienne, au regard du profil de QI (homogène/hétérogène), afin de mieux comprendre le profil moteur des enfants HP tout-venant.

4.2. Qu'en est-il de la motricité dans la vie quotidienne (AVQ) au regard du profil de QI (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2021 ; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2022)

Nous avons analysé, de façon approfondie, les habiletés motrices dans les AVQ chez les enfants HP de notre échantillon. Les résultats montrent que les difficultés pour « boutonner ses vêtements », « difficultés à mettre ses vêtements à l'endroit », « difficultés pour lacer ses chaussures » et « difficultés pour utiliser correctement un couteau » dépendent du profil psychométrique avec un taux élevé de difficultés chez les enfants HP ayant un profil hétérogène (respectivement 27 % contre 4 % dans le profil homogène ; 32 % contre 4 % ; 41 % contre 7 % ; 64 % contre 11 %). Ces difficultés liées aux habiletés motrices de la vie quotidienne sont significativement et positivement corrélées avec « la maladresse ». De plus, en ce qui concerne les jeux, les loisirs, et les activités scolaires, il existe également une relation significative entre le profil hétérogène et les difficultés à « jouer à des puzzles » (23 % vs 7 % dans un profil homogène), à « jouer à des jeux de construction », (23 % vs 7 %) « difficultés d'autonomie » (23 % vs 4 %), « difficultés d'attention » (36 % vs 18 %), et « difficultés d'adaptation aux jeux collectifs » (23 % vs 7 %).

Par ailleurs, des corrélations significatives ont été déterminées entre certains indices du profil de QI (indice visuospatial « IVS », indice de mémoire de travail

« IMT », indice de vitesse de traitement « IVT ») et la maladresse dans les activités de la vie quotidienne, les jeux et les activités scolaires, expliquant 41 % de la variance du profil hétérogène des enfants HP et des enfants non-HP sans aucune différence significative. Notre étude est la seule dans la littérature, à notre connaissance, analysant des données rétrospective du développement de l'enfant HP comparées à l'enfant non-HP et au regard du profil psychométrique (homogène/hétérogène). Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, il existe une avance développementale propre aux enfants HP et ne dépend pas du profil du QI. Cependant, il existe une différence significative entre les profils psychométriques homogènes et hétérogènes concernant certains stades : âge de l'habillage autonome (3 ans) et du babillage (4 mois) impliquant le développement précoce des compétences bucco-praxiques en faveur d'un profil homogène. A contrario, il existe une fréquence élevée de développement précoce du langage (premières phrases autour de 18 mois) chez les HP et d'autant plus dans le profil hétérogène, soulignant de meilleures compétences linguistiques. Ainsi, la distribution des indices semble cohérente avec ce résultat, car l'ICV est plus élevé dans le profil hétérogène, tandis que l'IVS, l'IRF, l'IMT et l'IVT sont plus élevés dans le profil homogène. Dans la littérature, Liratni et Pry (2011) soulignent dans leur étude que 77 % des participants issus d'un échantillon de 60 enfants HP présentent également un ICV élevé par rapport aux autres indices. Mais ils précisent que cela concernait la totalité du groupe dont 87 % des profils étaient hétérogènes. Néanmoins, son échantillon a été recruté sur la base d'une évaluation antérieure au WISC-III, sans préciser si c'était dans un cadre de consultation pour suspicion de trouble ou tout-venant, ce qui nous questionne sur un éventuel biais de représentativité. Par conséquent, ses résultats seraient plutôt le reflet d'un profil uniquement hétérogène épargnant l'enfant HP avec un profil homogène.

Dans la littérature, de façon cohérente avec nos résultats, les études de Vaivre-Douret et al. (2011c, 2016, 2021b) Vaivre-Douret et Lalanne (2019), Vaivre-Douret, Mazeau, et al. (2021) a montré que le TDC est souvent associée à une déficience visuospatiale et à des déficits de mémoire de travail à court terme, soulignant une influence sur l'indice IMT. Vaivre-Douret et al. (2020) et Robert et al. (2014) ont également précisé que le sous-type TDC visuospatial/constructif est caractérisé par des altérations spécifiques dans l'intégration visuo-motrice, associés aux troubles de la poursuite lisse oculaire pouvant être liés à l'IVS et l'IVT, ces dernières souvent plus

faibles dans le profil hétérogène chez ces enfants, soulignant des indices affectés par le TDC. En ce qui concerne l'IVT, l'étude de Sumner et al. (2016) a montré que les enfants atteints de TDC ont un profil cognitif hétérogène avec des difficultés avec cet indice, un élément clé dans les tâches motrices. Une autre étude (Piek et al., 2007) a confirmé que les enfants atteints de TDC étaient significativement plus lents sur toutes les tâches, ce qui confirme un déficit de synchronisation temporel chez ces enfants. D'autres études récentes comme celle de Vaivre-Douret (2020) ont démontré, à partir de l'analyse d'un profil de QI d'une étude de cas associé à d'autres évaluations multidimensionnelles (neuropsychomotrices, cognitives et neurovisuelles), qu'un profil psychométrique très hétérogène avec un score significativement élevé à l'ICV pourrait masquer des troubles neurodéveloppementaux (TDC, signes neurologiques mineurs, troubles dans le domaine visuospatial, etc.) n'épargnant pas l'enfant HP. Par ailleurs, il reste 59 % de la variance, que nous analyserons plus en détails dans un prochain article, et qui pourrait mettre en avant une suspicion précoce d'autres troubles neurodéveloppementaux tels que le TDAH (Brody & Mills, 1997 ; Loureiro et al., 2009 ; Tordjman et al., 2018), la dysgraphie (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020) ou le TSA (Vaivre-Douret & Planche, 2020 ; Boschi et al., 2016) chez les enfants HP avec un profil de QI très hétérogène. En ce qui concerne le domaine socio-émotionnel, certains travaux ont mis en évidence qu'un profil de QI très hétérogène, avec des indices significativement plus faibles concernant l'IVS et l'IVT chez les enfants HP, pourrait masquer des difficultés et/ou des troubles sociocognitifs, voire psychologiques (De Lassalle et al., 2021 ; Guérolé et al., 2015 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020). Kostogianni et Andronikof (2014) montrent, dans leur étude sur un échantillon représentatif d'enfants HP, une faible estime de soi, une absence de traits narcissiques et avoir une tendance à éviter les activités de groupe, voire être négligé ou rejeté par les autres pairs. Néanmoins, les auteurs ne se sont pas intéressés à étudier ces traits psychologiques en fonction du profil du QI. Aucune relation significative directe n'a été montrée dans la présente étude entre le HP et la tendance à l'isolement ou les problèmes sociaux avec les pairs, ce qui est congruent avec l'étude de Pilarinos et Solomon (2017).

L'ensemble de nos résultats concernant les habiletés motrices dans les AVQ mettent en exergue les difficultés dans l'acquisition de la motricité coordonnée dans un profil de QI très hétérogène, faisant écho aux critères du diagnostic de trouble développemental de la coordination (TDC) dans le DSM-5 (APA, 2013), critère A

soulignant « *l'acquisition et l'exécution de compétences motrices coordonnées sont nettement inférieures à ce qui est attendu pour l'âge chronologique de l'individu et de la possibilité d'apprentissage et d'utilisation des compétences. Les difficultés se manifestent par des maladresses (exemple : tomber ou heurter des objets) ainsi que par la lenteur et l'imprécision des performances motrices (exemple : attraper un objet, utiliser des ciseaux ou des couverts, écrire, faire du vélo ou faire du sport)* ». Ainsi, les difficultés constatées ont un impact significatif et constant sur les activités de la vie quotidienne : les jeux, les loisirs, et les activités scolaires. Ce qui correspond au critère B du DSM-5. De plus, l'apparition de ces difficultés s'avère être dans la période de développement précoce répondant au critère C du DSM-5 (APA, 2013), et cela n'est pas mieux expliqué par une déficience intellectuelle ou une déficience visuelle, et ces difficultés ne sont pas attribuables à une affection neurologique touchant le mouvement (critère D du DSM-5). Par conséquent, au regard des critères du DSM-5, nous constatons que les enfants HP avec un profil du QI hétérogène et ayant des difficultés motrices liées aux activités de la vie quotidienne, répondent à tous les critères de diagnostic du TDC. Nous aurions pu négliger ces difficultés en ne considérant que le QI verbal élevé comme un indice typique du HP, souvent relevé dans la littérature (Pereira-Fradin, 2004 ; Muller et al., 1984).

Pour résumer, notre étude sur un échantillon représentatif d'enfants HP met en exergue un développement moteur et langagier précoce (avec 2 mois d'avance en moyenne), quels que soient leurs profils de QI. Cependant, des difficultés d'habiletés de coordination motrice dans la vie quotidienne chez les enfants HP ou non-HP peuvent être relevées dans un profil du QI très hétérogène, suggérant un tableau clinique de TDC selon les critères du DSM-5 (APA, 2013). Nos résultats soulignent l'intérêt pour tout professionnel de santé ; psychologues, neuropsychologues, ergothérapeutes, psychomotriciens, et tout médecin prescripteur (pédiatre, neuropédiatre, pédopsychiatre), de mieux prendre en compte les AVQ dans la petite enfance comme repère d'un éventuel diagnostic du TDC (Vaivre-Douret et al., 2020). L'analyse du profil psychométrique à l'âge scolaire, a montré que l'ICV est plus élevé dans le cas de profils hétérogènes, tandis que dans les profils homogènes, ce sont l'IVS, l'IRF, l'IMT et l'IVT qui sont les plus élevés. Nous avons également montré qu'une partie importante de l'hétérogénéité et en cohérence avec cette distribution de scores d'indices, pouvant s'expliquer par une suspicion de TDC. Celui-ci peut avoir un impact sur les activités de la vie quotidienne dont les jeux, les loisirs, et les

performances académiques. Par conséquent, il apparaît un intérêt certain pour tout clinicien à ne pas considérer que le QIT, peut-être affaibli (entre 120 et 129), mais plutôt s'intéresser aux indices complémentaires, notamment l'indice d'aptitude générale (IAG). Pour rappel, cet indice additionne les cinq subtests suivants : *Cubes* + *Similitudes* + *Matrices* + *Vocabulaire* + *Balances*, excluant ainsi *Mémoire des chiffres* et *Codes* par rapport au QIT (Wechsler, 2016). De plus, l'indice de compétences cognitives (ICC) est également très important à prendre en compte dans l'analyse clinique du profil de QI notamment en cas de troubles sous-jacents, pouvant être compensés et donc masqués par des stratégies compensatoires propres aux enfants HP, comme l'évocation langagière (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020 ; Vaivre-Douret et al., 2020).

Il est également primordial d'analyser plus finement le profil psychométrique, les indices et les subtests du QI au regard de l'anamnèse, plutôt que se contenter de considérer que certains subtests tels que « Matrices » souvent considéré par les psychologues comme le critère de l'intelligence supérieure. En effet, Mazeau et Glasel (2003) évoquent qu'un score faible à ce subtest peut résulter de différentes causes, notamment des fragilités ou troubles d'attention, de fonctions exécutives, de fonctions visuospatiales/constructives, oculomotrices, neurovisuelles, ou encore par une anxiété. Ainsi, et surtout face un score supérieur au subtest « Similitudes » (le subtest le plus prédictif du HP comme nous l'avons montré plus haut), il est fortement recommandé de considérer l'ensemble des éléments indiqués ci-dessus pour éviter un diagnostic erroné. Devant le constat que la plupart des études sont très divergentes quant aux domaines d'évaluations complémentaires au QI, il serait intéressant d'approfondir la compréhension du profil d'un QI du Haut Potentiel avec des analyses multidimensionnelles (fonctions neuropsychologiques, neuropsychomotrices, neurovisuelles, oculomotrices, psychoaffectives et socio-cognitives). Comme complément au profil psychométrique du WISC-V chez les enfants (que ce soit HP ou non), il nous paraît important, d'une part, d'associer systématiquement les éléments d'anamnèse et l'évaluation de ces fonctions afin de mieux appréhender le fonctionnement de l'enfant. D'autre part, il apparaît aussi important de ne pas passer à côté d'une fragilité impactant la vie quotidienne de l'enfant, et de ne pas ignorer un trouble invisible comme le TDC. Ce dernier peut être d'autant plus compensé par un effet de langage élaboré comme dans la plupart des cas d'enfants HP. Ainsi, nous avons étayé notre étude principale par une autre étude basée sur un échantillon

d'enfants TDC ($n_{HP}=19$; $n_{non-HP}=19$) afin de mieux comprendre le profil moteur des enfants HP tout-venant comparés aux enfants HP avec TDC en lien avec des groupes témoins (d'enfants non-HP tout-venant et enfants non-HP avec TDC), mais aussi pour mieux comprendre la place de la dyssynchronie cognitive/psychomotrice (décrite par Terrassier) dans le développement des enfants HP.

5. Qu'en est-il de la maladresse chez les enfants HP (Trouble Développementale de la Coordination) (Hamdioui et Vaivre-Douret, 2020, 2021, 2022 ; Vaivre-Douret, Hamdioui, & Cannafarina, 2020).

Nous avons choisi des groupes cliniques d'enfants avec TDC (HP et non-HP), car nous avons à disposition des données antérieures, ce qui nous a permis de gagner du temps pour le traitement des données et les confronter à notre groupe d'échantillon tout-venant ($n=80$) que nous avons recruté. Les résultats de notre étude principale sur le phénotypage du HP sur les enfants tout-venant sont en parfaite cohérence avec les résultats de notre deuxième étude sur les enfants HP et non-HP ayant reçu un diagnostic de TDC. Notre étude sur les enfants avec TDC a montré des caractéristiques cliniques similaires de TDC dans les deux groupes d'enfants HP et non-HP, avec un profil de QI principalement hétérogène (ICV comme l'indice le plus élevé). Cela apparaît cohérent avec les propos de Habib (2016), Habib et Camus-Charron (2019) attestant que les enfants HP avec des troubles d'apprentissage présentent principalement des profils de QI hétérogène.

De plus, les résultats mettent en évidence un développement moteur précoce chez les enfants HP avec TDC comparés aux enfants non-HP avec TDC. En effet, chez les enfants HP, il existe des corrélations négatives et significatives entre le QI élevé et les étapes de développement pour la station assise sans appui ($m=7$ mois), la marche autonome ($m=12$ mois) et l'expression des premières phrases ($m=18$ mois). L'ICV est négativement corrélé à l'âge de l'acquisition du langage alors que l'IVS et l'IMT ainsi que l'IVT s'avèrent, au même titre que la première étude, être significativement corrélés aux deux autres jalons du développement psychomoteur. Par conséquent, les enfants HP avec TDC montrent un développement psychomoteur précoce, mais la qualité des habiletés motrices s'avère déficiente par rapport à l'âge. Cela est cohérent avec le critère C du DSM-5 du TDC (APA, 2013). Les jalons moteurs ne sont pas systématiquement atteints par un TDC comme confirmé par des études

antérieures (Vaivre-Douret, 2004, 2019), mais l'acquisition de la motricité coordonnée reste inférieure à l'âge chronologique (critère A du DSM-5) (APA, 2013). Il est donc indispensable de différencier le développement psychomoteur (acquisition de la marche, de la position assise, etc.) des compétences neuromotrices (coordination, praxis, etc.), car malgré une maturation précoce chez les enfants HP, la motricité et l'exécution de gestes intentionnels ou la capacité d'effectuer des actions motrices complexes peuvent être perturbées par un dysfonctionnement neurologique comme déjà évoqué par Vaivre-Douret et al. (2016), ce qui peut aussi concerner les enfants non-HP. Par ailleurs, chez les enfants HP avec TDC, les fonctions exécutives et visuo-spatio-constructives sont significativement meilleures que la moyenne des enfants non-HP avec TDC, mais des performances moins bonnes au niveau de l'attention auditive et de mémoire, et davantage de signes neurologiques mineurs. Ces résultats soulignent de meilleures compétences de représentation mentale et d'évocation par le langage interne chez les enfants HP avec TDC leur permettant de mieux planifier et contrôler les gestes contribuant à un taux moins élevé de TDC type idéomoteur pur ou constructif pur.

En effet, nous avons identifié dans le groupe HP moins de TDC idéomotrice (IM : 5%) que le groupe non-HP (11%), visuo-spatial/constructive (VSC : respectivement 37% vs 68%) et plus de TDC Mixte (MX : respectivement 58% vs 21%) dans le groupe d'enfants HP par rapport aux enfants non-HP avec TDC. Nous avons également montré des corrélations significatives entre TDC-IM et les difficultés au niveau des fonctions exécutives, mais aussi entre les tâches visuo-spatio-constructives et le sous-type VSC. Une différence statistique entre les deux groupes a été montrée dans les épreuves de diadococinésies (NP-MOT ; $p < 0.05$) et le trouble de la coordination bimanuelle en faveur des enfants non-HP. L'ensemble de ces résultats est conforme avec la littérature scientifique. D'une part concernant le lien entre intelligence et fonctions exécutives (Arffa, 2007). Cela corrobore les études d'IRMf montrant une meilleure activation et connectivité du lobe frontopariétal impliqué dans le raisonnement fluide, les fonctions exécutives et la perception visuo-spatiale (Nusbaum et al., 2017). D'autre part, le sous-type VSC se caractérise par des troubles spécifiques des fonctions de la structuration visuo-spatiale, de l'intégration visuo-motrice et de la construction visuo-spatiale, associée à des troubles de la poursuite oculaire (Robert et al., 2014 ; Vaivre-Douret et al., 2019). Deux systèmes sont considérés dans la perception visuelle (Milner & Goodale, 2008), mais le système

occipito-pariétal (la voie dorsale du « où ») est particulièrement impliqué dans la localisation et pour diriger l'action motrice volontaire avec une coordination entre le geste et la vision. Cette voie est altérée dans le sous-type VSC et implique le thalamus, les ganglions de la base et le cervelet. L'étude de Desco et al. (2011) montre des schémas d'activation bilatéraux et une activation accrue dans les régions pariétales et frontales des enfants HP et démontre que ces activations sont associées à des meilleures compétences en traitement visuospatial et en raisonnement logique. Par ailleurs, nous avons identifié plus de gauchers chez les enfants HP ayant reçu un diagnostic de TDC (67%) contrairement aux enfants HP tout-venant de la première étude (18%) confirmant une plus grande implication du cortex droit dans le groupe HP avec TDC comparé au groupe non-HP avec TDC. Cela peut ouvrir des champs de recherche plus approfondis pour mieux comprendre les atteintes neurologiques impliquées dans le TDC dans cette population. Une fréquence plus élevée de MX-DCD peut s'expliquer par le fait que moins d'enfants HP à l'école primaire consultent pour un TDC pur tel que le sous-type VSC ou IM car ils peuvent facilement compenser le trouble par des capacités mentales supérieures comme nous l'avons expliqué plus haut. Les enfants HP avec TDC dans notre étude ont montré en effet de meilleures stratégies et de meilleures fonctions exécutives qu'ils utilisent spontanément pour compenser le TDC.

Des études récentes (Lalanne et al., 2012 ; Vaivre-Douret et al., 2011b, c ; 2019 ; Vaivre-Douret et al., 2016) ont montré que dans le sous-groupe MX, il existe des fonctions déficitaires communes au sous-type IM et à VSC, et se caractérise par des déficiences spécifiques concernant la coordination motrice des membres inférieurs et supérieurs, une dextérité manuelle déficiente, des signes neurologiques mineurs tels que les syncinésies, la présence d'un dysfonctionnement des voies pyramidales (hypertonie), trouble de l'intégration spatiale corporelle, trouble du contrôle et de la régulation des tâches motrices globales (marche, équilibre, coordination), trouble de la latéralité et des praxies manuelles, de la perception numérique, des tâches d'attention auditive et trouble sur le plan de l'épreuve d'imitation des gestes (Vaivre-Douret et al., 2019). Cela va dans le sens de nos résultats puisque nous avons identifié significativement plus de troubles d'attention auditive et de mémoire, des déficits importants au niveau de l'épreuve des diadococinésies, et des troubles de la coordination bimanuelle dans le groupe HP avec TDC. Cela permet de mieux expliquer le taux élevé de sous-type MX dans ce groupe. Ce sous-type de TDC

est souvent associé aux troubles d'apprentissage et nos résultats confirment des risques plus élevés de comorbidité dans le TDC de manière cohérente avec la littérature scientifique (Antshel et al., 2007 ; Brody & Mills, 1997 ; Hartnett et al., 2004). De même, une étude récente de Hamdioui et Vaivre-Douret (2020) a été menée sur le même échantillon TDC (19 HP vs 19 non-HP) et a montré qu'il existe significativement plus de comorbidité dans le TDC mixte, particulièrement des troubles des apprentissages comme la dysgraphie qui s'avère significativement liée à des SNM (hypertonie distale). Hamdioui et Vaivre-Douret (2020) ont précisé que la dysgraphie s'avère aussi associée à des difficultés neurovisuelles dans le TDC mixte.

Par ailleurs, il est important de ne pas négliger l'influence de la comorbidité sur les scores de QI des enfants HP, car elle pourrait abaisser le QIT (120-129) étant donné qu'être HP n'est pas un facteur protecteur des troubles neurodéveloppementaux (Tordjman et al., 2018 ; Tursz & Vaivre-Douret, 1999, Vaivre-Douret, 2004, 2020). En effet, le TDC ou tout trouble d'apprentissage peut baisser le QIT. Par exemple, les difficultés mathématiques (application du calcul avec une opération manuscrite, géométrie, problème à résoudre) sont fortement présentes dans les deux groupes de notre échantillon sans différence significative. Cela est congruent avec la littérature prouvant que les compétences en mathématiques sont particulièrement affectées dans le TDC (Vaivre-Douret et al., 2011b, c ; Vaivre-Douret et al., 2016). Nos résultats montrent principalement des difficultés mathématiques dans le sous-type MX et très peu dans le TDC VSC pour les enfants HP, confirmant les meilleures stratégies de compensation.

L'ensemble de ces résultats sont pertinents pour attester que les enfants HP avec TDC présentent des caractéristiques cliniques similaires par rapport aux enfants non-HP avec TDC. Ils présentent néanmoins des taux de VSC purs et d'IM purs plus faibles que les enfants non-HP avec TDC, parce qu'ils semblent utiliser l'évocation mentale avec représentation mentale et évocation langagière interne avec de meilleures capacités de planification. Ces stratégies peuvent même être utilisées en clinique pour la remédiation des difficultés cognitives chez tous les enfants, et n'oublions pas que plus le QI est élevé, plus il est possible que le trouble soit masqué au premier plan (Tursz & Vaivre-Douret, 1999), avec notamment avec un profil de QI hétérogène entre l'ICV et les autres indices (Tordjman et al., 2018 ; Vaivre-Douret, 2019). L'IVS et l'IVT étant les plus affectés par le TDC, la présence d'un TDC peut participer à la baisse de certains indices de QI et donc du QIT. Ainsi, il est possible de

sous-identifier certains enfants HP ce qui interroge la validité du seuil de QI requis à 130 identifier les enfants HP, notamment ceux ayant des troubles neurodéveloppementaux. Par conséquent, il apparaît indispensable d'évaluer en profondeur avec des bilans multidimensionnels (neuropsychologiques et neuropsychomoteurs) l'enfant présentant des scores d'indices ou des subtests hétérogènes dans son profil de QI. L'ensemble de ces résultats sur les caractéristiques du développement neuropsychomoteur montrant à la fois une avance de maturation chez les enfants HP, ce qui peut être considéré comme un phénotype endogène au HP, et confirment que le HP n'est pas un facteur protecteur contre les troubles neurodéveloppementaux, bien que les enfants HP disposent de meilleures capacités de compensation. Il convient d'enrichir l'analyse de ces résultats par l'interprétation des données de l'évaluation des fonctions développementales neuropsychomotrices (NP-MOT). Mais, il faudrait d'abord connaître le profil physiologique NP-MOT des enfants HP s'il est différent des enfants non-HP. Pour cette raison, nous avons analysé les phénotypes NP-MOT chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP.

6. Apport de l'examen des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT)

6.1. Existe-t-il des caractéristiques physiologiques spécifiques du tonus de fond chez les enfants HP ?

Dans notre étude principale sur les enfants HP tout-venant (n=50) comparés aux enfants non-HP (n=30), l'ensemble des enfants HP présentent des degrés d'extensibilité des angles poplités (NP-MOT : m=100° vs 120°) et des adducteurs (NP-MOT : 100° vs 120°) qui sont significativement plus réduits, mais sont tout de même dans la norme, sans différence significative, par rapport à l'étalonnage de la batterie NP-MOT (S.Z_M= 0.51 ds). Il n'existe aucune différence significative au regard des profils de QI (homogène/hétérogène) concernant l'ensemble des items NP-MOT. En revanche, les enfants HP présentent une différence significative par rapport aux enfants non-HP au niveau de l'axe du tronc avec une grande extension/flexion, soulignant une hypotonie axiale. En effet, les enfants HP présentent une grande extension/flexion du tronc de façon équilibrée (NS=2/4), qui se distingue significativement du groupe d'enfants non-HP (respectivement 81% vs 10%). Ces derniers présentent une extension/flexion du tronc strictement dans la moyenne de

façon équilibrée (uniquement 3 sujets sur 30 montrent une hypotonie axiale). De plus, les réflexes rotuliens sont d'amplitude faible à droite et à gauche, ce qui est en lien avec l'hypotonie de l'axe (Vaivre-Douret, 2020 ; Hamdioui et al., 2021).

A ceci s'articule une différence significative entre les deux groupes concernant le tonus de soutien pour l'épreuve des quatre poussées, soulignant également une hypotonie axiale qui se traduit par des attitudes à tendance cyphotiques de compensation lors de l'examen. Tout d'abord, rappelons que le tonus du fond selon Thomas et Ajuriaguerra (1949) est le degré d'allongement mécanique d'un muscle lorsque l'on éloigne au maximum ses points d'insertion. Dans la littérature scientifique, il n'existe aucune étude à notre connaissance s'intéressant à l'examen des fonctions neuropsychomotrices chez les enfants HP. Néanmoins, la sémiologie de l'hypotonie axiale retrouvée chez l'enfant HP a été également soulignée dans l'étude de cas récente de Hamdioui et al. (2021) et l'étude de Vaivre-Douret (2020). Ces études ont souligné pour la première fois la présence d'une typologie axiale spécifique marquée par une hypotonie chez des enfants HP. Dans la littérature scientifique issue du domaine neuropédiatrique, il est souligné qu'il existe des cas d'hypotonie dite « *idiopathique* » pour laquelle Walton (1962) a donné le terme « *d'hypotonie congénitale bénigne* ». Cette hypotonie physiologique correspondrait à un retard du développement du tonus, s'accompagnant d'un retard des acquisitions posturales selon Walton (1962). Cependant, dans ces études le tonus a été principalement évalué par des questionnaires. Si l'hypotonie est réputée commune à plusieurs pathologies, ici elle est isolée sans incidence sur le tonus d'action ni sur les autres fonctions motrices. Ceci montre un intérêt à affiner les investigations aujourd'hui dans ce sens. Cette hypotonie dite physiologique a été également évoquée par d'autres auteurs tels que Gordon (1996), Renault et al. (1992), Tasseau et al. (2003). Ces derniers soulignent l'importance des futures recherches dans cette voie afin mieux comprendre l'origine, et ce à quoi elle pourrait être liée cette hypotonie axiale isolée. En effet, Tasseau et al. (2003) ainsi que Renault et al. (1992) s'interrogent sur des pistes d'explications liées à l'électromyographie, aux investigations génétiques et au fonctionnement du système nerveux central chez les enfants présentant ce phénotype.

Au niveau neurophysiologique, la réduction des angles articulaires des membres inférieurs (adducteurs et poplités) chez les enfants HP par rapport aux non-HP, pourrait retrouver son explication dans l'hypotonie axiale retrouvée chez ces enfants. En effet, nous pouvons supposer que les angles articulaires des adducteurs et des poplités sont réduits afin de retrouver une bonne synergie entre les muscles

fléchisseurs et extenseurs qui sous-tendent le tonus axial, particulièrement les muscles psoas et iliaques (d'amplitude grande, mais équilibrée chez les enfants HP). Il paraît que de façon spontanée, les membres inférieurs des enfants HP (muscles ischio-jambiers, le pectiné, le petit, moyen et grand adducteur, ainsi que le droit interne) se renforcent afin de tenir l'équilibre de l'axe permettant de mieux s'appuyer sur un support.

Au niveau cognitif, Paillard (1976) a montré dans ses études expérimentales que dans le cas d'effort musculaire et dans des situations cognitives impliquant des capacités d'attention ou de vigilance, ainsi que dans certains états émotionnels, l'action tonique n'est pas directement médullaire mais sous l'influence de certaines structures nerveuses supérieures, notamment le cervelet et la formation réticulée (Paillard, 1976). Le lien étroit entre l'organisation tonico-posturale et l'attention nous a poussé à évaluer les corrélations voire les régressions avec les variables attentionnelles ainsi que certains indices du QI et l'hypotonie axiale repérée chez les enfants HP. Les résultats ont montré une régression significative dans l'ensemble de l'échantillon (enfants HP et non-HP) entre l'IVT faible et l'hypotonie axiale. Ce résultat apporte un nouvel éclairage à l'explication du profil de QI souvent marqué par l'IVT comme l'indice le plus faible, même si cet indice reste au-dessus de la moyenne générale des enfants non-HP quel que soit le profil (homogène/hétérogène). De plus, ce résultat devrait nous inviter à envisager d'autres pistes de compréhension du profil de QI, que ce soit chez les enfants HP ou non-HP, surtout lorsqu'il est question de trouble d'attention et/ou de lenteur où le profil postural marqué par une hypotonie axiale pourrait être considéré comme diagnostic différentiel (Hamdioui et al., 2021 ; Vaivre-Douret, 2020).

Dans ce contexte, l'étude rétrospective de Vaivre-Douret (2022) sur 25 cas cliniques d'enfants tout-venant non-HP (15 enfants âgés entre 8 et 9 ans et 10 adultes âgés entre 26 et 42 ans) a montré, à l'aide du NP-MOT, que l'hypotonie axiale est corrélée avec un trouble de la latéralité, de l'intégration de l'orientation spatiale, et des difficultés dans la vie quotidienne de l'enfant, pouvant avoir aussi une incidence sur l'attention soutenue. Dans notre étude, l'attention soutenue à la NP-MOT et les autres tests neuropsychologiques de l'attention (NEPSY-II) ne sont pas déficitaires et ce sans différence significative entre les deux groupes. Cependant, chez les enfants ayant un profil de QI très hétérogène (HP et non-HP sans différence significative) il apparaît une tendance plus marquée de l'IVT basse avec un ICV plus élevé. Au regard de tous ces éléments, l'hypotonie axiale retrouvée chez les enfants HP de notre échantillon, sans

incidence sur les autres fonctions motrices et neuropsychologiques, semble être isolée soulignant un phénotype physiologique du HP. Ce phénotype mérite un approfondissement des investigations cliniques, voire même des explorations génétiques permettant au mieux d'identifier les génotypes impliqués dans le fonctionnement des enfants HP. En effet, ces enfants HP tout-venant porteurs d'hypotonie axiale isolée se distinguent des autres enfants porteurs d'hypotonie axiale non isolée (associée à des troubles cérébraux avérés), étant inscrite dans le cadre de maladies (diabète néonatal ; Busiah et al., 2013) ou de troubles (TSA, Paquet et al., 2015, 2019).

Dans le contexte cognitif, il existe un autre axe qui a attiré particulièrement notre attention : la représentation spatiale chez l'enfant HP, parce que l'orientation du corps par rapport à autrui et la représentation de l'espace dépendent de la maturation du contrôle et du maintien postural (Paillard, 1971). Ainsi, nous nous sommes intéressés au lien entre l'orientation corporelle par rapport à autrui, l'orientation corporelle par rapport aux objets, l'orientation corporelle par rapport à un plan (NP-MOT) et l'hypotonie axiale. Les résultats ont montré des corrélations significatives et négatives entre l'hypotonie axiale et l'intégration de l'orientation corporelle sur autrui et par rapport à un plan. Toutefois, les enfants HP montrent des scores significativement meilleurs à l'épreuve « orientation sur soi » et « orientation des trois objets ». De plus, les scores des enfants HP à l'épreuve de l'orientation des trois objets s'avèrent significativement corrélés avec les capacités de représentation mentale soulignées par l'épreuve de reconnaissance des silhouettes d'animaux et l'épreuve de reconnaissance des formes du KABC-2. En effet, ces deux dernières, en plus des capacités d'occlusion visuelle et de gnosies, elles évaluent particulièrement les capacités de représentation mentale chez l'enfant (Kaufman & Kaufman, 1983 ; Vaivre-Douret et al., 2020). Ainsi, il semble que les enfants HP utilisent des stratégies de représentation mentale pour réussir l'épreuve des trois objets du NP-MOT, alors qu'ils ne sont pas meilleurs que les enfants non-HP aux deux épreuves de l'orientation spatiale du corps par rapport à autrui et à un plan (NP-MOT). Ce résultat a été également retrouvé dans l'étude de Hamdioui et Vaivre-Douret (2020). Plus précisément, même chez des enfants HP avec TDC associé à la dysgraphie (19 HP vs 19 non-HP avec TDC, âge moyen de 9 ans) l'évaluation neuropsychomotrice (NP-MOT) a montré un taux significativement élevé de réussite aux items " orientation spatiale avec 2 ou 3 objets " en faveur des enfants HP, soulignant de meilleures

capacités d'imagerie mentale et d'évocation par le langage interne pour planifier et contrôler les épreuves constructives.

Par ailleurs, notre résultat pourrait aussi corroborer l'étude de Planche (1998) au niveau du développement des capacités de la représentation spatiale des enfants HP par rapport à autrui. Autrement dit, l'élaboration des notions de différenciation et de coordination des points de vue à travers la mise en relation des perspectives. Plus précisément, rappelons que l'étude de Planche (1998), que nous avons expliquée en détails dans la partie revue de littérature, a mis en place une étude expérimentale pour mieux comprendre le développement du fonctionnement cognitif des enfants HP lors de la situation de construction des notions spatiales après l'âge de 5 ans. Dans cette étude comparative et longitudinale (deux ans : de 1995 à 1997), Planche (1998) s'est orientée vers la maternelle ordinaire pour recruter des participants sans difficultés et sans troubles, tirés d'un groupe global de quatre-vingt enfants HP (parfois non identifiés avant l'inclusion dans l'étude) et des enfants neurotypiques, avec un appariement sur l'âge mental plutôt que l'âge chronologique. Planche (1998) a alors recruté vingt-deux enfants distribués en deux groupes de comparaison : 12 enfants HP (QI>130 à l'aide de la NEMI et WISC-III ; âge chronologique moyen=6 ans et âge mental moyen=8 ans) appariés sur l'âge mental avec 10 enfants non-HP (QIM=101 ; âge chronologique moyen=7 ans et 11 mois et âge mental moyen=8 ans). L'auteur a utilisé l'épreuve « des trois montagnes » consistant en l'évaluation du développement de la représentation spatiale chez l'enfant. Les résultats ont montré que les enfants HP, ayant 6 ans d'âge chronologique, ont donné un nombre de bonne réponses significativement inférieur par rapport aux enfants non-HP. Dans la seconde étape de l'épreuve, l'écart du taux de bonnes réponses entre les deux groupes est moins important et non significatif. Planche (1998) a expliqué que dans la première étape de l'expérience des trois montagnes, les enfants HP avaient tendance à utiliser des stratégies « *plus égocentriques* » que les enfants non-HP. Dans la seconde étape, qui est censée être plus difficile, la majorité des enfants HP montraient un raisonnement plus complexe, mais ils ne différencient pas et ne coordonnent pas l'ensemble des points de vue. Ainsi, les résultats de l'étude de Planche (1988) montrent que les enfants HP âgés de 6 ans (âge mental de 8 ans) sembleraient avoir des compétences d'élaboration spatiale moins développées que les enfants non-HP du même âge mental. Ici, nous pouvons émettre l'hypothèse que ce décalage lié au développement des compétences d'élaboration spatiale par rapport à autrui pourrait être mieux expliqué par l'hypotonie axiale qui ne permettrait pas aux enfants HP d'exceller dans

ce registre au même rythme que les autres domaines cognitifs. Par conséquent, nous nous inscrivons, au même titre que les études de Planche (1985, 1998, 2000a, b), Little (1972), Webb (1974), Brown (1973), dans la théorie d'un développement cognitif atypique chez l'enfant HP. Ce développement serait spécifique et inter-corrélé avec le développement moteur. Ceci nous positionne de manière divergente avec les travaux de Piaget (1918, 1952), Cohn et al. (1985), Bjorklund et al. (1994), Bornstein et Sigman (1947, 1952, 1983) postulant sur l'idée d'un développement typique, mais simplement précoce. Nous avons déjà expliqué les limites de ces études dans la revue de littérature (biais méthodologique lié aux lieux de recrutement des échantillons, absence de groupe témoin, utilisation d'un seul test pour tirer des conclusions très généralistes, etc.).

6.2. Qu'en est-t-il des syncinésies (tonus d'action) chez les enfants HP ?

Dans notre étude, il existe des différences significatives entre l'ensemble des enfants HP et non-HP. Chez les enfants HP, nous avons déterminé significativement moins de syncinésies pour l'âge sur le plan quantitatif et qualitatif (distale) à l'épreuve de prono-supination unilatérale (diadococinésie), au niveau controlatéral sur l'hémicorps gauche (Score $Z=0.95$ E.T. vs -1.7 E.T chez les enfants non-HP), quel que soit le type de profil de QI (homogène/hétérogène). Au niveau des praxies, l'épreuve d'opposition pouce/doigts et les épreuves bi-manuelles de prono-supination sont significativement meilleures chez les enfants HP. Cette différence significative entre les groupes concernant les syncinésies est corrélée avec les scores de la coordination posturale, l'équilibre et praxies bi-manuelles qui sont significativement meilleurs chez les enfants HP. Cela est également valable pour les performances motrices, car les enfants HP montrent des scores significativement meilleurs que les enfants non-HP pour la dextérité manuelle, l'équilibre et le score total de la batterie M-ABC. Par ailleurs, nos résultats montrent une corrélation significative et positive entre le niveau de QI élevé et la disparition précoce des syncinésies à l'épreuve de diadococinésies à la NP-MOT (SNM) d'un côté, et ces dernières et les fonctions exécutives (planification à l'épreuve Tour de Londres et flexibilité cognitive à l'épreuve de catégorisation de la NEPSY-II) d'un autre côté.

Tout d'abord, rappelons que le tonus d'action se définit selon Thomas et Ajuriaguerra (1949) comme le tonus lors du mouvement correspondant aux degrés de

tension des muscles sollicités pour participer à l'action motrice. Les syncinésies diminuent en fréquence et intensité avec la maturation et font partie des signes neurologiques mineurs (SNM) lorsqu'ils sont présents à un âge où ils devraient être absents (Vaivre-Douret, 2006 ; Servant et al., 2018). Leur disparition est donc une preuve de maturation neurologique harmonieuse notamment au niveau du gyrus frontal inférieur, du putamen bilatéral, du cervelet, et du gyrus temporal supérieur (Hirjak, 2014a et b, 2015), soulignant aussi la structure ponto-thalamique-préfrontale. En revanche, leur présence à un âge où ils devraient être absents indiquerait un développement dysharmonieux, voire même des symptômes de pathologies neuropsychiatriques (Biswas et al., 2007 ; Hamdioui & Lotfi, 2016). Ainsi, nous faisons le rapprochement entre un QI supérieur et la disparition précoce des SNM. Il existe alors une trajectoire de développement psychomoteur précoce, telle qu'elle est expliquée dans le chapitre précédent (acquisition de la station assise, marche autonome, etc.) qui serait en lien avec une spécificité et précocité de la maturation neurologique de la voie motrice chez les enfants HP. Ce qui explique le lien avec les scores de la coordination posturale, l'équilibre et les praxies bi-manuelles qui sont significativement meilleurs chez les enfants HP. Ce qui se traduit de façon harmonieuse avec les performances motrices telles qu'elles sont mesurées par la batterie M-ABC dans notre étude.

De façon cohérente avec nos résultats, l'étude de Vaivre-Douret (2004) a évoqué une avance de la maturité neuromotrice de la voie cortico-spinale (pyramidale). De plus, Vaivre-Douret (2004) a souligné chez les enfants HP une coordination précoce à travers une réponse active lors des sollicitations (tenue de la tête, retournement, etc.), disparition précoce du réflexe de Babinski (12 mois vs 18 mois chez les typiques), disparition du réflexe de Moro et de la marche automatique (1 mois vs 3-4 mois chez les typiques). Nos résultats réconfortent alors l'idée d'une maturation neurologique précoce de la motricité manuelle chez les enfants HP tout-venant, soulignant d'une part un phénotype neurodéveloppemental de meilleures capacités de planification, de programmation motrice, ainsi que d'inhibition et de coordination inter-hémisphérique. Ce qui impliquerait des réseaux cérébraux plus efficaces. D'autre part, ils confirment une fois de plus la maturation neurologique précoce et harmonieuse chez les enfants HP.

Les réseaux cérébraux probablement plus efficaces chez les enfants HP couvriraient particulièrement la voie motrice au niveau frontal, le corps calleux, le

cervelet, les ganglions de la base, ce qui rejoint les résultats d'IRMf de Haier et al. (2004), Li et al., (2009), Liu et al. (2007), Navas-Sánchez et al. (2014), Percheron, et al. (1994), Suprano et al. (2019), Thompson et Oehlert (2010), Wilke et al. (2003). L'ensemble de ces structures corticales et sous-corticales forment ensemble une structure ponto-thalamique-préfrontale telle qu'elle est décrite dans la méta-analyse de Hamdioui et Lotfi (2016) et l'étude de Chan et al. (2010, 2011). Ainsi, il paraît important de souligner peut-être le rôle particulier de cette structure et du cervelet dans le développement harmonieux des enfants HP tout-venant, à la fois cognitif et moteur (Biswas et al., 2007 ; Hamdioui & Lotfi, 2016 ; Allain, 2013). En effet, ces structures cérébrales sont également impliquées dans les fonctions exécutives (processus de contrôle cognitif, résolution de problèmes notamment face à des situations complexes ou nouvelles, planification, flexibilité mentale, inhibition, mémoire de travail, et prise de décision) (Allain, 2013). La région pariétale postérieure est impliquée dans la construction d'une représentation interne de l'espace, tandis que le prémoteur et le préfrontal sont impliqués dans les aspects exploratoires et moteurs (Mesulam, 1981). Ce modèle de réseau neural impliqué dans les fonctions exécutives et l'intelligence ainsi que celui qui est impliqué dans les SNM (particulièrement les syncinésies dans notre étude) sont similaires. Nous pouvons alors étayer nos propos portant sur le fait qu'il existe un lien étroit entre les caractéristiques neurologiques motrices et les fonctions cognitives, notamment avec le fonctionnement intellectuel et exécutif. A l'inverse, nos résultats sont en discordance avec les études de Terrassier (1979, 2005) qui défend l'idée d'une dyssynchronie de développement moteur/cognitif chez les enfants HP tout-venant. Les limites des études de Terrassier ont été largement expliquées tout au long de ce travail, mais le biais méthodologique majeure est celui de la représentativité de l'échantillon lié au recrutement dans les consultations. Cette harmonie de développement que nous défendons dans notre étude nous laisse alors supposer une mise en place précoce de la latéralité.

6.3. De la latéralité proximale à la mise en place de la latéralité distale

Nos résultats montrent des différences significatives entre les enfants HP et non-HP, mais pas entre les profils de QI (homogène/hétérogène). Au niveau de la latéralité tonique proximale, l'extensibilité de l'épaule souligne une résistance significativement plus marquée à droite chez les enfants HP. Au niveau distal, la

résistance à l'examen du ballant et de l'extensibilité du poignet (à droite) et du pied (à gauche) est également significativement plus marquée chez les enfants HP (84% vs 61% chez les enfants non-HP). Il existe par ailleurs une corrélation significative entre l'extensibilité du poignet et le ballant du poignet chez les enfants HP. En ce qui concerne le tonus d'attitude, la contraction du pied est significativement plus marquée (à gauche) chez les enfants HP ($p=0.04$). Nous notons alors une latéralité tonique significativement plus homogène dans le groupe HP ($p=0.007$), étant naturellement croisée entre les membres inférieurs et supérieurs, et significativement corrélée avec la latéralité fonctionnelle (gestuelle, usuelle, psychosociale) ($r=0.41$; $p=0.01$). D'ailleurs, la latéralité fonctionnelle est significativement plus affirmée (à droite) chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP. Plus précisément, au niveau de la latéralité fonctionnelle manuelle, nous avons déterminé 82% de droitiers dans le groupe HP vs 83% de droitiers dans le groupe des enfants non-HP. L'examen NP-MOT met en exergue une différence significative entre les deux groupes avec une latéralité plus précoce et plus affirmée à droite, et ce dès l'âge de 7 ans (échantillon âgé de 7 à 13 ans) chez les enfants HP ($p=0.04$). Aucune différence significative n'est objectivée entre les deux groupes concernant la latéralité pédestre, ni au niveau de l'œil directeur. Au niveau des habiletés oculo-manuelles, les enfants HP montrent un score Z d'indice de dominance (dextralité) significativement plus important que le score Z des enfants non-HP ($p=0.03$).

Tout d'abord, pour expliquer ces résultats rappelons que la latéralité est un processus neurodéveloppemental complexe permettant la mise en place progressive de l'organisation hémisphérique. Elle a été étudiée sous deux modalités principales conformément à la batterie NP-MOT (Vaivre-Douret, 2006) : latéralité tonique et latéralité fonctionnelle. Selon Vaivre-Douret (2006), il existe dans la population standard une augmentation progressive de la résistance sur l'un des poignets à partir de 4 ans et 10 mois. Cette augmentation progressive en fonction de l'âge reflète une maturation développementale soulignant un indice de latéralité, de dextralité pour la majorité sans différence significative entre les filles et les garçons. Le ballant du poignet et du pied évolue et la résistance devient de plus en plus marquée de façon naturellement croisée entre membre supérieur et inférieur, et ce à partir de 4 ans et 10 mois pour une distinction plus nette qui commence à apparaître à partir de l'âge de 5 ans et 9 mois (Vaivre-Douret, 2006).

Nos résultats confrontés à ces bases de la maturation neurologique de la motricité nous permettent de déduire que les enfants HP montrent une fois de plus une maturation précoce en lien avec une dextralité distale. De façon cohérente avec nos résultats, l'étude rétrospective de Vaivre-Douret (2004, 2011a) évoque aussi une acquisition précoce avec une mise en place entre l'âge de 30 et 46 mois en moyenne. De plus, la mise en place de la latéralité proximale chez les enfants HP tout-venant de notre échantillon est acquise avant la mise en place de la latéralité distale, suivant ainsi le même processus de maturation que chez les enfants non-HP tout-venant de la population standard décrite dans le manuel de Vaivre-Douret (2006). L'ensemble de nos résultats confirme une latéralité plus homogène et plus précoce chez les enfants HP, mais sans différence significative entre les groupes au niveau de l'indice de dominance (dextralité). Ceci est en discordance avec les résultats de Benbow et Stanley (1983) qui ont évoqué dans leur revue de littérature une fréquence élevée de gauchers et d'ambidextres en citant Geschwind et Behan (1982). Cependant, l'étude expérimentale de Geschwind et Behan (1982) n'étudie pas les enfants HP, mais plutôt les individus gauchers sans précision sur l'âge moyen de la population (253 gauchers recrutés dans une boutique à Londres qui fournit des articles à l'usage des gauchers). Il s'agit alors d'une extrapolation de Benbow et Stanley (1983). De même, une étude plus récente de Piro et al. (2021) sur trente-cinq enfants HP comparés à vingt-trois enfants non-HP, âgés entre 8 et 12 ans, utilisant le test de latéralité d'Edinburgh (Oldfield, 1971), a montré un taux élevé de gauchers chez les enfants HP. Toutefois, le test utilisé pour l'évaluation de la latéralité est un auto-questionnaire de la latéralité manuelle uniquement sans examen approfondi. Nos résultats sont en revanche en accord avec l'étude de Wiley et Goldstein (1991) (sur un échantillon de 33 724 adolescents HP, recrutés dans différentes écoles d'Amérique) qui ne retrouvent pas de lien significatif entre la fréquence de gauchers et le Haut Potentiel. De même, nos résultats corroborent l'étude de Loureiro et al. (2010) qui s'est appuyée sur un échantillon de quarante-cinq enfants HP âgés entre 7 et 11 ans, sans troubles neurologiques ni sensoriels avérés. En effet, Loureiro et al. (2010) ont infirmé l'existence de fréquence élevée de gauchers dans la population des enfants HP (autant de droitiers que dans la population typique : 90%). Ces marqueurs de la latéralité s'inscrivent dans une homogénéité du développement neuropsychomoteur précoce et spécifique des enfants HP.

Au niveau de l'organisation hémisphérique, nous déduisons, à partir de nos résultats qu'au même titre que la population générale, l'hémisphère dominant chez les enfants HP serait l'hémisphère gauche, étant droitiers majoritairement au niveau fonctionnel, et ce quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène). En effet, les hémisphères chez l'humain ne fonctionnent pas de façon symétrique, il est connu que du fait de la décussation des voies nerveuses, chaque hémisphère reçoit des informations sensorielles et met en place la commande des réponses motrices de la partie controlatérale du corps (Latash, 2008). L'hémisphère dominant (gauche dans 97% des cas) traite majoritairement le langage et les fonctions numériques par exemple. L'hémisphère droit est associé davantage aux capacités visuo-spatiales, la rotation mentale, la perception des visages. L'étude française (Suprano et al., 2019) a montré des résultats divergents, avec des différences significatives au regard du profil de QI. Le groupe HP avec un profil de QI hétérogène était plus latéralisé dans l'hémisphère gauche alors que le groupe HP avec un profil de QI homogène était plutôt latéralisé à droite au niveau hémisphérique. Selon Suprano et al. (2019) la latéralisation hémisphérique à gauche ne concernerait que les enfants HP avec un profil de QI hétérogène. Cependant, l'échantillon de cette étude est composé de trente-sept enfants HP (QIT ou ICV ≥ 130 au WISC-IV ; $QIT_M=134$), âgés de 8 à 12 ans (QI homogène $n=15$; hétérogène $n=22$), tous recrutés dans un service de pédopsychiatrie, comparés à douze enfants neurotypiques ($QIT_M=104$). Ces résultats issus d'un échantillon consultant ne peuvent donc pas être généralisables. Cette spécificité de latéralisation hémisphérique à gauche pourrait être liée à des fonctionnements spécifiques étant donné le contexte pathologique lié au lieu de recrutement. Dans ce même contexte, Nusbaum et al. (2017) ont mené une étude comparative sur trois groupes d'enfants droitiers (selon l'échelle d'Edinburgh ; Oldfield, 1971), âgés de 8 à 12 ans, recrutés dans des écoles et dans un service de pédopsychiatrie : Le groupe HP avec un profil de QI homogène ($n=20$; $QI_M=139$ au WISC-IV, écart inter-indices < 15 points), le groupe HP avec un profil de QI hétérogène ($n=24$; $QI_M=129$ au WISC-IV, écart inter-indices ≥ 15 points), et groupe d'enfants neurotypiques ($n=13$; $QI_M=105$). Les auteurs n'ont pas explicité le type de profil de QI au sein du groupe témoin. L'IRM du tenseur de diffusion, permettant d'établir une cartographie in-vivo de la microstructure et de l'organisation des réseaux neuronaux, a été utilisée auprès de tous les enfants des trois groupes pour évaluer la microstructure et l'organisation de la substance blanche. Des mesures quantitatives

ont été effectuées sur 48 régions et 21 faisceaux de fibres de la substance blanche. Les résultats ont montré qu'une connectivité significativement élevée de la substance blanche est corrélée avec le niveau de QI, particulièrement dans les structures centrales telles que le corps calleux, mais également au niveau des voies associatives et de projection de la substance blanche. Plus précisément, il est noté chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP une connectivité significativement meilleure du cortex cérébral impliquant de nombreuses régions fonctionnelles notamment la zone motrice primaire utilisée principalement pour les mouvements volontaires, l'aire prémotrice utilisée pour les activités motrices apprises ou automatiques, l'aire motrice supplémentaire qui coordonne différents mouvements, la zone de Broca appelée également zone motrice de la parole et les pédoncules cérébelleux. Ces derniers se trouvent entre le cervelet et le tronc cérébral et contiennent des tractus sensitifs et moteurs (Nusbaum et al., 2017). Ces résultats mettent donc en évidence une maturation cérébrale précoce et spécifique aux enfants HP, soit à l'origine de l'avance développementale à la fois au niveau moteur et verbal chez les enfants HP. Par ailleurs, les auteurs ont mis en exergue des différences significatives dans l'intégrité des tissus de la substance blanche au niveau de la latéralisation cérébrale chez les enfants HP au regard des profils de QI (homogène/hétérogène). Les régions de diffusivité plus élevée étaient significativement plus distribuées au niveau central bilatéral et dans l'hémisphère droit des enfants HP avec un profil de QI homogène, tandis qu'elles étaient significativement plus distribuées dans l'hémisphère gauche des enfants HP avec un profil de QI hétérogène (Nusbaum et al., 2017). Les auteurs ont conclu sur un lien entre le profil d'intelligence et la latéralisation hémisphérique. La spécialisation hémisphérique gauche des enfants HP avec un profil de QI hétérogène pourrait être en lien avec leurs meilleures capacités de langage souvent reflétées par un ICV significativement plus élevé que les autres indices. L'organisation bilatérale et hémisphérique droite des enfants HP avec un profil de QI homogène pourrait soutenir quant à elle leurs plus grandes capacités d'apprentissage et de raisonnement fluide reflétées par les autres indices de QI, particulièrement l'IRP et l'IMT. Néanmoins, le biais de recrutement (service de pédopsychiatrie) ne permet pas de généraliser les résultats liés au profil de QI (homogène/hétérogène). Toutefois, de façon plus générale, il existe dans la littérature une unanimité concernant le lien significatif entre l'intelligence supérieure telle qu'elle est décrite chez les enfants HP et la plus grande efficacité globale du réseau anatomique cérébral (Geake, 2008 ; Li et al., 2009 ;

Navas-Sánchez et al., 2014 ; Shaw et al., 2006). Plus précisément, O'Boyle (2008), O'Boyle et Benbow (1990) et Navas-Sánchez et al. (2014) ont souligné une meilleure connectivité cérébrale au niveau du corps calleux, le long des trajets intra-hémisphériques reliant fronto-occipital et les régions temporo-pariétales ainsi que les fibres inter-hémisphériques qui sont cruciales pour l'intégration de l'information sensorielle et motrice. Pour mieux affiner la connaissance de ces circuits neuronaux sous-jacents, nous nous sommes également intéressés aux caractéristiques neurovisuelles à l'aide d'oculométrie (Eye-Tracking) et des examens neurovisuels standardisés et normés.

7. Existe-t-il des caractéristiques oculométriques et neurovisuelles spécifiques des enfants HP

En se basant sur les observations cliniques du Pr. Vaivre-Douret concernant les caractéristiques oculomotrices, la question des capacités neurovisuelles (particulièrement la poursuite visuelle lisse) nous a interpellée. Nous nous sommes alors intéressés aux caractéristiques neurovisuelles à l'aide d'un Eye-Tracker afin d'approfondir le phénotypage du HP et de formuler éventuellement des hypothèses de corrélats cérébraux sous-jacents impliqués.

Nos résultats obtenus à l'aide du dispositif d'Eye-Tracking ont montré de façon générale des différences significatives entre les enfants non-HP et HP, en faveur de ces derniers, particulièrement au niveau du gain, de la précision et de l'erreur d'entropie au niveau horizontal et vertical. De plus, les enfants HP, dès l'âge de 9 ans, montrent un gain et une précision de poursuite visuelle lisses qui sont significativement meilleurs au niveau vertical. Par ailleurs, nos résultats mettent en exergue les trois meilleurs prédicteurs oculomoteurs sensibles et spécifiques permettant de prédire le Haut Potentiel : « le gain » (0.8 ; $p < 0.001$), « le gain ajusté » (0.72 ; $p < 0.001$), et « l'erreur d'entropie » (0.6 ; $p = 0.02$).

Notre étude expérimentale (trois expériences de poursuite visuelle lisse pour chaque enfant ; voir partie résultats) a montré chez les enfants HP, comparés aux enfants non-HP, un schéma inter-corrélationnel (entre les différentes mesures oculomotrices telles que la précision, direction, etc.) qui est significativement caractérisé par une indépendance entre les variables. Autrement dit, les enfants HP adaptent de façon indépendante leurs capacités selon la complexité de la tâche. De plus, la précision et la durée de la poursuite visuelle lisse sont significativement plus

importantes dans le groupe d'enfants HP dès la première expérience, et cet effet significatif augmente avec le nombre d'expériences, soulignant un certain effet d'apprentissage significativement plus rapide chez les enfants HP.

Rappelons que le dispositif d'Eye-Tracking est une technique non-invasive, appelée en français l'oculométrie, permettant de déclencher un processus intellectuel de traitement de l'information afin de capter et de décoder le parcours fovéal (Kiseleva & Kiselev, 2021). L'Eye-Tracking permet également l'identification des biomarqueurs d'un fonctionnement cognitif et moteur spécifique sans anomalie (McIlreavy et al., 2019). Nos résultats sont cohérents avec l'étude clinique rétrospective de Vaivre-Douret (2004), évoquant une poursuite oculaire performante sur 90° de chaque côté dès la naissance chez les enfants HP, suivie d'une avance du développement de la capacité du maintien de la tête dans l'axe observée. De plus, le gain et la précision de poursuite visuelle lisse qui sont significativement meilleurs au niveau vertical dès l'âge de 9 chez les enfants HP de notre échantillon, soulignent une précocité de la maturation neurologique de l'oculomotricité au même titre que la motricité globale (expliquée dans le chapitre précédent). En effet, les normes développementales issues de l'étude française de Ingster-Moati et al. (2009) ont montré une maturation de la poursuite visuelle lisse horizontale vers l'âge de 7 ans en moyenne, alors que la poursuite verticale est acquise plus tardivement, à l'âge de 11 ans en moyenne. Il existe alors dans notre étude une maturation de la poursuite visuelle lisse verticale qui s'avère significativement plus précoce chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP. Chez ces derniers, la poursuite visuelle verticale est acquise vers l'âge de 11 ans, ce qui est cohérent avec les normes développementales de Ingster-Moati et al. (2009).

Au niveau anatomique, ce résultat de la maturation précoce de la poursuite visuelle lisse, particulièrement au niveau vertical, amène à supposer qu'en plus de l'implication du lobe pariétal postérieur et du lobe temporal supérieur qui sont impliqués dans la poursuite lisse en général, le tronc cérébral et le cervelet impliqués dans le contrôle de la poursuite visuelle lisse verticale (Ingster-Moati et al., 2009 ; Ross et al., 1993) sont matures plus précocement chez les enfants HP. La poursuite visuelle implique entre autres le spinocerebellum comprenant le vermis au niveau du lobe postérieur, connecté à la moelle épinière (Robert et al., 2014). Le vermis est également impliqué dans le contrôle de la motricité (Percheron, et al., 1994) qui s'avère précoce chez les enfants HP dans notre étude. En plus de la vitesse (gain), la précision et la moindre erreur d'entropie (qui sont significativement meilleurs chez les enfants HP de

notre échantillon) soulignent un traitement efficace et rapide de la voie cérébrale occipito-pariétale dite la voie dorsale (ou la voie d'où) (Milner & Goodale, 2006). Cette voie dorsale joue un rôle très important dans la localisation, l'exécution et le contrôle du mouvement, et entretient une relation importante avec les réseaux oculomoteurs impliquant le lobe pariéto-occipito-frontal, le cervelet, les ganglions de la base, et le tronc cérébral (Ingster-Moati et al., 2009 ; Robert et al., 2014). Ce qui est en cohérence avec nos résultats du développement à la fois moteur, cognitif et neurovisuel, soulignant une fois de plus une trajectoire développementale précoce et harmonieuse chez les enfants HP tout-venant.

Enfin, nos résultats mettent en évidence une nouvelle mesure d'identification du HP pouvant aider à mieux comprendre le profil cognitif de ces enfants. En effet, ces mesures peuvent nous renseigner sur le schéma cognitif de traitement de l'information et les capacités d'apprentissages. L'ensemble de tous les éléments évoquant un développement neuropsychomoteur précoce suggèrent l'existence de marqueurs d'une avance de la maturation motrice, impliquant des corrélations possibles avec le développement cognitif et langagier (Kiseleva & Kiselev, 2021 ; Escera, 2017). Les enfants HP semblent effectivement apprendre plus rapidement et adoptent des stratégies d'apprentissages plus efficaces. Ces données sont en cohérence avec l'étude cognitive de Swanson (1992) explorant la relation entre les stratégies d'apprentissage, particulièrement la métacognition et les processus cognitifs impliqués dans le raisonnement chez les enfants HP. L'auteur s'est basé sur un échantillon de vingt-six enfants HP ($QI \geq 130$ au WISC-R ; recrutés dans un programme spécial HP), trente-huit enfants à QI moyen et 32 enfants à QI moyen faible qui ont été recrutés dans des classes régulières de l'école publique. Tous les enfants étaient âgés de 11 ans en moyenne et ont tous passé des tâches de résolution de problèmes de Piaget et Inhelder (1958). Les résultats de Swanson (1992) ont montré que les enfants HP présentaient des schémas inter-corrélationnels qui sont qualitativement et significativement différents entre la résolution de problèmes, la métacognition et les mesures psychométriques, reflétant ainsi des différences qualitatives au sein des groupes. Plus précisément, les enfants HP présentaient un niveau élevé d'indépendance entre les mesures, alors que les schémas de corrélation au sein des autres groupes d'enfants non-HP s'avéraient plus interdépendants. Les auteurs ont conclu sur un style de traitement de l'information spécifique aux enfants HP, qui est efficace et ciblé, confortant ainsi les hypothèses d'une efficacité du système nerveux

central. Ce résultat issu d'une expérience neuropsychologique met en évidence un style de traitement de l'information qui est similaire à ce que nous avons retrouvé lors de notre expérience oculométrique. Ainsi, les enfants HP semblent présenter non seulement un développement moteur et cognitif précoce, mais très spécifique. D'autres auteurs s'appuyant sur l'analyse du comportement auprès des enfants HP (Larochelle & Lévis-Lauzon, 2012 ; Lubart, 2006 ; Lubart et al., 2019 ; Oksenberg, 2020 ; Save-Pédebos & Florea, 2021) évoquent de meilleures capacités de métacognition et un schéma de traitement de l'information qui est différent comparés aux enfants non-HP. De façon cohérente avec nos résultats, les études de Cohn et al. (1985), Ferretti et Butterfield (1992), Little (1972), Planche (1997, 1998, 2000a, b, 2008) (détaillées dans la partie revue de littérature) ont également souligné de meilleures capacités métacognitives et créatives permettant un apprentissage et un transfert plus rapides et plus efficaces.

Notre étude expérimentale basée sur les caractéristiques oculométriques a également montré une corrélation significative et positive entre la précision lors de la poursuite visuelle lisse et les résultats à l'épreuve de chemins entremêlé Méli-Mélo ainsi qu'avec le barrage linéaire des O dans le groupe d'enfants HP, sans différence significative entre le profil de QI homogène et hétérogène. Cela souligne le lien d'harmonie entre le développement cérébral précoce notamment des structures corticales et sous-corticales et les meilleures performances de discrimination visuelle et d'attention visuo-spatiale sélective chez les enfants HP. Pour étayer nos résultats neurovisuelles, nous avons investigué plus en détails les fonctions neuropsychologiques que nous présentons ci-après.

8. Apport des examens neuropsychologiques standardisés et normés

8.1. Fonctions exécutives

Nos résultats montrent des différences significatives entre l'ensemble des enfants HP et non-HP au niveau de l'épreuve de la tour de Londres et de l'épreuve de catégorisation évaluant la flexibilité cognitive (Kaufman et al., 2004). Les enfants HP (profil de QI homogène/hétérogène) montrent des scores significativement supérieurs

à la moyenne de la population générale de l'étalonnage du test ($m=1.72$ E.T.) et aux scores des enfants non-HP de notre échantillon ($m=0.64$ E.T.). En plus du score total représentant la capacité de planification mentale et de résolution de problèmes, nous avons calculé le temps d'exécution qui s'avère significativement plus rapide chez les enfants HP avec un profil de QI homogène (score de dégradation : $m=2.34$ E.T.) comparés aux enfants non-HP (score de dégradation : $m=1.54$ E.T.). Nous avons aussi observé que les enfants HP utilisaient significativement moins de mouvements et plus de coordination motrice qui s'accompagnent d'une planification mentale significativement plus rapide. De plus, la passation du test s'est accompagnée d'observations cliniques qui nous ont permis de constater que les enfants HP montraient de meilleures capacités d'apprentissage au fur et à mesure du déroulement du test. Ils semblaient plus créatifs dans la manière de résoudre le problème avec des stratégies de raisonnement analogique lorsque la difficulté de la tâche augmentait, alors que les situations problèmes étaient successivement similaires. De plus, l'épreuve de la tour de Londres a mis en évidence des capacités de mémoire de travail visuo-spatiale significativement meilleures chez les enfants HP.

Tout d'abord, rappelons que l'épreuve de la tour de Londres permet l'évaluation des capacités de résolution de problèmes avec une attention particulière sur les capacités de planification mentales. Par conséquent, au regard de nos résultats, les enfants HP semblent disposer de meilleures capacités de résolution de problèmes, de flexibilité cognitive et de planification mentale. Dans la littérature, différentes études sont en cohérence avec nos résultats. Par exemple, Tordjman et al. (2018) ont montré que même chez des enfants HP recrutés au CNAHP (260 enfants HP vs 105 enfants non-HP), il a été montré des scores significativement meilleurs au niveau de la flexibilité cognitive (TEA-Ch), soulignant de meilleures capacités à alterner entre deux processus cognitifs en fonction des tâches. De même, nos résultats sont en concordance avec l'étude comparative de Planche (2000a). L'auteur s'est intéressé aux enfants HP, âgés de 7 et 8 ans, comparés aux enfants tout-venant non HP à l'aide de la Tour d'Hanoï. Ce dispositif permet, de la même manière que la Tour de Londres, l'évaluation des capacités de résolution de problèmes. La méthodologie de l'étude de Planche (2000a) est détaillée dans la partie revue de littérature. Les résultats ont montré que les enfants HP, âgés de 7 ans, se distinguaient significativement de leurs pairs du même âge mental par leurs performances supérieures. Ils ont appris plus rapidement les meilleures stratégies de résolution de problèmes. De plus, il a été

précisé que les enfants HP âgés de 7 ans transféraient plus facilement les stratégies apprises à des problèmes similaires. À 8 ans, ils présentaient également des capacités d'apprentissage significativement supérieures à la moyenne des enfants du même âge mental, alors que ces derniers (âgés de 10 ans d'âge chronologique) mobilisaient une capacité de transfert aussi efficace que celle des enfants HP. L'auteur a conclu sur le traitement analogique qui est davantage adopté par les enfants HP lorsqu'ils doivent traiter successivement des situations similaires. Planche (2000a, b) a souligné de meilleures capacités métacognitives et créatives lors des apprentissages chez les enfants HP. De même, en cohérence avec nos résultats, l'étude de Swanson (1992) a également montré que les enfants HP (26 enfants HP (âge moyen : 11 ans ; $QI \geq 130$ au WISC-R ; recrutés dans un programme spécial HP), comparés aux autres groupes (âge moyen : 11 ans ; 38 enfants à QI moyen et 32 enfants à QI moyen faible ont été recrutés dans des classes régulières de l'école publique), utilisaient moins de mouvements pour résoudre des problèmes donnés, avec des schémas de coordination plus ciblés et plus efficaces. De plus, ils présentaient des connaissances métacognitives significativement plus élevées notamment au niveau du jugement des stratégies adoptées. Cette étude est en cohérence avec nos résultats, soulignant non seulement de meilleures capacités de planification et d'apprentissage, mais aussi un temps d'exécution et de mise en place de la stratégie mentale qui sont significativement plus rapides chez les enfants HP. De même, Renzulli (2006), s'intéressant aux styles de pensée chez l'enfant HP et en se basant sur son modèle théorique des trois anneaux (Renzulli, 1978), souligne la présence d'un niveau élevé de pensée abstraite, de fluidité et flexibilité, de capacités élevées de planification et originalité de la pensée. D'autres études ont montré des résultats similaires (Arffa, 2007 ; Chevalier, 2010 ; Gaspard et al., 2010 ; Urban & Comte, 2021 ; Vaivre-Douret, 2004). Ces résultats sont également en cohérence avec le modèle de Cuche (2014) qui avance l'idée d'association du HP à des habiletés développées et que l'on mesure (Cuche, 2014). Selon Cuche (2014) le HP couvre des fonctions cognitives notamment la planification mentale, la flexibilité cognitive, la vitesse de traitement, la perception et le langage qui se développent et deviennent significativement plus élevées chez les enfants HP.

Par ailleurs, nos résultats concernant les capacités de mémoire de travail visuo-spatiale, qui s'avèrent significativement meilleures chez les enfants HP, corroborent d'autres études qui sont en cohérence avec notre recherche montrant aussi de

meilleures capacités de mémoire de travail visuo-spatiale chez les enfants HP (Besançon et al., 2006 ; Bessou et al., 2005 ; Bucaille et al., 2020 ; Loureiro et al., 2009 ; Peyre et al., 2017 ; Revol & Bléandonu, 2012 ; Rodriguez-Naveiras et al., 2019 ; Urben & Comte, 2021 ; Viana-Saenz et al., 2020). Dans ce sens, l'étude canadienne de Berg et McDonald (2018) (expliquée plus en détail dans la partie revue de littérature) a montré, à l'aide des analyses de régression, que la mémoire de travail visuo-spatiale s'avère significativement meilleure chez les enfants HP, et constitue un élément important dans le modèle du HP, expliquant une contribution globale de 70 % de la variance totale du raisonnement visuo-spatiale. Au même titre que la mémoire de travail visuo-spatiale, rappelons que la mémoire de travail auditivo-verbale (IMT à la WISC-V^{FR}) est également meilleure chez les enfants HP comme nous l'avons expliquée plus haut. Nous pouvons alors expliquer notre résultat par de meilleures capacités d'encodage, d'inhibition et de contrôle exécutif de l'information visuelle et auditive chez les enfants HP de notre étude. En effet, selon différents modèles (Barkley, 1986 ; Harnishfeger & Bjorklund, 1994 ; Houdé, 2000 ; Norman & Shallice, 1980 ; Posner & Peterson, 1990) l'inhibition et le contrôle exécutif sont au cœur des fonctions exécutives en général et des processus de la mémoire de travail en particulier. Harnishfeger et Bjorklund (1994) ont aussi spéculé l'efficacité des fonctions inhibitrices dans l'intelligence étant en lien avec les différences individuelles dans le traitement cognitif.

Dans ce sens, de façon cohérente avec nos résultats, l'étude expérimentale de Davidson et Sternberg (1984) a confirmé l'existence de meilleures capacités d'encodage et d'inhibition de l'information dite non pertinente chez les enfants HP. Les auteurs se sont appuyés sur un échantillon de quarante enfants HP (recrutés dans un programme de jeunes talents) et quarante enfants non-HP (recrutés dans des écoles ordinaires), scolarisés en quatrième, cinquième et sixième. Les enfants devaient résoudre des problèmes de mathématiques verbales qui comprenaient à la fois des informations pertinentes et non pertinentes. Par exemple, dans le problème suivant : « Un agriculteur achète 100 animaux pour 100 \$. Les vaches coûtent 10 \$ chacune, les moutons 3 \$ chacun et les cochons 50 cents chacun. Combien a-t-il payé pour 5 vaches ? », la seule information pertinente est le coût d'une vache. Les résultats ont montré que les enfants non-HP pouvaient mieux résoudre les problèmes lorsque les informations pertinentes leur ont été signalées, tandis que les enfants HP ont significativement mieux réussi lorsque l'information pertinente leur a été signalée, mais

également lorsqu'ils devaient l'identifier eux-mêmes. Les auteurs ont ainsi suggéré que les enfants HP seraient significativement meilleurs pour distinguer les informations pertinentes des informations non pertinentes, et plus capables d'inhiber l'attention sur les informations non pertinentes.

Au niveau neurologique, l'étude espagnole de Desco et al. (2011) a montré que les enfants HP et non-HP montraient des activations significatives et similaires dans le réseau fronto-pariétal. En revanche, dans le groupe de sujets HP, les schémas d'activation étaient significativement bilatéraux et davantage dans l'hémisphère droit (Desco et al., 2011). Particulièrement lors de la tâche de tour de Londres dans l'étude de Desco et al., 2011, les enfants HP ont montré des activations significatives plus importantes par rapport aux témoins dans le pécunéus au niveau pariétal, le lobe occipital supérieur et le lobe temporal médial. Les auteurs ont conclu qu'une plus grande capacité de raisonnement, notamment dans le domaine des mathématiques impliquant des fonctions de planification mentale et de mémoire de travail visuo-spatiale, serait liée à des schémas d'activation plus bilatéraux. De plus, Desco et al. (2011) ont évoqué qu'une activation importante dans les régions pariétales et frontales des enfants HP serait associée à des compétences supérieures au niveau du traitement visuospatial et du raisonnement logique. L'ensemble de ces régions cérébrales fait, en effet, un circuit neuronal connu dans l'association de la mémoire de travail et dans les fonctions exécutives jouant un rôle important dans le raisonnement déductif (Knauff et al., 2002).

De même, l'étude espagnole que nous avons déjà détaillée (Navas-Sánchez et al., 2014) basées sur la technique TTD a montré des corrélats cérébraux sous-jacents aux meilleures capacités de planification mentale chez les enfants HP. Plus précisément, de manière cohérente avec nos résultats des autres registres détaillés plus haut, Navas-Sánchez et al. (2014) ont montré une connectivité significativement élevée au niveau des voies de la substance blanche reliant les lobes frontaux au cervelet, aux ganglions de la base et aux régions pariétales, ainsi qu'au niveau du corps calleux. De plus, ces résultats corroborent l'existence d'une conduction nerveuse qui serait significativement plus rapide chez les sujets ayant un QI élevé, soulignant une rapidité et efficacité (Vaivre-Douret, 2004) avec un taux de consommation de glucose significativement moindre au niveau cérébral devant des tâches cognitives (Barrett & Eysenck, 1992 ; Haier et al., 1988 ; Geake, 2008 ; Zhang et al., 2017). En effet, cela soutient les propos de Haier et al. (1988, 1992) soulignant

un métabolisme cérébral avec un coût énergétique moindre chez les enfants HP, particulièrement au niveau bilatéral du cortex frontal supérieur et du gyrus paracentral, cingulaire postérieur, putamen droit et gyrus paracentral, ainsi qu'au niveau du cingulaire antérieur (Haier et al., 1988, 1992).

Au-delà des capacités de planification mentale et de la mémoire visuo-spatiale à l'épreuve de la tour de Londres, nous allons aussi analyser les résultats obtenus aux épreuves visuo-spatiales/constructives motrices comme la figure de Rey et les cubes de Kohs afin de mieux comprendre le fonctionnement cognitif des enfants HP.

8.2. Capacités visuo-spatiales-constructives

Les résultats n'ont montré aucune différence au niveau des capacités visuo-spatiales-constructives au niveau de la figure de Rey. En revanche, les enfants HP avec un profil de QI homogène montrent des scores à l'épreuve des cubes de Kohs qui sont significativement meilleurs. Par conséquent, le profil de QI semble avoir un impact sur ce registre de fonctions avec de meilleures capacités visuo-spatiales-constructives chez les enfants HP ayant un QI homogène. Cela est en cohérence avec nos résultats portant sur le développement moteur en lien avec le profil du QI. Autrement dit, des corrélations significatives ont été déterminées entre l'IVS, l'IVT, la coordination dans les activités de la vie quotidienne, les jeux et les activités scolaires et le QI homogène. De plus, l'IVS est significativement prédit par les performances aux cubes de Kohs ($p < 0.001$) et la figure de Rey ($p < 0.001$). L'IRF et l'IMT sont significativement prédits par les performances à la figure de Rey (respectivement $p < 0.001$; $p = 0.003$). Cela souligne le lien important entre le niveau d'intelligence élevé tel qu'il est connu chez les enfants HP et les capacités visuo-spatio-constructives qui ont objectivement un impact direct sur les indices du QI. L'examen clinique devrait alors prendre en compte tous ces éléments d'analyses pour mieux comprendre le profil d'efficacité de l'enfant. Les enfants HP avec un profil de QI homogène semblent disposer de meilleures capacités visuo-spatiales-constructives, leur permettant une meilleure planification des mouvements et d'organisation spatiale dans la vie quotidienne, ce qui rejoint nos résultats sur les meilleures performances pratiques retrouvées dans nos résultats. Ces derniers apportent un éclairage important quant à la spécificité des capacités visuo-spatiales/constructives chez l'enfant HP, particulièrement chez les enfants HP avec un profil de QI homogène. De plus, les

différences significatives présentes à l'épreuve des cubes de Kohs, mais pas à l'épreuve de la figure de Rey soulignent la dépendance au type de l'épreuve. En effet, Planche et Gicquel (2000) ainsi que Corbin et al. (2012) ont déjà montré que les performances supérieures des enfants HP peuvent dépendre du type de l'épreuve. Au niveau développemental, ces résultats corroborent l'étude rétrospective développementale de Vaivre-Douret (2004) qui a montré des capacités visuo-spatiales motrices significativement meilleures chez les enfants HP. L'auteur a évoqué une acquisition précoce des notions basiques de la structuration spatiale et temporelle (2 ans 4 mois \pm 2 mois en moyenne), développement précoce de l'intelligence sensorimotrice (0–24 mois ; d'au moins deux mois d'avance en moyenne), acquisition rapide des capacités visuo-perceptives et visuo-spatiales (encastrement complexes) avec un balayage oculomoteur rapide, ce qui rejoint aussi nos résultats d'enregistrement oculomoteur. Nous constatons que les études sur des enfants HP tout-venant qui se sont intéressées aux capacités visuo-spatio-constructives restent rares.

8.3. Capacités attentionnelles

Au niveau attentionnel, les résultats montrent l'absence de différences significatives entre les enfants HP et non-HP de notre échantillon que ce soit pour l'attention auditive sélective ou soutenue. Bien que la différence ne soit pas significative, les enfants HP ayant un profil de QI homogène ont tendance à montrer des performances attentionnelles meilleures par rapport aux enfants HP ayant un profil de QI hétérogène. De manière cohérente avec nos résultats, l'étude transversale belge de Loureiro et al. (2009) a retrouvé des résultats similaires, montrant que les enfants HP (WISC-III) au QI homogène possédaient des capacités attentionnelles meilleures par rapport aux enfants HP présentant un profil intellectuel hétérogène. Autrement dit, le groupe d'enfants HP avec un QI homogène dispose de meilleures capacités pour mobiliser des capacités attentionnelles dans la norme, comparés aux enfants HP avec un QI hétérogène (Loureiro et al., 2009). Les auteurs ont utilisé le test d'évaluation de l'attention chez l'enfant (TEA-CH) et le bilan neuropsychologique de l'enfant (NEPSY) pour évaluer les capacités d'attention sélective auditive et visuelle, l'attention soutenue auditive et visuelle et l'attention divisée auditive-auditive et auditive visuelle. Loureiro et al. (2009) ont analysé leurs résultats au regard des critères du DSM-5 du TDAH. Ils

ont montré que les enfants HP répondant aux critères caractéristiques du TDAH auraient un profil neuropsychologique spécifique, avec un écart important entre les indices (≥ 20 points à l'échelle d'intelligence de Wechsler pour les enfants : WISC-III ; Wechsler, 1996), comparés aux enfants HP sans TDAH.

À contrario, d'autres études sont contradictoires avec nos résultats : De façon générale, à partir des différentes théories cognitives de l'attention et fonctions exécutives (De Jong & Das-Small, 1990 ; Posner & Boise, 1971 ; Sturm & Zimmermann, 2000) et de l'intelligence (Carroll, 1993 ; Piaget, 1952), Schweizer et al. (2005) ont montré qu'un facteur commun, constitué à la fois de l'attention du premier ordre (perception de l'information) et de l'attention du deuxième ordre (impliquant l'attention soutenue et les fonctions exécutives), est le meilleur prédicteur du niveau d'intelligence. Plus l'intelligence est élevée, meilleures sont les capacités attentionnelles selon le modèle de Schweizer et al. (2005). Par conséquent, les capacités attentionnelles devraient être significativement meilleures chez les enfants ayant une intelligence supérieure à la norme (HP). Or, nos résultats ne montrent pas de différence, ce qui pourrait être lié au test utilisé pouvant être jugé comme épreuve peu stimulante pour les enfants HP, comme nous l'avons noté à l'aide des observations cliniques. Les observations cliniques de Vaivre-Douret (2004) (étude longitudinale rétrospective ; n=60 enfants HP) soulignent aussi que les enfants HP aiment les activités non-routinières et les jeux compliqués.

Tordjman et al. (2018) évoquent également l'effet de l'environnement et du type d'épreuve sur les performances attentionnelles des enfants HP. En effet, dans son apport de la recherche clinique des excellentes capacités attentionnelles chez les enfants HP aux tests psychométriques contrairement à ce que les parents apportent. Dans leur étude comparative menée au Centre National d'Aide pour enfants et adolescents HP en France (CNAHP), Tordjman et al. (2018) se sont intéressés à l'analyse des résultats du test neuropsychologique d'attention (TEA-Ch) auprès d'un groupe d'enfants HP (WISC-IV ; Wechsler, 2005) (n=105) comparé à un groupe d'enfants non-HP (n=260). Tous les enfants (HP et non-HP) accueillis au CNAHP sont, a priori, en difficulté, notamment scolaire. Cependant, les résultats ont montré une préservation des capacités attentionnelles chez les enfants HP, voire même des performances significativement supérieures à celles des enfants non-HP (Tordjman et al., 2018). Ces meilleurs scores concernaient la flexibilité attentionnelle, qui consiste en la capacité à alterner entre deux processus cognitifs en fonction des tâches,

l'attention divisée, et l'attention soutenue. Les auteurs ont néanmoins nuancé la différence entre une situation de passation individuelle liée au test neuropsychologique du TEA-CH, qui pourrait représenter une stimulation pour les enfants HP en particulier et la situation à l'école qui est plutôt un apprentissage de groupe où les enjeux sont différents. Ainsi, selon Tordjman et al. (2018), si ces résultats ne peuvent être généralisés sur les enfants HP en situation scolaire, ils soulignent néanmoins les capacités attentionnelles excellentes chez les enfants HP, qui sont particulièrement influencées par l'environnement (Tordjman et al., 2018). L'étude de Schweizer et al. (2005) a également montré des différences significatives liées aux capacités attentionnelles entre les individus ayant un QI élevé et ceux ayant un QI plus faible. Les auteurs ont évalué différents types d'attention (la vigilance, l'attention soutenue, l'attention focalisée visuelle, la commutation attentionnelle, l'attention divisée, l'inhibition, l'attention spatiale, la planification, et la gestion de l'interférence). Les résultats ont montré que chaque type d'attention était significativement et positivement liée à l'intelligence, et un degré élevé de chevauchement dans la prédiction de l'intelligence a été observé pour les différents types d'attention (Schweizer et al., 2005). Dans notre étude cet effet est significativement valable uniquement pour l'attention focalisée visuelle sélective à l'épreuve de barrage linéaire des O, étant significativement meilleure chez les enfants HP ($p=0.01$).

Selon nos résultats d'investigation pluridisciplinaire notamment à l'aide de l'Eye-Tracking, cela pourrait être plutôt lié aux capacités neurovisuelles en lien avec le développement cérébral précoce particulièrement des structures corticales et sous-corticales. Ainsi, les enfants HP se distingueraient par de meilleures performances de discrimination visuelle et d'attention visuo-spatiale sélective. Il est donc possible que l'attention des enfants HP se traduise mieux sur une forme visuelle qu'auditive. Cela souligne que les performances supérieures des enfants HP par rapport aux non-HP seraient liées au type de l'épreuve. Cette interprétation est en cohérence avec les études de Planche (1996, 2008), Planche et Gicquel (2000), montrant que les performances supérieures des enfants HP dépendent du type d'épreuve. Ce que nous avons retrouvé dans les différents registres cognitifs de notre investigation pluridisciplinaire. Ainsi, le développement des enfants HP suivrait une multitude de trajectoires et de stratégies (attention visuelle plutôt qu'auditive par exemple) par lesquelles ils peuvent passer pour arriver au même résultat. Au niveau clinique, les observations apportées par l'étude longitudinale rétrospective de Vaivre-Douret (2004)

sur des enfants HP (n=60) soulignent de manière cohérente avec nos résultats la caractéristique d'attention et de perception visuelle performante repérée chez ces enfants, en les décrivant par « l'œil de lynx ». Par ailleurs, Tordjman et al. (2018) ont attiré l'attention des cliniciens sur l'impact de l'environnement (stimulant ou non) sur les capacités attentionnelles des enfants HP. Les résultats liés aux épreuves d'attention montrent une dysharmonie au niveau du développement cognitif des enfants HP qui est atypique et caractérisé par des irrégularités et des spécificités et non pas uniquement par la vitesse. Cela est en cohérence avec les études de Gagné (1985) Lautrey (2003), Sternberg (1988), Planche (1996, 1997, 2008), Sternberg et al. (2003) soulignant un développement atypique chez les enfants HP suivant différentes stratégies et trajectoires. Nos interprétations s'inscrivent dans le cadre de la théorie de Planche (2008) proposant un modèle pluridimensionnel remettant en cause le modèle linéaire de Piaget. En effet, Planche (2008) soutient l'idée que le développement de l'intelligence chez les enfants HP ne peut s'expliquer que par une avance du rythme développemental, mais par d'autres caractéristiques spécifiques, notamment cognitives. Notre étude est aussi en cohérence avec les travaux de Brown (1973), Little (1972), Planche (1997, 1998, 2000a, b, 2005), Webb (1974), qui défendent l'idée d'un développement cognitif atypique chez l'enfant HP. Ce développement serait spécifique, inter-corrélé avec le développement moteur et langagier, et caractérisé par une spécificité du fonctionnement d'un point de vue neuro-développemental selon nos résultats et comme relaté dans les travaux de Vaivre-Douret (2004, 2010, 2011a, 2019). Tout ceci apparaît en discordance avec les travaux de Bjorklund et al. (1994), Bornstein et Sigman (1985, 1986), Cohn et al. (1985), Piaget (1947, 1952) défendant l'idée d'un développement typique et simplement précoce.

Au-delà des caractéristiques cognitives et neuropsychomotrices des enfants HP que nous avons explorées, la question de spécificité du développement des enfants HP doit prendre en compte le champ des caractéristiques psycho-affectives. Pour mieux comprendre ce domaine en lien avec les autres phénotypes retrouvés, nous allons confronter les résultats du développement psychoaffectif à la qualité d'attachement chez les enfants HP tout-venant, en comparaison avec les enfants non-HP.

9. Caractéristiques psycho-socio-affectives des enfants HP comparés aux enfants non-HP

9.1. Hypersensibilité et Intelligence émotionnelle

De prime abord, il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP concernant les données d'anamnèse liées au développement psycho-affectif. Rappelons que les données du développement psycho-affectif étaient requises de façon rétrospective à différents âges (de la naissance à 3 mois, de 3-6 mois, les premières années de la vie extra-utérine, à l'âge préscolaire, etc.) et concernaient différents axes conformément aux critères cliniques des troubles neurodéveloppementaux du DSM-5 (APA, 2013) (Annexe 5). En revanche, au niveau de la perception des parents du comportement de leurs enfants, il existe des différences significatives non liées au profil du QI (homogène/hétérogène). En effet, selon les parents, les enfants HP seraient significativement plus sensibles au niveau émotionnel, réagissent significativement plus vivement à la frustration, et imposent significativement mieux leur présence. De plus, les parents des enfants HP se jugent significativement plus exigeants que les parents des enfants non-HP. Au niveau clinique, les tests standardisés et normés ne montrent aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène) concernant l'hypersensibilité (R-CMAS), la reconnaissance des affects et la théorie de l'esprit (NEPSY-II). En ce qui concerne le quotient empathique (QE), il n'existe aucune différence significative entre les deux groupes d'enfants HP et non-HP. De même pour le quotient autistique (AQ). Si nous analysons les résultats de ces différents tests et questionnaires au regard des indices du QI, nous constatons qu'il existe dans tout l'échantillon (HP et non-HP) des associations significatives et positives plutôt entre l'indice visuo-spatial (IVS) et la capacité à s'adapter à de nouvelles personnes, l'indice de vitesse de traitement (IVT) et la capacité à comprendre l'humour.

Au même titre que certaines études de la littérature (Brasseur & Grégoire, 2010 ; Guénolet et al., 2013 ; Liratni & Pry, 2011), notre résultat nous amène à infirmer d'emblée l'existence d'une éventuelle association significative entre HP et « hypersensibilité », empathie supérieure, intelligence émotionnelle supérieure ou ce que certains auteurs appelleraient le Haut Potentiel Émotionnel (HPE) et distingueraient du HP « intellectuel, (HPI) » (Gibert & Dumay, 2018 ; Poivilliers, 2019).

Cependant, Gibert et Dumay (2018) ainsi que Poivilliers (2019) sont en réalité des idéologies théoriques sans validation scientifique. D'autres études, de façon contradictoire avec nos résultats, confirment (souvent à l'aide des auto-questionnaires uniquement) une intelligence émotionnelle significativement supérieure chez les enfants HP qui serait expliquée par l'hypersensibilité selon différents auteurs tels que Andreani et Pagnin (1993), Field et al. (1998), Hay et al. (2007), Mouchiroud (2004), Wood et Laycraft (2020). Les propos de ces derniers ne peuvent être généralisés sur tous les enfants HP tout-venant, car d'un côté l'échantillon est souvent recruté dans des consultations, d'un autre côté, l'évaluation du registre émotionnel restent très souvent subjective étant basée uniquement sur des auto-questionnaires sans étayage clinique ni tests standardisés et normés contrairement à notre étude.

L'étude comparative franco-belge (Brasseur & Grégoire, 2010) s'est basée « Trait Emotional Intelligence Questionnaire : TEIQue » de Petrides et Furnham (2001), auprès de 90 individus HP recrutés dans un programmes de jeunes talents ($QI \geq 125$ aux échelles de Wechsler, comparés à 90 jeunes neurotypiques (matrice de Raven). De manière cohérente avec nos résultats, Brasseur et Grégoire (2010) ont infirmé les différences significatives entre les enfants HP et non-HP au niveau de l'intelligence émotionnelle et/ou de l'hypersensibilité. En revanche, il s'avère dans notre étude que la perception des parents d'enfants HP est significativement plus importante que les parents d'enfants non-HP concernant la sensibilité affective et de certains comportements comme imposer sa présence et réagir vivement à la frustration. Cette perception que l'on peut retrouver même dans un environnement plus large que la famille peut s'expliquer par le niveau très supérieur des capacités verbales des enfants HP. D'ailleurs, nous remarquons souvent à l'entretien clinique que l'enfant HP va faire appel à un vocabulaire très riche par rapport à l'âge, ce qui donne une impression de décrire certaines situations émotionnelles de manière exagérée. Or, lorsque nous affinons l'entretien et nous analysons ces éléments au regard d'autres indices provenant d'autres évaluations nous constatons que l'enfant ne vit pas forcément la situation de manière exagérée, mais la décrit avec un niveau supérieur à ce qui pourrait être attendu pour son âge. De plus, il est aussi possible que ce soit l'environnement qui n'interagit pas de manière adéquate avec l'enfant HP qui dispose d'un raisonnement très rapide en lui expliquant par exemple des détails évidents pour lui et en lui proposant des tâches « trop faciles ». C'est pourquoi d'ailleurs des mesures d'enseignement adaptés ont été prises pour favoriser l'éducation nationale des enfants

HP (Décret n° 2012-222 du 15 février 2012 ; Vrignaud, 2012). De façon cohérente avec nos interprétations, Tordjman et al. (2007) incitent les cliniciens à faire très attention à ne pas juger très vite sur des biais de représentativité principalement liés à l'environnement, qui peut influencer le développement de l'enfant comme cela a été évoqué dans différentes études (Bildiren & Kargin, 2019 ; Brigandi et al., 2018 ; Cuche, 2014 ; Diezmann & Walters, 1997 ; Heller & Perleth, 2008 ; Lecompte et al., 2014 ; Speranza & Valeri, 2010 ; Terman, 1925 ; Tordjman et al., 2018 ; Tursz & Vaivre-Douret, 1999, Vaivre-Douret & Tursz, 1999 ; Vaivre-Douret, 1999b, 2004, 2020 ; Vaivre-Douret & Hamdioui, 2021).

Nos résultats corroborent l'étude de Vaivre-Douret et Planche (2020), car de façon cohérente, nous avons aussi retrouvé des associations significatives et positives entre l'IVS et la capacité à s'adapter à de nouvelles personnes, l'IVT et la capacité à comprendre l'humour chez tous les enfants qu'ils soient HP ou non. D'une part, ceci souligne que les capacités perceptives sous-tendues par l'IVS sont impliquées dans la capacité d'adaptation à autrui dans les contextes d'interaction sociale. D'autre part, cela met en exergue une fois de plus l'intérêt de l'analyse approfondie des profils de QI, en portant une attention à chaque indice, au regard des données anamnestiques développementales. Ceci va dans le sens de la littérature (Boschi et al., 2016 ; De Lassalle et al., 2021 ; Guérolé et al., 2015 ; Loureiro et al., 2009 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020 ; Weismann-Arcache, 2006). Ainsi, les capacités d'adaptation et d'ajustement social ne seraient donc pas directement liées au HP, mais plutôt à la typologie du profil de QI. Il est alors très important de noter que les enfants HP peuvent aussi montrer des troubles d'adaptation sociale comme tout autre enfant, comme déjà évoqué par De Lassalle et al. (2021). Cela nous amène à nous poser la question sur d'autres caractéristiques relevant du champ de la psychopathologie telles que l'anxiété et la dépression afin de voir s'ils forment une caractéristique trait de l'enfant HP ou peuvent concerner l'enfant HP comme tout autre enfant. Pour répondre à cette question nous allons analyser les résultats obtenus aux questionnaires standardisés et normés sur l'anxiété et la dépression pour enfant qui ont été étayés par un entretien clinique pour chaque enfant de notre échantillon.

À l'inverse, Habib (2016) associe systématiquement l'hypersensibilité au Haut Potentiel en évoquant « les enfants doublement différents ». De plus, Habib (2016) s'appuie sur l'observation des enfants HP consultants issus notamment de sa pratique clinique pour suggérer l'hypothèse que le HP serait une entité des troubles

neurodéveloppementaux. Cela apparaît en discordance avec notre étude, et pointe encore une fois le biais de représentativité lié aux lieux de recrutement des enfants HP.

9.2. Les enfants HP tout-venant sont-ils caractérisés par une anxiété trait et dépression par rapport aux enfants non-HP ?

Le questionnaire de dépression pour enfant (MDI-C) ne montre aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène). En revanche, les sous-scores d'anxiété ($r=0.41$, $p<0.001$) et faible estime de soi ($r=0.55$, $p=0.03$) sont significativement et positivement corrélés avec l'hétérogénéité de profil de QI. Au niveau de l'anxiété, les scores au questionnaire R-CMAS ne sont pas significativement différents entre les enfants HP et non-HP. En revanche, il existe des corrélations significatives entre l'indice de compréhension verbale (ICV) et le score total de l'anxiété, avec les sous-échelles du R-CMAS notamment l'hypersensibilité, la préoccupation sociale, et l'item mensonges. Ainsi, l'hétérogénéité de profil est également significativement liée à l'anxiété. De plus, dans notre échantillon d'enfants HP et non-HP avec TDC (sans différence significative entre QI homogène et hétérogène), l'hétérogénéité du profil psychométrique s'avère significativement liée à des spécificités psychoaffectives notamment l'anxiété de séparation, avoir des difficultés de gestion émotionnelle, tendance à l'isolement, et avoir plus besoin de la présence des parents lors des devoirs et des jeux.

Tout d'abord nos résultats montrent que dans une population d'enfants HP tout-venant, la dépression n'est pas un trait caractéristique. Cependant, l'hétérogénéité du profil de QI que ce soit chez les enfants HP ou non-HP s'avère un indicateur important à examiner sur la symptomatologie de dépression, particulièrement au niveau de l'estime de soi et de l'anxiété. Ce qui corrobore les résultats de l'étude de Vaivre-Douret (2019), montrant que les scores de l'estime de soi et de l'anxiété s'avèrent des indicateurs importants dans les profils de QI très hétérogènes. De même, l'étude de Vaivre-Douret et Planche (2020), que nous avons détaillée au-dessus, a également montré, à l'aide de l'échelle MDI-C, qu'il n'existe aucune différence significative entre les enfants HP et non-HP, mais les scores étaient plus élevés dans le groupe d'enfants HP avec un QI très hétérogène, notamment au niveau de l'humeur triste et l'anxiété. D'autres études telles que celle de Bénony et al. (2007) (expliquée dans la partie revue

de littérature) a également montré que la dépression chez les enfants HP, comme chez tout autre enfant, serait liée à des troubles non diagnostiqués et/ou des difficultés scolaires et se manifesterait particulièrement au niveau de l'estime de soi et de l'anxiété. Dans ce sens, l'étude de Vaivre-Douret et Hamdioui (2021), s'est basée sur un échantillon d'enfants HP (QI \geq 130 au WISC-IV ; n=438) recrutés dans l'association nationale ANPEIP, sur les mêmes données de l'étude de Vaivre-Douret (2019), afin de mieux comprendre les facteurs protecteurs et les facteurs de vulnérabilité sous-jacents à la dépression chez la population d'enfants HP. Les résultats de l'étude de Douret et Hamdioui (2021) ont mis en évidence cinq facteurs significativement prédictifs de la dépression, expliquant ainsi 62,96 % de la variance totale : Facteur-1 (14,53 %) « *trouble de la motricité* » ; facteur-2 (14,04 %) « *relations familiales* » ; facteur-3 (14,02 %) « *relations sociales avec les pairs* » ; facteur-4 (11,23 %) « *intégration des codes sociaux* » ; Facteur-5 (10,1 %) « *Troubles d'apprentissages* ». Les facteurs « *trouble de la motricité* » et « *troubles d'apprentissages* » sont considérés comme des facteurs de risque de la dépression chez l'enfant HP, particulièrement lorsque ces troubles ne sont pas identifiés et donc pas pris en charge. Les facteurs « *relations familiales* », « *relations sociales avec les pairs* », et « *intégration des codes sociaux* » sont en revanche des facteurs dits protecteurs. Autrement dit, l'enfant HP qui dispose d'une bonne intégration des codes sociaux et qui se développe dans un environnement favorable, lui permettant de créer de bonnes relations avec sa famille et avec ses pairs, se caractériserait par des facteurs dits protecteurs de la dépression.

À l'inverse de notre étude, Karpinski et al. (2018) ont évoqué que le QI élevé chez les enfants HP serait un facteur de risque de troubles notamment psychopathologiques, particulièrement la dépression. Cependant, cette étude s'inscrit sur la théorie « *d'Overexcitabilités* » de Dabrowski (1964) qui reste une idéologie théorique sans validation scientifique. De plus, les participants ont été invités à déclarer eux-mêmes, de façon subjective, la prévalence des troubles de l'humeur et de l'anxiété diagnostiqués et/ou suspectés, mais également des troubles neurodéveloppementaux (TDAH, TSA) sans examens complémentaires. Enfin, le niveau d'intelligence de tous les participants a été évalué à l'aide de différents tests psychométriques, mais les auteurs n'ont pas explicité le type d'évaluation. Ce qui ne permet pas de généraliser les résultats de l'étude de Karpinski et al. (2018) considérant que le QI élevé serait un facteur de risque de dépression. D'autres études (Alesi et al.,

2015 ; Bénony et al., 2007 ; Karande et al., 2008 ; Mueller & Winsor, 2018) montrent aussi des résultats contradictoires avec nos résultats, car elles contiennent souvent des biais méthodologiques liés principalement aux lieux de recrutement et à l'utilisation de questionnaire isolé ou étant basé uniquement sur des idéologies théoriques notamment de Terrassier et/ou de l'hypersensibilité sans validation empirique.

Au niveau de l'anxiété, nous pouvons attester par nos analyses que l'anxiété n'est pas un trait de personnalité systématique chez les enfants HP. De plus, la symptomatologie d'anxiété, notamment l'hypersensibilité, la préoccupation sociale, et l'item « mensonges » serait plutôt liés à la typologie de profil du QI (hétérogénéité) et non pas au HP. Dans ce sens, l'étude de Guérolé et al. (2013, 2015) a montré que même lorsque les enfants HP sont en difficultés scolaires et sociales, le HP ne constitue pas un facteur de vulnérabilité chez eux. En effet, l'étude de Guérolé et al. (2013) est une étude transversale menée sur un échantillon de cent-onze enfants HP ($QI \geq 130$; WISC-III), âgés de huit à douze ans, recrutés en consultations à l'hôpital de Bron, France, dans le service de psychopathologie d'enfants et d'adolescents et aux cabinets de consultations psychologiques à Lyon. Tous les enfants avaient, comme motif de consultation, des difficultés scolaires et sociales. Ces derniers n'avaient aucun trouble mental ni de dépression (CIM-10 et CDRS-R). Tous les enfants ont rempli l'échelle d'anxiété (R-CMAS ; Reynolds et al., 1999). Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre le groupe d'enfants HP et les normes du questionnaire que ce soit pour le score global ou pour les sous-scores. Ces résultats, au même titre que les nôtres, apportent un éclairage quant à la généralisation de l'anxiété comme trait systématique chez les enfants HP. En revanche, notre étude (Vaivre-Douret & Hamdioui, 2021) sur les enfants avec TDC a montré que l'hétérogénéité du profil psychométrique s'avère significativement liée à des spécificités psychoaffectives, notamment l'anxiété de séparation, avoir des difficultés de gestion émotionnelle, tendance à l'isolement, et avoir plus besoin de la présence des parents lors des devoirs et des jeux. Cette hétérogénéité est significativement corrélée aux symptômes du DSM-5 de TDC, alors qu'il n'existe aucune différence significative entre enfants non-HP et HP tout-venant. Dans la littérature, de façon cohérente avec nos résultats, l'existence de spécificités psychoaffectives, à savoir l'anxiété, besoin majeure de la présence des parents, réaction forte à la frustration, et difficultés d'interactions sociales, notamment l'introversión, et la tendance à l'isolement, ont été rapportées chez les patients avec TDC dans d'autres études comme celle de Schoemaker et

Kalverboer (1994). Ce qui explique que ces symptômes pouvant s'inscrire dans un tableau clinique de dépression pourraient renseigner sur des éventuelles difficultés et/ou troubles que ce soient chez les enfants HP ou non. Ces caractéristiques psychoaffectives sont à prendre en compte par les cliniciens particulièrement dans le pronostic. D'ailleurs, différentes études montrent que la présence de ces comorbidités pédopsychiatriques aggrave la qualité de vie du patient et peuvent conduire à la dépression et à une tentative suicidaire (Poulsen et al., 2008). À noter que dans l'étude de Vaivre-Douret (2019), sur des enfants HP présentant une dépression en lien avec des troubles d'apprentissage, a montré qu'ils présentent un taux de risques suicidaires qui est très important soit 21%.

Ainsi, l'explication de la relation entre le TDC et les difficultés d'interactions sociales et psychoaffectives réside dans le fait que ces enfants avec TDC sont affectés psychologiquement par leurs mauvaises performances motrices, ce qui impacterait leurs apprentissages et leur développement psychosocial (Vaivre-Douret & Hamdioui, 2021). Une étude s'intéressant à la perspective clinique des TDC a déjà attiré l'attention des cliniciens sur l'importance de l'évaluation pluridisciplinaire et intégrative, engageant tout praticien à considérer la démarche diagnostique et le projet de prise en charge de l'enfant au regard de son fonctionnement global/singulier et de sa trajectoire développementale (Magnat et al., 2015). Les corrélations significatives entre l'ICV et le score total de l'anxiété que nous avons montrées dans tous nos échantillons ont été également retrouvées et expliquées par Tordjman et al. (2018) : « *Un Haut Potentiel Verbal (ICV \geq 130) peut susciter des représentations anxiogènes, tout comme des troubles anxieux pouvant entraîner un surinvestissement défensif du langage verbal* ». Toutefois, les auteurs recommandent des investigations approfondies afin d'éviter toutes relations de causalités linéaires. En effet, ces liens entre ICV et anxiété peuvent être expliqués par un surinvestissement défensif du langage verbal, mais aussi par un lien souvent retrouvé entre l'ICV très élevé et le profil de QI très hétérogène, qui est lui-même souvent révélateur d'un trouble. À l'inverse de nos résultats, d'autres études comme celle de Wood et Laycraft (2020), Dabrowski (1996), Piechowski et al. (1985), Guignard et Zenasni (2004) ont conclu sur une caractéristique significative majeure qui est l'hypersensibilité émotionnelle et l'anxiété chez les enfants HP. Cependant, la quasi-totalité de ces études contiennent des biais méthodologiques, particulièrement les lieux de recrutements des participants HP et l'utilisation d'un questionnaire isolé sans évaluations standardisées et cliniques

pluridisciplinaires, ce qui ne permet pas de généraliser leurs résultats. Ces caractéristiques d'hypersensibilité, d'anxiété, de dépression et de difficultés de régulation émotionnelle, que Müller et Kury (2013) considèrent comme étant un envahissement affectif, et que Terrassier (2020) considère comme une dysynchronie de développement, seraient, selon nous, une caractéristique spécifique aux enfants ayant un profil de QI très hétérogène avec des difficultés sociales au quotidien. Cette interprétation est en concordance avec les études de Boschi et al. (2016), Loureiro et al. (2010), Vaivre-Douret & Planche (2020) que nous avons détaillées au fur et à mesure de ce manuscrit. Cela devrait alors interpeller les cliniciens car les enfants HP consultant ont souvent un profil hétérogène avec ICV élevé au détriment des autres indices. Cet indice s'avère significativement lié à l'anxiété et ce dernier répond à des troubles sous-jacents. D'autres études montrent des résultats similaires telle que l'étude de Tordjman et al. (2018) qui a montré environ 40 % de troubles anxieux en lien significatif avec un ICV élevé et un IRP faible au WISC-IV. Ce qui réconforte notre idée.

Au-delà des caractéristiques psycho-affectives, nous nous sommes intéressés à la trajectoire développementale psycho-affective des enfants HP afin de comprendre les mécanismes sous-jacents mis en jeu.

9.3. L'attachement chez les enfants HP comparés aux enfants non-HP

En premier lieu, nos résultats montrent que les scores totaux au questionnaire de l'attachement sécure sont significativement liés avec certaines données anamnestiques (dans tout l'échantillon : enfants HP et non-HP sans différence significative) : s'adapte facilement à des nouvelles personnes ($p=0.03$), absence d'anxiété de séparation ($p=0.04$), absence de tendance à l'isolement ($p=0.01$), présence des parents lors des devoirs, des jeux et lors du bain ou de sorties lors des premières années de la vie ($p=0.02$). De plus, alors que nous n'avons obtenu aucune association significative avec le mode de garde à l'âge de 0-2 mois ($p=0.22$), il existe une association significative et positive dans l'ensemble de l'échantillon (HP et non-HP) entre le score total de l'attachement et le mode de garde stable et continu (un ou deux parents) entre 3 et 12 mois ($p=0.009$), entre 1-4 ans ($p=0.02$), entre 4-6 ans ($p=0.004$). Par ailleurs, une différence significative a été montrée entre les enfants

qui ont été allaités au sein et ceux allaités au biberon dans tout l'échantillon (HP et non-HP), sans différence significative entre les deux groupes, concernant l'attachement. En effet les enfants qui ont été allaités au sein montraient un attachement significativement stable ($p=0.009$). Toutefois, le mode d'allaitement au biberon s'avère significativement lié au mode de garde variable (nourrice, mère, crèche, baby-sitter) entre 3 et 12 mois ($p=0.01$). Enfin, nous notons un score d'intégration de l'attachement résolu au questionnaire qui est significativement plus élevé chez les enfants HP âgés de 7 à 10 ans comparés aux enfants non-HP du même âge. En revanche, les scores atteints chez les deux groupes à l'âge de 11-13 ans sont similaires (figure 63). Le score de l'attachement résolu chez les enfants HP reste stable à l'adolescence (11-13 ans).

Tout d'abord, de façon générale sans différence significative entre les enfants HP et non-HP, nos résultats corroborent la théorie de l'attachement de Bowlby (1958) qui s'appliquerait, selon nos résultats, de façon similaire aux enfants HP et non-HP. Rappelons que la théorie de Bowlby (1958) postule sur le fait que les bases relationnelles de chacun se forment à partir de la petite enfance. Dans notre étude cela commencent à se forger à partir de l'âge de 3 mois. Cet âge est connu pour la période à laquelle l'enfant devient une entité psychologique distincte, où l'enfant différencie ce qu'il sent à l'intérieur de lui et ce qu'il voit à l'extérieur (stade de l'objet libidinal selon Bolzinger & Spitz, 1981). Spitz a d'ailleurs mis en exergue les trois organisateurs psychiques du développement psycho-affectif de l'enfant : le sourire (apparaît vers le troisième mois de la vie en réponse au visage), l'angoisse (8 mois en présence d'une personne étrangère) et le non (15 mois, l'enfant apprend à s'obstiner faisant un pas vers la commination). Cela constitue le précurseur de l'objet libidinal permettant à l'enfant de développer ses relations affectives avec la figure d'attachement. Cet attachement sécurisé (introduit par Ainsworth, 1978 et repris par de nombreux psychiatres ; comme définit dans notre revue de question) dans notre échantillon sans différence significative entre les enfants HP et non-HP souligne un développement psycho-socio-affectif équilibré. Cela révèle une mise en place d'une réponse instinctive offrant des soins physiques et affectifs pour protéger l'enfant de manière cohérente et continue (*caregiver*) durant la première année de vie (Bowlby, 1958). Comme nous l'avons expliqué dans la partie de la revue de littérature, cela se fait à travers cinq réponses comportementales principales : *sucer*, *attraper*, *suivre*, *pleurer*, et *sourire*. Ces comportements sont intégrés chez le bébé pendant la première

année de vie donnant naissance au « *comportement d'attachement* » (Bowlby, 1958). Ainsi le lien d'attachement s'élabore dans la durée, la disponibilité de la figure d'attachement, et la qualité des soins reçus par l'enfant. Cela s'inscrit selon Melges et Bowlby (1969) dans « *l'histoire d'interaction* ». Le bébé devient alors capable de se référer au lien émotionnel qu'il développe d'abord avec sa figure d'attachement dite primaire (Melges et Bowlby, 1969). Ensuite, il devient capable de générer une hiérarchie de différentes figures d'attachement en fonction de l'importance qu'il accordera à chacune dans un contexte d'interaction (Melges et Bowlby, 1969).

De même, nos résultats corroborent la littérature affirmant qu'un attachement sécure au cours du développement précoce chez l'enfant, permet de développer « *la confiance épistémique* » qui se définit comme la capacité à considérer une nouvelle information pertinente pour soi et généralisable à différents contextes sociaux (Fonagy & Allison, 2014), l'apprentissage des nouvelles connaissances dans la communication interpersonnelle et les interactions sociales (Speranza & Debbané, 2021). En effet, comme expliqué dans la littérature, grâce à des réponses parentales caractérisées par la contingence et la congruence qui se déploient lors des interactions précoces, l'enfant apprend, au cours de son développement, à différencier et à réguler les expériences émotionnelles. Ceci lui permet ensuite de construire des schémas mentaux stables de soi et d'autrui. Ces schémas permettent à l'enfant de gérer les interactions sociales et de juger avec pertinence les informations dites « *dignes de confiance* », qui sont donc pertinentes pour soi et généralisables aux autres situations socio-émotionnelles (Speranza & Debbané, 2021). A l'inverse, l'attachement insécure, ambivalent et désorganisé tels que dans des situations de maltraitance ou de négligence, ne permet pas de développer la confiance épistémique. Ainsi, l'enfant ne parvient pas à engager un processus d'apprentissage socio-émotionnel favorable, ce qui impacte son développement socio-émotionnel. Cet impact se manifeste souvent par des stratégies de régulation inter-personnelles dites immatures (*recours à l'agir*) et une hypersensibilité interpersonnelle (Amos et al., 2011 ; Cook et al., 2005 ; Smith et al., 2019 ; Speranza & Debbané, 2021). De plus, cette hypersensibilité (développée dans le précédent chapitre et qui n'est pas significativement différente entre les enfants HP et non-HP tout-venant dans notre étude) vient ici raisonner avec l'attachement non-sécure.

Par ailleurs, alors que nous n'avons obtenu aucune association significative avec le mode de garde à l'âge de 0-2 mois, il existe une association significative et

positive dans l'ensemble de l'échantillon (HP et non-HP) entre le score total de l'attachement et le mode de garde stable et continu (un ou deux parents) entre 3 et 12 mois, entre 1-4 ans, entre 4-6 ans. Dans ce contexte, le résultat lié à l'allaitement a effectivement montré que les enfants qui ont été allaités au sein montraient un attachement significativement plus stable (score brut moyen= 30/30). Toutefois, le mode d'allaitement au biberon s'avère significativement lié au mode de garde variable (exemple : nourrice, mère, crèche, baby-sitter) entre 3 et 12 mois. De manière concordante avec notre interprétation, il a été évoqué dans différentes études que l'allaitement au sein aurait un rôle très important dans le développement de l'enfant notamment au niveau socio-psycho-affectif (Rousseau, 2011). Cependant, nous émettons l'hypothèse que, généralement, ce qui serait directement lié à l'attachement sécure est la qualité d'interaction qui peut être plus favorable lors d'un allaitement au sein que lors d'un allaitement au biberon. Autrement dit, lors de l'allaitement au sein, le contact corporel avec la proximité des visages, le regard entre la mère et son enfant, les caresses et/ou les paroles pendant les tétées favoriseraient une décharge d'ocytocine comme déjà évoqué par Klaus (1998). Ce neuropeptide distribué en particulier dans le système limbique est en effet considéré comme l'hormone de l'attachement et l'amour maternel (Shahrokh et al., 2010), la reconnaissance des affects (Domes et al., 2007), les interactions sociales et les apprentissages (Hurlemann et al., 2010), la confiance en soi (Domes et al., 2007). La qualité d'attachement au sein d'un environnement joue alors un rôle primordial dans le développement cognitif et psycho-socio-affectif des enfants en général et aurait un impact sur l'expression du HP.

Enfin, l'ensemble de ces résultats, particulièrement au niveau de la trajectoire développementale de l'attachement suggèrent une intégration significativement plus précoce de l'attachement résolu chez les enfants HP, cette intégration de l'attachement résolu semble rester stable à l'adolescence. Cette trajectoire développementale précoce confirme encore une fois l'harmonie de développement intellectuel/moteur et psycho-affectif chez les enfants HP tout-venant contrairement à ce qui a été avancé par Terrassier (1979, 2005, 2020). Au même titre que le développement moteur et cognitif, l'enfant HP ne saute pas d'étape de développement psycho-affectif, mais il passe par toutes les étapes en intégrant plus rapidement et de façon efficace le processus socio-psycho-affectif. Ce qui corrobore les propos de

Vaivre-Douret (2004, 2011a) sur la description du développement psychomoteur chez les enfants HP qui se caractérise par une précocité, mais sans saut d'étapes.

Cette intégration de l'attachement résolu chez les enfants HP qui s'avère significativement plus précoce pourrait éventuellement s'expliquer par les capacités cognitives, particulièrement les fonctions exécutives qui sont significativement plus efficaces chez les enfants HP. En effet, si la qualité de l'attachement joue un rôle important dans le développement des capacités cognitives comme l'a précisé Neuville et al. (2017), d'autres auteurs comme Pierrehumbert (2003) ont évoqué le rôle indispensable des capacités cognitives de l'enfant dans l'intégration des schémas interactifs avec la figure d'attachement dans la mémoire procédurale selon les modèles internes opérants (MIO) de Bowlby (Melges & Bowlby, 1969).

Dans ce contexte, nous avons regardé les données de notre groupe de dix enfants éliminés de l'étude en raison de trouble neurodéveloppemental et/ou psychopathologique (voire méthodologie) pour étayer nos interprétations. Nous avons constaté que malgré la stabilité du mode de garde les premières années de la vie (notée à l'aide du questionnaire d'anamnèse détaillé en fonction de chaque période d'âge du développement), 64% de ces enfants (HP et non-HP) montraient des scores déficitaires au questionnaire d'attachement. Ils ont obtenu des scores significativement élevés au questionnaire AQ de dépistage de l'autisme et des scores déficitaires aux tests de reconnaissance des affects et de théorie de l'esprit. Cela nous amène à faire l'hypothèse qu'en dépit d'une stabilité de qualité d'interaction précoce, ces enfants n'avaient peut-être pas les moyens psychiques leur permettant de s'intégrer correctement la relation d'attachement. Par conséquent, nous pouvons supposer une certaine vulnérabilité précoce chez ces enfants comme cela pourrait exister chez tout autre enfant. Des investigations complémentaires avec un groupe témoin sont nécessaires afin de s'assurer s'il s'agit d'un profil de TSA ou de troubles psychopathologiques comme relaté dans certaines études (Boschi et al., 2016 ; De Lassalle et al., 2021 ; Guérolé et al., 2015 ; Loureiro et al., 2009 ; Vaivre-Douret & Planche, 2020 ; Weismann-Arcache, 2006). Ce que nous pouvons déduire c'est que probablement ces enfants (n=10) ne disposaient peut-être pas des capacités nécessaires pour l'intégration d'un attachement sécurisé malgré la présence continue et congruente de la figure d'attachement.

10. Proposition d'un modèle théorique d'identification du Haut Potentiel quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène)

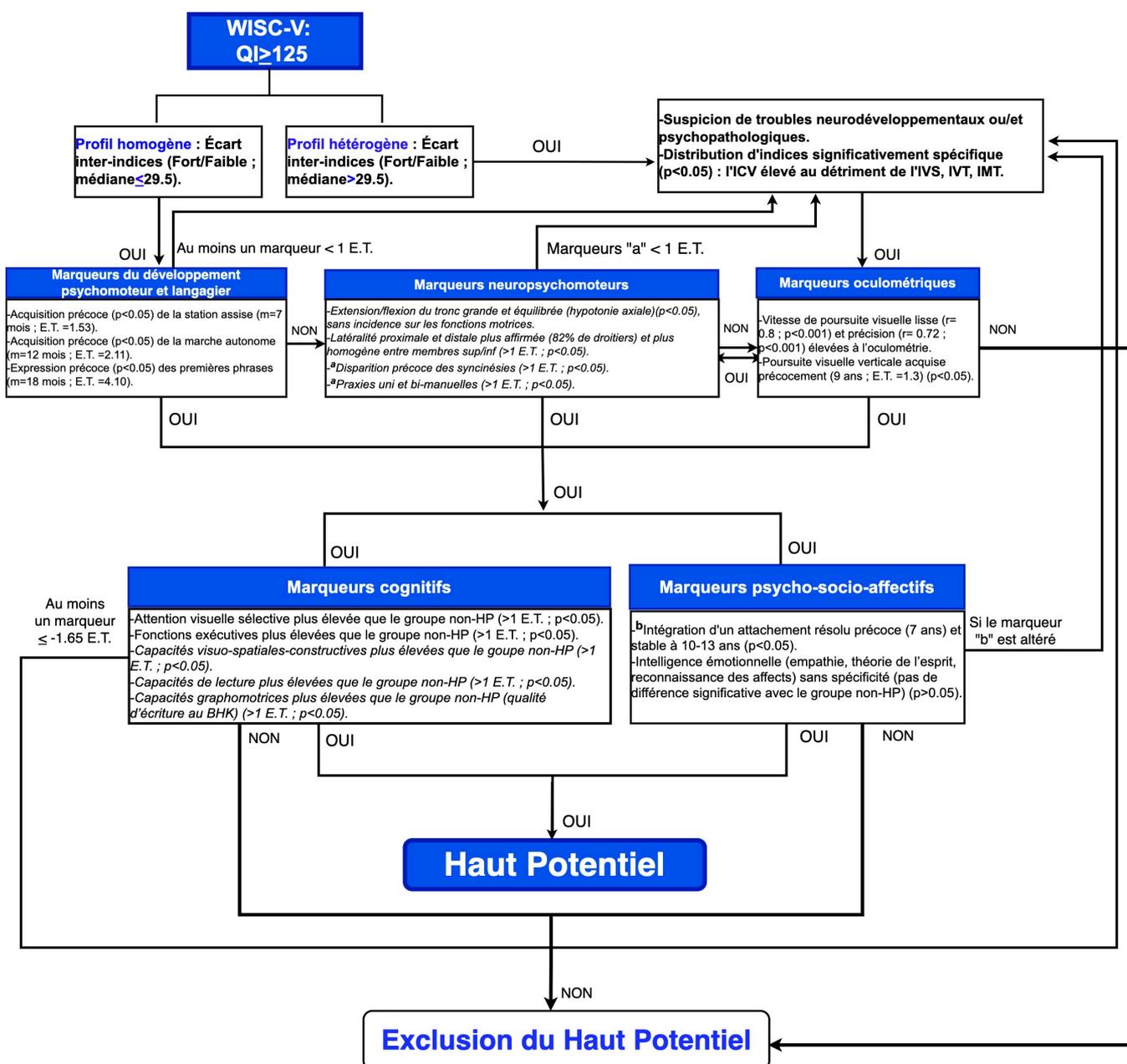
L'ensemble de ces analyses clinique de phénotypage que nous avons menées nous permettent de tester la validation d'un modèle théorique pouvant aider à la compréhension et à l'identification du Haut Potentiel. Nous avons utilisé la méthode de CHAID Algorithme de régression par machine learning afin de valider le modèle. Nous avons fait rentrer toutes les variables significatives une à une concernant l'ensemble de notre échantillon tout-venant (n=80), enfants HP et non-HP, afin que l'algorithme puisse les classer par ordre de pertinence. Ensuite, l'occurrence indique le nombre de sujets sélectionnés utilisés dans l'analyse suivant notre choix méthodologique : 70 % dans la partition apprentissage et 30 % partition test. Le phénotypage clinique multidimensionnel effectué dans cette thèse sélectionne en premier lieu le critère de QI comme étant le premier marqueur significativement différenciateur. Cependant, les analyses montrent que le seuil significativement requis est au moins égal à 125. Ce seuil s'avère, selon notre modèle statistique CHAID, le plus sensible à la prédiction du HP, mais associé aux autres marqueurs que nous détaillerons plus loin. Ce seuil correspond finalement à la valeur souvent requise par les cliniciens lorsqu'il est question du Haut Potentiel.

En effet, les cliniciens ont tendance à prendre la valeur 125 comme seuil pouvant mieux identifier les enfants HP. D'ailleurs, si certains auteurs tels que Terrassier, Vaivre-Douret, Tordjman se divergent sur certains points, ils se rejoignent cependant sur la prise en compte de la valeur de QI à 125 dans la majorité de leurs études. Dans la littérature, le seuil de QI requis dans varie généralement entre 120 (Cook et al., 2020 ; Rost & Czeschlik, 1994 ; Wellisch et al., 2011), 125 (Loureiro et al., 2009 ; Norman et al., 1999 ; Suprano et al., 2019), et 130 (Caroff, 2004 ; Bucaille et al., 2020 ; Swanson, 1992 ; Webb, 1974 ; Willerman et al., 1991). Une étude rétrospective suisse a montré récemment que dans les services de consultations universitaires le nombre d'enfants HP varie entre 18% et 46% selon le seuil de QI pris en considération (120-135) (Quartier et al., 2019). Tordjman et Kermarrec (2019) évoquent que certains professionnels tiennent compte de l'intervalle de confiance à 90% (probabilité que le score noté se situe entre 125 et 135 avec la prise en compte d'erreur type) considérant ainsi le HP à partir d'un $QI \geq 125$. Au niveau clinique, ce seuil

apparaît plus sensible et spécifique car il prend moins le risque de laisser de côté des enfants HP ayant des troubles d'apprentissage pouvant affaiblir certains indices du QI et donc le QIT. D'ailleurs, nos enfants HP TDC ayant un QI entre 125 et 130 mais qui ont été identifiés HP remplissent complètement les autres critères du modèle qui les classent HP sur la base des autres marqueurs du modèle CHAID qui sont : En deuxième position, le langage précoce (particulièrement l'expression des premières phrases à 18 mois en moyenne) s'avère un des meilleurs prédicteurs du HP. Ensuite, nous retrouvons la planification mentale et l'attention visuelle sélective avec le marqueur d'hypotonie axiale et un développement psychomoteur précoce, respectant tous les niveaux de coordination mis en évidence dans l'échelle de DF-MOT (Vaivre-Douret, 1999a). En dernière position, les valeurs anthropométriques que nous avons expliquées en détails dans cette discussion (taille et poids à la naissance).

La sensibilité et la spécificité de ce modèle ont été testées par la corrélation entre les valeurs de gain et d'apprentissage (voire résultats), équivalent de la courbe de ROC (voire méthodologie et résultats) car ici le modèle ne fonctionne pas par des discriminants binaires, mais par arbres de prédicteurs. Cette corrélation est significative, forte est valide ($r=0.99-0.91$; $p<0.001$). Afin de confirmer la validité de notre modèle au regard d'une synthèse de la revue de littérature, nous avons effectué une méta-analyse à l'aide du modèle cartésien d'enrichissement « Pathway Analysis ». Ce dernier se base sur nos variables et les résultats d'analyses multivariées pour tester la méta-analyse issue de l'état de l'art. Les résultats ne valident pas toutes les données de la revue de littérature (particulièrement la dyssynchronie décrite par Terrassier, l'association systématique du HP avec l'hypersensibilité) soulignant des coefficients de régression très faibles et non significatifs allant de $p=0.56$ à $p=0.87$. Cela s'explique par les biais méthodologiques que nous avons analysés tout au long de ce travail. Pour améliorer le modèle, nous avons effectué des modifications pas à pas introduites dans le modèle mixte initial. Le modèle amélioré valide ($p=0.00$) (illustré par la figure 67 dans la partie résultats) s'avère en cohérence avec notre modèle CHAID puisqu'il couvre aussi des champs intellectuel (QI), neuropsychologiques et moteurs décrivant un développement harmonieux et infirmant l'association systématique du HP et des troubles psychosocio-affectifs. De plus, notre modèle souligne l'impact de l'environnement sur le développement et l'expression du potentiel des enfants HP dans différents domaines notamment le domaine académique, le sport et la musique.

Au total, au regard du « CHIAD algorithm », de la « Pathway analysis » et des analyses multivariées de comparaison nous retenons les items suivants comme les plus importants dans la prédiction du HP : poursuite visuelle lisse horizontale et verticale significativement plus précise et plus rapide à l'oculométrie, une poursuite visuelle lisse verticale significativement plus précoce et un apprentissage significativement plus rapide à l'oculométrie. Au niveau développemental, un développement psychomoteur et langagier précoce. En ce qui concerne les fonctions neuropsychomotrices, une hypotonie axiale isolée sans incidence sur les performances motrices, disparition précoce des syncinésies, des scores significativement meilleurs de praxies uni et bi-manuelles et latéralité proximale et distale plus homogène entre membres sup/inf et plus affirmée. Au niveau cognitif, une attention visuelle sélective, fonctions exécutives, capacités visuo-spatiales/constructives de lecture et d'écriture significativement meilleurs. Au niveau psycho-socio-affectif, une intégration d'un attachement résolu significativement plus précoce (7 ans) et stable à 10-13 ans, empathie, capacités de reconnaissance des affects, théorie de l'esprit sans spécificité. Ainsi, nous proposons un modèle de dépistage détaillé pouvant aider à la compréhension et à l'identification du HP : Modèle Multifactoriel de dépistage aidant à l'identification du Haut Potentiel quel que soit le profil psychométrique (homogène/hétérogène). Néanmoins, si ce modèle nous permet de proposer une identification du HP, il n'exclue pas la possibilité que l'enfant HP puisse présenter des troubles neurodéveloppementaux d'apprentissage et/ou des troubles psychologiques comme tout enfant non-HP. De plus, le QI à un seuil de 125 (comme il est objectivé par nos analyses statistiques multidimensionnelles robustes) est un premier indicateur, mais en aucun cas nous pouvons nous baser exclusivement sur le QI pour conclure sur une identification du HP ou pas. D'où l'intérêt de répondre strictement aux autres strates du modèle ci-après (figure 69). Ici, l'évaluation pluridisciplinaire et l'analyse clinique jouent un rôle fondamental dans la démarche diagnostique.



Au moins un marqueur ≤ -1.65 E.T. →

Si le marqueur "b" est altéré →

Haut Potentiel

Exclusion du Haut Potentiel

* Toutes les mesures des marqueurs sont basées sur des tests développementaux standardisés et normés (voire partie méthodologie).

Figure 69: Modèle Multifactoriel de dépistage aidant à l'identification du Haut Potentiel quel que soit le profil psychométrique (homogène/hétérogène), de Hamdioui & Vaivre-Douret.

11. Conclusion générale

Notre étude apporte des éléments importants et contribue à la compréhension du fonctionnement des enfants HP. En dépit de la complexité de la mise en place d'un protocole de phénotypage multidimensionnel et du recrutement des enfants HP tout-venant, nous avons pu constituer un échantillon représentatif des enfants HP sans troubles et sans aides scolaires. La comparaison des enfants HP tout-venant et enfants HP consultants à un groupe témoin d'enfants tout-venant non-HP, nous a permis de mieux définir le Haut Potentiel dans une perspective développementale afin d'une part de confirmer ou d'infirmer certaines caractéristiques du HP, et d'autre part de les compléter en apportant des marqueurs spécifiques au HP. Sur le plan du développement, dès la naissance, ce développement est caractérisé dès la naissance par des valeurs staturo-pondérales néonatales (poids : $m=3.46\text{Kg}$; taille : $m=50.34\text{cm}$) qui sont significativement supérieures à la norme (70^{ème} Percentile), à savoir qu'il n'existe pas pour autant de rebond d'adiposité précoce. Les résultats de notre recherche ont souligné un développement moteur et langagier, respectant tous les prérequis et les niveaux intermédiaires aux grands stades du développement sans en sauter, qui est significativement précoce chez tous les enfants HP de nos échantillons. Il se manifeste par une acquisition précoce de la station assise sans appui ($m=7$ mois), de la marche autonome ($m=12$ mois), du contrôle sphinctérien ($m=31$ mois) et l'expression des premières phrases ($m=18$ mois). Au-delà des jalons du développement psychomoteur, notre étude a montré des liens significatifs entre les habiletés motrices de la vie quotidienne, du domaine scolaire ou encore des loisirs et des spécificités liées au profil du QI. Chez tous les enfants (HP tout-venant, HP consultants, non-HP) il apparaît un lien significatif et positif entre certains indices du QI (IVS, IVT, IMT) les habiletés motrices. De plus, le profil de QI très hétérogène peut être significativement et positivement lié à des difficultés d'habiletés motrices pouvant expliquer 41% de la variance totale. Ainsi, 59% de la variance peut être investiguée au regard d'autres difficultés voire d'autres troubles. Dans le groupe d'enfants HP et non-HP avec TDC, il apparaît un profil clinique similaire. Ce dernier étant caractérisé par un ICV élevé, alors que l'IVT et l'IRP s'avèrent déficitaires et significativement liés aux signes cliniques de TDC et aux éléments de l'anamnèse. Les enfants HP avec

TDC montrent néanmoins significativement moins de sous type idéomoteur (5% vs 11% chez non-HP avec TDC) et visuo-spatial/constructif (respectivement 37% vs 68%). Ces sous-types sont significativement et positivement liés de manière respective aux déficits au niveau des fonctions exécutives et aux capacités visuo-spatiales/constructives qui sont plutôt des atouts de l'enfant HP. La dyspraxie idéomotrice et visuo-spatiale/constructive est aussi significativement et positivement liée à un ICV élevé. Cette analyse des sous-types de TDC souligne de meilleures capacités de compensation dans le groupe d'enfants HP avec TDC comparés aux enfants non-HP avec TDC, particulièrement par le biais d'une meilleure planification et évocation langagière intériorisée.

Au niveau neuropsychomoteur, des marqueurs spécifiques dit intrinsèques ont été mis en exergue chez les enfants HP tout-venant. Il s'agit d'une disparition précoce des syncinésies, A ceci s'associe une mise en place précoce et homogène (entre membres sup/inf) de la latéralité proximale et distale, avec 82% de droitiers ce qui est similaire à la population générale. Aussi, des capacités de praxies uni et bimanuelles qui sont significativement meilleures, au même titre que la coordination motrice. Ces phénotypes neurodéveloppementaux soulignent la continuité de la maturation neurologique qui est plus précoce, renforçant de meilleures capacités de planification et de programmation motrice, d'inhibition et de coordination interhémisphérique. Ce qui impliquerait des réseaux cérébraux plus ciblés et plus efficaces, particulièrement la voie motrice au niveau frontal, le corps calleux, le cervelet et les ganglions de la base. Ces résultats suggèrent aussi une conduction nerveuse qui est peut-être plus rapide chez les enfants HP, attestée par une vitesse de traitement plus rapide et un apprentissage aussi plus rapide comme attesté par nos résultats. À ceci s'articule une hypothèse de meilleure connexion neuronale aussi au niveau du système limbique, en lien avec nos résultats dans le domaine émotionnel, comportemental et au niveau de la mémoire et des processus motivationnels. Enfin, un autre marqueur physiologique spécifique aux enfants HP est l'hypotonie axiale qui s'avère isolée dans notre échantillon d'enfants HP tout-venant, sans incidence sur les autres fonctions psychomotrices (latéralité, motricité, praxies, etc.). À noter que les enfants HP compensent très bien cette hypotonie axiale en renforçant les muscles ischio-jambiers, le pectiné, le petit, moyen et grand adducteur, ainsi que le droit interne.

En ce qui concerne l'oculomotricité, les enfants HP tout-venant montrent une poursuite visuelle lisse qui s'avère significativement plus précise (avec moins d'erreur

d'entropie) et plus rapide (avec un gain significativement plus important), que ce soit au niveau horizontal ou vertical. Par ailleurs, l'approche développementale nous a permis de rendre compte d'un développement précoce de la poursuite visuelle verticale chez les enfants HP ($m=9$ ans ; norme moyenne= 11 ans). Ces résultats viennent corroborer nos résultats de la maturation motrice précoce et harmonieuse des enfants HP. De plus, nos résultats corroborent nos hypothèses de corrélats cérébraux cités ci-dessus. Sur le plan cognitif, l'évaluation psychométrique (WISC-V^{FR}) a montré que tous les scores d'indices sont significativement supérieurs chez les enfants HP tout-venant comparés aux enfants non-HP. La distribution des scores d'indices s'avère cependant similaire dans les deux groupes, avec un ICV plus élevé et un IVT plus faible. Il existe cependant significativement plus de profils hétérogènes dans le groupe d'enfants HP (64%) comparés aux enfants non-HP (47%), avec un écart entre l'indice le plus élevé et le plus faible qui est significativement plus important (respectivement : médiane= 29.5 vs 21.5). Par ailleurs, le niveau de QI en général est significativement et positivement corrélé à l'hétérogénéité. L'ensemble de ces résultats souligne l'intérêt d'appréhender le QI comme un continuum plutôt qu'une distribution catégorielle. Dans l'ensemble des échantillons, l'ICV s'avère significativement influencé par le niveau scolaire et la profession des parents. Nos analyses mettent en évidence cinq subtests (WISC-V^{FR}) spécifiques qui sont significativement prédicteurs du HP : Similitudes ($R^2=1$), Vocabulaire ($R^2=0.65$), Balances ($R^2=0.57$), Symboles ($R^2=0.55$), Mémoire des Chiffres ($R^2=0.49$). Cependant, méthode abrégée de l'évaluation psychométrique du HP reste peu fiable en raison de son coefficient de régression à prendre en compte ($r=0.31$). Par ailleurs, les enfants HP montrent de meilleures capacités des fonctions exécutives, particulièrement au niveau de la planification. Ils disposent également de meilleures capacités visuo-spatiales/constructives et d'attention visuelle sélective. Par ailleurs, des capacités de lectures et d'écriture s'avèrent également supérieures chez les enfants HP tout-venant. La pragmatique de langage quant à elle est significativement meilleure chez les enfants HP avec un profil de QI homogène, particulièrement au niveau de la communication sociale.

Au niveau psycho-socio-affectif, il existe une intégration précoce de l'attachement résolu chez les enfants HP tout-venant qui reste stable à l'adolescence. Il n'existe pas de différence significative entre les enfants HP et non-HP tout-venant au niveau de l'empathie, de la théorie de l'esprit, de la reconnaissance des affects, de

l'anxiété, de la dépression, ni au niveau des scores du questionnaire de dépistage de l'autisme. Néanmoins, le profil de QI très hétérogène, avec un ICV très élevé et un IRP plus faible à la WISC-IV, s'avère significativement lié à une faible estime de soi et à des symptômes d'anxiété, incitant à explorer plus finement le profil au regard d'évaluations complémentaires.

L'ensemble de ces résultats s'articule conjointement avec des facteurs environnementaux (particulièrement une attirance pour des activités musicales et sportives, un milieu riche en ressource), et des particularités inter et inter-individuelles. Notre étude repose sur des données objectives, rigoureusement recueillies qui nous permettent de proposer une modélisation des Données par Apprentissage Machine (MDAM), faisant partie de l'analyse supervisée de l'intelligence artificielle. C'est ainsi que nous avons abouti à un modèle théorique du HP qui présente une validité très significative ($r=0.99-0.91$; $p<0.001$), applicable quel que soit le profil de QI (homogène/hétérogène). Nos travaux apportent pour la première fois au regard de la littérature, une définition de l'enfant HP tout-venant en le distinguant de l'enfant HP consultant. En outre, nous confirmons un développement globalement harmonieux et précoce des enfants HP, infirmant la dyssynchronie cognitive/psychomotrice et affective répandue au sein de la clinique et de l'Éducation nationale et liée globalement aux biais de représentativités. Nos travaux permettent aussi de souligner que les enfants à Haut Potentiel peuvent présenter des troubles neurodéveloppementaux et/ou psychologiques comme tous les autres enfants, attesté par un profil de QI très hétérogène (écart entre les indices le plus faible et le plus faible >29.5). À noter que dans le cas de trouble associé l'ICV s'avère élevé et s'écarte significativement de la médiane (29.5) au détriment de l'IVS, l'IMT et l'IVT. Cela souligne l'intérêt de compléter l'évaluation psychométrique de Wechsler par des évaluations d'autres domaines, notamment du domaine neuropsychomoteur, neurovisuel, socio-psycho-affectif, à confronter avec les éléments de l'anamnèse.

Ainsi, nous validons nos trois hypothèses principales :

- Il existe une trajectoire développementale spécifique aux enfants HP qui se traduit par des caractéristiques spécifiques au niveau neuropsychologique, neurovisuel, neuropsychomoteur et socio-psycho-affectif.
- La dyssynchronie cognitive/ psychomotrice et psycho-affective n'apparaît pas comme un fait développemental du HP, elle serait cependant le reflet d'anomalies.

-L'analyse du QI (homogène/hétérogène) joue un rôle très important dans la compréhension des profils des enfants en général.

En revanche, nous validons partiellement notre quatrième hypothèse : -Les caractéristiques cliniques du trouble développemental de la coordination (TDC) chez les enfants HP sont similaires à celles des enfants non-HP, mais les enfants HP montrent des capacités compensatoires significativement plus importantes notamment par le biais de l'évocation langagière intériorisée, des fonctions exécutives et des fonctions visuo-spatiales/constructives.

12. Limites et perspectives

Nous souhaitons souligner tout de même certaines limites. En effet, nous avons été contraints d'arrêter le recrutement de notre échantillon dans le temps imparti de cette thèse. Cependant, il serait pertinent de continuer à enrichir les données pour valoriser les résultats. Nous souhaiterions également mentionner que nous ne pouvons pas généraliser nos résultats sur l'ensemble des troubles neurodéveloppementaux, car nous avons étudié uniquement le TDC sans d'autres groupes de comparaison avec d'autres troubles neurodéveloppementaux tels que le TDAH, TSA, etc. De plus, il serait intéressant de grossir notre groupe d'enfants HP (n=10) consultants ou porteurs de diverses comorbidités notamment psychopathologiques, qui n'a pas fait l'objet d'analyses particulières.

Par ailleurs, nous n'avons pas pu traiter toutes les données recueillies notamment pour le domaine graphomoteur. En effet, en raison du temps consacré à la thèse, il aurait été difficile de traiter toutes les données. Néanmoins, nous les traiterons ultérieurement afin de mieux comprendre le registre graphomoteur des enfants HP, particulièrement l'organisation gestuelle et d'acquisition des précurseurs de l'écriture. Par ailleurs, notre base de données sur l'anamnèse est très riche et pourrait être encore exploitée pour des analyses complémentaires.

Enfin, nous souhaitons mettre en exergue certaines perspectives de recherche. En effet, sur la base de ce travail mettant en évidence différents phénotypes communs aux enfants à Haut Potentiel tout-venant, il serait très pertinent d'explorer l'hypothèse de génomes sous-jacents. Au niveau neuroanatomique, des études d'imageries fonctionnelles seraient aussi importantes afin de tester plus finement les hypothèses de corrélats cérébraux évoquées dans ce travail. Par ailleurs, au regard de nos

résultats d'oculométrie, il serait aussi intéressant d'explorer plus finement le domaine neurovisuel par le biais de l'électrophysiologie non-invasive associée à notre tâche graphique afin de mieux comprendre la trajectoire de la maturation de la fonction neurovisuelle et graphique.

Références

- Achenbach, T. M. (2001). *Achenbach system of empirically based assessment: School age forms and profiles, child behavior checklist for ages 6-18*. Aseba.
- Adamsbaum, C., & Rey-Salmon, C. (2016). Imagerie de la maltraitance chez l'enfant. *Feuillets de Radiologie*, 56(6), 341-354. <https://doi.org/10.1016/j.frad.2016.07.001>
- Ainsworth, M. D. S. (1978). The bowlby-ainsworth attachment theory. *Behavioral and brain sciences*, 1(3), 436-438. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00075828>
- Ajuriaguerra, J. de, & Stambak, M. (1969). Developmental dyspraxia and psychomotor disorders. In P. J. Vinken & G. W. Bruyn (Eds.), *Handbook of clinical neurology, Vol. 4: Disorders of speech, and symbolic behavior* (p. 443-464). North-Holland.
- Albaret, J. M., & Noack, N. (1994). *Manuel de l'échelle de coordinations motrices de Charlop-Atwell*. Éditions du Centre de Pasychologie Appliquée.
- Alesi, M., Rappo, G., & Pepi, A. (2015). Emotional profile and intellectual functioning: A comparison among children with borderline intellectual functioning, average intellectual functioning, and gifted intellectual functioning. *SAGE Open*, 5(3), 2158244015589995. <https://doi.org/10.1177/2158244015589995>
- Alexander, J. E., O'Boyle, M. W., & Benbow, C. P. (1996). Developmentally advanced EEG alpha power in gifted male and female adolescents. *International Journal of Psychophysiology*, 23(1-2), 25-31. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(96\)00031-1Get](https://doi.org/10.1016/0167-8760(96)00031-1Get)
- Alexander, J. M., & Schwanenflugel, P. J. (1996). Development of metacognitive concepts about thinking in gifted and nongifted children : Recent research. *Learning and Individual Differences*, 8(4), 305-325. [https://doi.org/10.1016/s1041-6080\(96\)90021-7](https://doi.org/10.1016/s1041-6080(96)90021-7)
- Alexander, J. M., Carr, M., & Schwanenflugel, P. J. (1995). Development of Metacognition in Gifted Children : Directions for Future Research. *Developmental Review*, 15(1), 1-37. <https://doi.org/10.1006/drev.1995.1001>
- Allain, P. (2013). La prise de décision: aspects théoriques, neuro-anatomie et évaluation. *Revue de neuropsychologie*, 5(2), 69-81. <https://doi.org/10.3917/rne.052.0069>

- Alsop, G. (2003). Asynchrony: Intuitively valid and theoretically reliable. *Roeper Review*, 25 (3), 118-127. <https://doi.org/10.1080/02783190309554213>
- American Psychiatric Association. (1994). DSM-IV. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (4th ed.). Washington, DC, USA: American Psychiatric Publishing.
- American Psychiatric Association. (2000). DSM IV-TR: Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders (4th ed.). Washington, DC, USA: American Psychiatric Publishing.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders DSM-5* (5^e éd.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- American Psychiatric Association. (2013). *DSM-5. 5^{ème} Édition : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux [DSM-5.5th edition: Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders]* (Crocq, M.-A & Guelf, J. D., Trad 5^e éd). Masson.
- Amos, J., Furber, G., & Segal, L. (2011). Understanding Maltreating Mothers : A Synthesis of Relational Trauma, Attachment Disorganization, Structural Dissociation of the Personality, and Experiential Avoidance. *Journal of Trauma & ; Dissociation*, 12(5), 495-509. <https://doi.org/10.1080/15299732.2011.593259>
- Andreani, O. D., & Pagnin, A. (1993). Moral judgment in creative and talented adolescents. *Creativity Research Journal*, 6(1-2), 45-63. <https://doi.org/10.1080/10400419309534465>
- Antshel, K. M. (2008). Attention-Deficit Hyperactivity Disorder in the context of a high intellectual quotient/giftedness. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 14(4), 293-299. <https://doi.org/10.1002/ddrr.34>
- Antshel, K. M., Faraone, S. V., Stallone, K., Nave, A., Kaufmann, F. A., Doyle, A., Fried, R., Seidman, L., & Biederman, J. (2007). Is attention deficit hyperactivity disorder a valid diagnosis in the presence of high IQ ? Results from the MGH Longitudinal Family Studies of ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(7), 687-694. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2007.01735.x>
- 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>

- Assaiante, C., & Amblard, B. (1993). Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children: influence of visual cues. *Experimental Brain Research*, 93(3), 499-515. <https://doi.org/10.1007/BF00229365>
- Assouline, S. G., Nicpon, M. F., & Doobay, A. (2009). Profoundly gifted girls and autism spectrum disorder: A psychometric case study comparison. *Gifted child quarterly*, 53(2), 89-105. <https://doi.org/10.1177/0016986208330565>
- Astington, J. W., & Jenkins, J. M. (1999). A longitudinal study of the relation between language and theory-of-mind development. *Developmental psychology*, 35(5), 1311. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.35.5.1311>
- Aubry, A., & Bourdin, B. (2018). Short Forms of Wechsler Scales Assessing the Intellectually Gifted Children Using Simulation Data. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00830>
- Aubry, A., & Bourdin, B. (2021). Alerting, orienting, and executive control in intellectually gifted children. *Brain and Behavior*, 11(8), e02148. <https://doi.org/10.1002/brb3.2148>
- Aubry, A., Gonthier, C., & Bourdin, B. (2021). Explaining the high working memory capacity of gifted children : Contributions of processing skills and executive control. *Acta Psychologica*, 218, 103358. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103358>
- Azulay, J. P. (2015). Le syndrome cérébelleux vu par le neurologue. *Revue Neurologique*, 171, A238. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2015.01.543>
- Bacro, F. (2011). Validation francophone de l'échelle de sécurité des perceptions d'attachement au père et à la mère (Kerns, Klepac & Cole, 1996). *European review of applied psychology*, 61(4), 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2011.09.003>
- Bacro, F., & Florin, A. (2009). La relation père-enfant, la nature et l'organisation des relations d'attachement. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 50(4), 230. <https://doi.org/10.1037/a0015445>
- Baddeley, A. (2003). *Working memory : looking back and looking forward*. Nature Reviews.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. Dans G. H. Bower (1e ed.), *The psychology of learning and motivation*, (1st éd., vol. 8, p. 47–89). Academic Press.

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2000). Development of working memory: should the Pascual-Leone and the Baddeley and Hitch models be merged?. *Journal of experimental child psychology*, 77(2), 128-137. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2592>
- Bar-On, R. (1997). *The Emotional Quotient Inventory (EQ-i): A test of emotional intelligence*. Multi-Health Systems.
- Barfurth, M. A., Ritchie, K. C., Irving, J. A., & Shore, B. M. (2009). *International handbook on giftedness*. Springer, Dordrecht.
- Barkley, R.A. (1986). *Hyperactive children: A handbook for diagnosis and treatment* (2d ed.). New York: Guilford Press.
- Baron-Cohen, S., & Wheelwright, S. (2004). The empathy quotient: an investigation of adults with Asperger syndrome or high functioning autism, and normal sex differences. *Journal of autism and developmental disorders*, 34(2), 163-175. <https://doi.org/10.1023/B:JADD.0000022607.19833.00>
- Baron-Cohen, S., Hoekstra, R. A., Knickmeyer, R., & Wheelwright, S. (2006). The Autism-Spectrum Quotient (AQ)—Adolescent Version. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(3), 343-350. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0073-6>
- Barrett, P. T., & Eysenck, H. J. (1992). Brain evoked potentials and intelligence: The Hendrickson paradigm. *Intelligence*, 16(3-4), 361-381. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(92\)90015-J](https://doi.org/10.1016/0160-2896(92)90015-J)
- Baud, O., & Gressens, P. (2009). Voie de signalisation Sonic Hedgehog et impact des glucocorticoïdes sur le cerveau en développement. *médecine/sciences*, 25(8-9), 713-718. <https://doi.org/10.1051/medsci/2009258-9713>
- Beaufils, J., Dampousse, M., Rauscent, H., Heyman, R., & Bonan, I. (2015). Étude préliminaire des troubles vésico-sphinctériens et anorectaux chez les enfants paralysés cérébraux. *Progrès en Urologie*, 25(10), 565-575. <https://doi.org/10.1016/j.purol.2015.05.011>
- Beaulne, S. (2009). L'autisme selon la théorie neurodéveloppementale. *Journal on Developmental Disabilities*, 15(2), 45. [https://doi.org/10.1016/S0001-4079\(19\)32582-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)32582-8)
- Beery, K. E., & Beery, N. A. (2010). *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-motor Integration (Beery VMI): With supplemental developmental tests*

- of visual perception and motor coordination and stepping stones age norms from birth to age six: administration, scoring, and teaching manual* (6th ed.). Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Beery, K.E., Buktenica, N.A., Beery, N.A. (2004). *The Beery-buktenica developmental test of visual-motor integration (VMI)*, (5th rev). Modern Curriculum Press
- Benbow, C. P., & Minor, L. L. (1990). Cognitive Profiles of Verbally and Mathematically Precocious Students : Implications for Identification of the Gifted. *Gifted Child Quarterly*, 34(1), 21-26. <https://doi.org/10.1177/001698629003400105>
- Benbow, C. P., & Stanley, J. C. (1983). Sex differences in mathematical reasoning ability: More facts. *Science*, 222(4627), 1029-1031. <https://doi.org/10.1126/science.6648516>
- Bénony, H., VanDerElst, D., Chahraoui, K., Bénony, C., & Marnier, J. P. (2007). Lien entre dépression et estime de soi scolaire chez les enfants intellectuellement précoces. *L'Encéphale*, 33(1), 11-20. [https://doi.org/10.1016/S0013-7006\(07\)91554-7](https://doi.org/10.1016/S0013-7006(07)91554-7)
- Berg, D. H., & McDonald, P. A. (2018). Differences in mathematical reasoning between typically achieving and gifted children. *Journal of cognitive psychology*, 30(3), 281-291. <https://doi.org/10.1080/20445911.2018.1457034>
- Bergès, J., & Lézine, I. (1965). The imitation of gestures. *Clinics in developmental medicine*, 18, 1-122.
- Berndt, D. J., & Kaiser, C. F. (1996). *Multiscore depression inventory for children (MDI-C)*. Western Psychological Services.
- Berndt, D.J., Kaiser, C.F. (1999). *Echelle composite de dépression pour enfants: MDI-C*. Pearson
- Berninger, V. W., & Abbott, R. D. (2013). Differences between children with dyslexia who are and are not gifted in verbal reasoning. *Gifted Child Quarterly*, 57(4), 223-233. <https://doi.org/10.1177/0016986213500342>
- Berninger, V. W., Richards, T. L., & Abbott, R. D. (2015). Differential diagnosis of dysgraphia, dyslexia, and OWL LD : behavioral and neuroimaging evidence. *Reading and Writing*, 28(8), 1119-1153. <https://doi.org/10.1007/s11145-015-9565-0>
- Berthelot, N. (2010). *L'impact de la maltraitance sur l'attachement et le fonctionnement réflexif et implications pour la relation d'attachement mère-enfant* [Thèse de doctorat, Université Laval]. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/22151>

- Berthoz, S., Artiges, E., van de Moortele, P. F., Poline, J. B., Rouquette, S., Consoli, S. M., & Martinot, J. L. (2002). Effect of Impaired Recognition and Expression of Emotions on Frontocingulate Cortices : An fMRI Study of Men With Alexithymia. *American Journal of Psychiatry*, 159(6), 961-967. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.159.6.961>
- Besançon, M., Guignard, J. H., & Lubart, T. (2006). Haut potentiel, créativité chez l'enfant et éducation. *Bulletin de psychologie*, 485(5), 491-504. <https://doi.org/10.3917/bupsy.485.0491>
- Besançon, M., Zenasni, F., & Lubart, T. (2010). Le haut potentiel créatif. *Enfance*, 1(1), 77-84. <https://doi.org/10.3917/enf1.101.0077>
- 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* 81, 23-28.
- Bethlehem, R. A., Seidlitz, J., White, S. R., Vogel, J. W., Anderson, K. M., Adamson, C., Schaare, H. L., et al. (2022). Brain charts for the human lifespan. *Nature*, 604(7906), 525-533. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04554-y>
- Bilbao, C., & Piñero, D. P. (2021). Distribution of visual and oculomotor alterations in a clinical population of children with and without neurodevelopmental disorders. *Brain Sciences*, 11(3), 351. <https://doi.org/10.3390/brainsci11030351>
- Bildiren, A. (2017). Developmental characteristics of gifted children aged 0–6 years : parental observations. *Early Child Development and Care*, 188(8), 997-1011. <https://doi.org/10.1080/03004430.2017.1389919>
- Bildiren, A., & Kargın, T. (2019). The effects of project based approach in early intervention program on the problem solving ability of gifted children. *Eğitim ve Bilim*, 44(198). <https://doi.org/10.15390/EB.2019.7360>
- Binet, A. (1903). A. Binet, L'étude expérimentale de l'intelligence. *L'Année psychologique*, 10(1), 546-546.
- Binet, A., & Simon, T. (1904). Méthodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux. *L'année psychologique*, 11(1), 191-244. <https://doi.org/10.3406/psy.1904.3675>
- Bishop, D. V. M. (1998). Development of the Children's Communication Checklist (CCC) : A Method for Assessing Qualitative Aspects of Communicative

- Impairment in Children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39(6), 879-891. <https://doi.org/10.1017/s0021963098002832>
- Biswas, P., Malhotra, S., Malhotra, A., & Gupta, N. (2007). Comparative study of neurological soft signs in schizophrenia with onset in childhood, adolescence and adulthood. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 115(4), 295-303. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.2006.00901.x>
- Bjorklund, D. F., Schneider, W., Cassel, W. S., & Ashley, E. (1994). Training and extension of a memory strategy: Evidence for utilization deficiencies in the acquisition of an organizational strategy in high-and low-IQ children. *Child Development*, 65(3), 951-965. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1994.tb00795.x>
- Blank, R., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Wilson, P. (2012). European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version). *Developmental medicine and child neurology*, 54(1), 54. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04171.x>
- Bocquet, A., Briend, A., Chalumeau, M., Dupont, C., Darmaun, D., De Luca, A., ... & Comité de nutrition de la Société française de pédiatrie. (2022). Les nouvelles recommandations du PNNS sur la diversification alimentaire. *Perfectionnement en Pédiatrie*.
- Boddaert, N., Chabane, N., Meresse, I., Phillippe, A., Robel, L., Bourgeois, M., Mouren, M. C., Barthélémy, C., Laurier, L., Munnich, A., Brunelle, F., & Zilbovicius, M. (2009). Imagerie anatomique dans l'autisme non syndromique : Étude rétrospective sur 140 IRM. *Enfance*, 1(1), 99-100. <https://doi.org/10.3917/enf1.091.0099>
- Boddaert, N., Saitovich, A., Bargiacchi, A., Grévent, D., Chabane, N., Brunelle, F., & Zilbovicius, M. (2012). Imagerie dans l'autisme infantile. *Médecine thérapeutique/Pédiatrie*, 15(3), 202-212. <https://doi.org/10.1684/mtp.2012.0437>
- Boehnke, K., Sillbereisen, R. K., Reynolds, C. R., & Richmond, B. O. (1986). What I think and feel—German experience with the revised form of the children's manifest anxiety scale. *Personality and Individual Differences*, 7(4), 553-560. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(86\)90132-7](https://doi.org/10.1016/0191-8869(86)90132-7)

- Bolzinger, A. (1981). Spitz (René A.). L'embryogénèse du moi. Une théorie du champ pour la psychanalyse, Bruxelles, Editions complexes, 90 p. Index matières. *Bulletin de psychologie*, 35(353), 259-259.
- Borghans, L., Golsteyn, B. H., Heckman, J. J., & Humphries, J. E. (2016). What grades and achievement tests measure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(47), 13354-13359. <https://doi.org/10.1073/pnas.1601135113>
- Borkowski, J. G., Peck, V. A., Reid, M. K., & Kurtz, B. E. (1983). Impulsivity and strategy transfer: metamemory as mediator. *Child development*, 459-473. <https://doi.org/10.2307/1129707>
- Bornstein, M. H., & Sigman, M. D. (1985). Le développement de l'intelligence chez les enfants : nouvelles recherches sur la « continuité ». *L'année psychologique*, 85(3), 383-394. <https://doi.org/10.3406/psy.1985.29097>
- Bornstein, M. H., & Sigman, M. D. (1986). Continuity in mental development from infancy. *Child development*, 57(2), 251-274. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1986.tb00025.x>
- Boschi, A., Planche, P., Philippe, A., & Vaivre-Douret, L. (2015). Comparative Study of Neurocognitive Profiles of Children with High Functioning Autism (hfa), Asperger's Syndrome (as) and Intellectual High Potential (gifted): in What Are They Different?. *European Psychiatry*, 30(1), 1 [https://doi.org/10.1016/S0924-9338\(15\)30954-8](https://doi.org/10.1016/S0924-9338(15)30954-8)
- Boschi, A., Planche, P., Philippe, A., & Vaivre-Douret, L. (2016). Assessment of cognitive profile (WISC-IV), autistic symptomatology and pragmatic disorders in high intellectual potential compared with autism spectrum disorder. *European Psychiatry*, 33(1), 129. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2016.01.184>
- Bosse, M. L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198–230. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.009>.
- Botella, M., Fürst, G., Myszkowski, N., Storme, M., Pereira Da Costa, M., & Luminet, O. (2015). French validation of the overexcitability questionnaire 2: psychometric properties and factorial structure. *Journal of Personality Assessment*, 97(2), 209-220. <https://doi.org/10.1080/00223891.2014.938750>
- Bouchet, N., & Falk, R. F. (2001). The Relationship Among Giftedness, Gender, and Overexcitability. *Gifted Child Quarterly*, 45(4), 260-267. <https://doi.org/10.1177/001698620104500404>

- Bourbonnais, D., Krieger, C., & Smith, A. M. (1986). Cerebellar cortical activity during stretch of antagonist muscles. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 64(9), 1202-1213. <https://doi.org/10.1139/y86-204>
- Bourdier, L., & Ringuenet, D. (2016). Propriétés psychométriques de la version française d'une échelle de mesure de l'intelligence émotionnelle perçue: La trait meta-mood scale (TMMS)/Psychometric properties of the french version of a scale measuring perceived emotional intelligence: The trait meta-mood scale (TMMS). *Canadian Journal of Psychiatry*, 61(10), 652. <https://doi.org/10.1177/0706743716639936>
- Bourgeois-Rambur, L., Beynac, L., & Villanueva, L. (2019). Mécanismes de régulation cérébrale impliqués dans la crise migraineuse. *Biologie Aujourd'hui*, 213(1-2), 43-49 ; <https://doi.org/10.1051/jbio/2019022>
- Bowlby, J. (1958). *Can I leave my baby?*. London: National Association for Mental Health.
- Bracken, B. A. (1992). *Multidimensional self concept scale*. Pro-ed.
- Bradley, L., & Bryant, P. (1978). Difficulties in auditory organization as a possible cause of reading backwardness. *Nature*, 271(5647), 746–747. <https://doi.org/10.1038/271746a0>.
- Brahem, M., Hlel, K., Ayadi, A., Bedoui, A., Hmila, F., Mahjoub, B., ... & Sfar, M. T. (2006). Kyste hydatique cérébral de l'enfant: à propos de quatre observations. *Médecine et maladies infectieuses*, 36(8), 434-437.
- Brasseur, S. & Grégoire, J. (2010). L'intelligence émotionnelle – trait chez les adolescents à haut potentiel : spécificités et liens avec la réussite scolaire et les compétences sociales. *Enfance*, 1(1), 59-76. <https://doi.org/10.3917/enf1.101.0059>
- Brigandi, C. B., Weiner, J. M., Siegle, D., Gubbins, E. J., & Little, C. A. (2018). Environmental perceptions of gifted secondary school students engaged in an evidence-based enrichment practice. *Gifted Child Quarterly*, 62(3), 289-305. <https://doi.org/10.1177/0016986218758441>
- 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>

- Brown, A. L. (1973). Conservation of Number and Continuous Quantity in Normal, Bright, and Retarded Children. *Child Development*, 44(2), 376-379. <https://doi.org/10.2307/1128064>
- Brown, S. W., Hwang, M. T., Baron, M., & Yakimowski, M. E. (1991). Factor Analysis of Responses to the WISC—R for Gifted Children. *Psychological Reports*, 69(1), 99-107. <https://doi.org/10.2466/pr0.1991.69.1.99>
- Brown, T., & Hockey, S. C. (2013). The validity and reliability of developmental test of visual perception—2nd edition (DTVP-2). *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 33(4), 426-439. <https://doi.org/10.3109/01942638.2012.757573>
- Bruininks, R. H., & Bruininks, B.D. (2005). *Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency* (2nd ed). Pearson.
- Brunet, O., Lézine, I. (2001). *Échelle de développement psychomoteur de la première enfance (BLR)*. Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Bucaille, A., Jarry, C., Allard, J., Brochard, S., Peudenier, S., & Roy, A. (2021). Neuropsychological Profile of Intellectually Gifted Children : A Systematic Review. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 28(4), 424-440. <https://doi.org/10.1017/s1355617721000515>
- Bucaille, A., Kergroach, C., Allard, J., Jaarry, 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.
- Budding, D., & Chidekel, D. (2012). ADHD and Giftedness : A Neurocognitive Consideration of Twice Exceptionality. *Applied Neuropsychology : Child*, 1(2), 145-151. <https://doi.org/10.1080/21622965.2012.699423>
- Busiah, K., Drunat, S., Vaivre-Douret, L., Bonnefond, A., Simon, A., Flechtner, I., Gérard Pharm, Pouvreau, Elie, Nimri, De Vries, Tubiana-Rufi, Metz, Bertrand, Nivot-Adamiak, Kerdanet, Stuckens, Jennane, Pharm, & French NDM study group. (2013). Neuropsychological dysfunction and developmental defects associated with genetic changes in infants with neonatal diabetes mellitus: a prospective cohort study. *The lancet Diabetes & endocrinology*, 1(3), 199-207. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(13\)70059-7](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(13)70059-7)
- Bussièrès, E. L. (2012). *Stress maternel prénatal et développement précoce: données de naissance, attention et sécrétion cortisolaire à trois mois: association entre le stress maternel prénatal, l'âge gestationnel et le poids de naissance du bébé:*

- une méta-analyse d'études prospectives: association entre le stress maternel prénatal, l'attention/éveil et la sécrétion cortisolique de l'enfant à trois mois.* [thèse de doctorat, Université Laval]. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/24173>
- Cahan, S., & Gejman, A. (1993). Constancy of IQ scores among gifted children. *Roeper Review*, 15(3), 140-143. <https://doi.org/10.1080/02783199309553488>
- Camoreyt, A., Berthel-Tàtray, M. C., Burle, M., Musacchio, M., Ehrlé, N., & Sellal, F. (2017). Troubles de la reconnaissance des émotions après lésion cérébelleuse focale. *Revue Neurologique*, 173, S184-S185. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2017.01.359>
- Camos, V. (2004). Compétences exceptionnelles en mathématiques. *Psychologie Française*, 49(3), 321-336. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.04.005>
- 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>
- Carr, M., Alexander, J., & Schwanenflugel, P. (1996). Where gifted children do and do not excel on metacognitive tasks. *Roeper Review*, 18(3), 212-217. <https://doi.org/10.1080/02783199609553740>
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities : A Survey of Factor-Analytic Studies*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511571312>
- Case, R. (1987). The Structure and Process of Intellectual Development. *International Journal of Psychology*, 22(5-6), 571-607. <https://doi.org/10.1080/00207598708246796>
- Cattell, R. B. (1941). Some theoretical issues in adult intelligence testing. *Psychological Bulletin*, 38(7), 592.
- Chae, P. K., Kim, J. H., & Noh, K. S. (2003). Diagnosis of ADHD among gifted children in relation to KEDI-WISC and TOVA performance. *Gifted Child Quarterly*, 47(3), 192-201. <https://doi.org/10.1177/001698620304700303>
- Challamel, M. J., & Franco, P. (2005). Attitude devant un jeune enfant qui «ne dort pas». *Médecine du sommeil*, 1(3), 33-36. [https://doi.org/10.1016/S1769-4493\(05\)70156-4](https://doi.org/10.1016/S1769-4493(05)70156-4)
- Chan, R. C., Di, X., McAlonan, G. M., & Gong, Q. Y. (2011). Brain anatomical abnormalities in high-risk individuals, first-episode, and chronic schizophrenia: an activation likelihood estimation meta-analysis of illness

- progression. *Schizophrenia bulletin*, 37(1), 177-188.
<https://doi.org/10.1093/schbul/sbp073>
- Chan, R. C., McAlonan, G. M., Yang, B., Lin, L., Shum, D., & Manschreck, T. C. (2010). Prevalence of neurological soft signs and their neuropsychological correlates in typically developing Chinese children and Chinese children with ADHD. *Developmental Neuropsychology*, 35(6), 698-711.
<https://doi.org/10.1080/87565641.2010.508552>
- Chapman, J. W. (1988). Learning Disabled Children's Self-Concepts. *Review of Educational Research*, 58(3), 347-371.
<https://doi.org/10.3102/00346543058003347>
- Chappuy, H. (2009). Les particularités éthiques de la recherche en pédiatrie. *Médecine thérapeutique/Pédiatrie*, 12(6), 397-402. <https://doi.org/10.1684/mtp.2009.0255>
- Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J.-M. (2003). *BHK - Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant [Child Writing fast Assessment Scale]*. Editions et Applications Psychologiques.
- Charollais, A., Marret, S., Stumpf, M. H., Lemarchand, M., Delaporte, B., Philip, E., Diverres M., Guilloise, B., Datin-Dorrieree, T., Debillon, T., Simon, M.J., De Barace, C., Pasquet, F., Saliba, E., & Zebhib, R. (2013). Comprendre le neurodéveloppement du langage, une nécessité pour prévenir les troubles des apprentissages de l'enfant?. *Archives de Pédiatrie*, 20(9), 994-999.
<https://doi.org/10.1016/j.arcped.2013.06.004>
- Chartier, D. & Lautrey, J. (1992). Peut-on apprendre à connaître et à contrôler son propre fonctionnement cognitif ? *Orientation Scolaire et Professionnelle*, 21(1), 27-46.
- Chee, C. C., Guignon, N., Delmas, M. C., Herbet, J. B., & Gonzalez, L. (2012). Estimation de la prévalence de l'épisode dépressif chez l'adolescent en France. *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 60(1), 31-39.
<https://doi.org/10.1016/j.respe.2011.08.065>
- Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant: Concepts et développement. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 51(3), 149.
<https://doi.org/10.1037/a0020031>
- Cianchetti, C., & Fancello, G. S. (2001). *SAFA Scale Psichiatriche di Autosomministrazione per Fanciulli e Adolescenti [Self administrated psychiatric scales for children and adolescents]*. Organizzazioni Speciali

- Clarke, T. K., Lupton, M. K., Fernandez-Pujals, A. M., Starr, J., Davies, G., Cox, S., Pattie, A., Liewald, D. C., Hall, L. S., MacIntyre, D. J., Smith, B. H., Hocking, L. J., Padmanabhan, S., Thomson, P. A., Hayward, C., Hansell, N. K., Montgomery, G. W., Medland, S. E., Martin, N. G., & McIntosh, A. M. (2015). Common polygenic risk for autism spectrum disorder (ASD) is associated with cognitive ability in the general population. *Molecular Psychiatry*, 21(3), 419-425. <https://doi.org/10.1038/mp.2015.12>
- Clerc, J., & Josseron, L. (2022). Transfer of Learning and Flexibility in Childhood. *Cognitive Flexibility: The Cornerstone of Learning*, 143-173. <https://doi.org/10.1002/9781119902737.ch6>
- Cognet, G. (2007). *Nouvelle échelle métrique de l'intelligence* (2nd ed). Les Édition du Centre de Psychologie Appliquée.
- Cohen, M.J. (2001). *CMS : échelle de mémoire pour enfants*. Éditions du centre de psychologie appliquée.
- Cohn, S. J., Carlson, J. S., & Jensen, A. R. (1985). Speed of information processing in academically gifted youths. *Personality and individual differences*, 6(5), 621-629. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(85\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0191-8869(85)90012-1)
- Conners, C. K. (2008). *Conners third edition (Conners 3)*. Western Psychological Services.
- Conners, C. K., Sitarenios, G., Parker, J. D., & Epstein, J. N. (1998). The revised Conners' Parent Rating Scale (CPRS-R): factor structure, reliability, and criterion validity. *Journal of abnormal child psychology*, 26(4), 257-268. <https://doi.org/10.1023/A:1022602400621>
- Cook, A., Spinazzola, J., Ford, J., Lanktree, C., Blaustein, M., Cloitre, M., & Van der Kolk, B. (2005). Complex trauma. *Psychiatric annals*, 35(5), 390-398
- Cook, F., Hippmann, D., & Omerovic, E. (2020). The sleep and mental health of gifted children: A prospective, longitudinal, community cohort study. *Gifted and Talented International*, 35(1), 16-26. <https://doi.org/10.1080/15332276.2020.1758977>
- 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. <https://doi.org/10.3917/enf1.124.0373>
- Cordeiro, M. L., Farias, A. C., Cunha, A., Benko, C. R., Farias, L. G., Costa, M. T., Martins, L. F., & McCracken, J. T. (2010). Co-Occurrence of ADHD and High

- IQ. *Journal of Attention Disorders*, 15(6), 485-490.
<https://doi.org/10.1177/1087054710370569>
- Cornell, D. G., & Grossberg, I. W. (1987). Family Environment and Personality Adjustment In Gifted Program Children. *Gifted Child Quarterly*, 31(2), 59-64.
<https://doi.org/10.1177/001698628703100203>
- Cornhill, H., & Case-Smith, J. (1996). Factors That Relate to Good and Poor Handwriting. *The American Journal of Occupational Therapy*, 50(9), 732-739.
<https://doi.org/10.5014/ajot.50.9.732>
- Costa, L. J. C., Edwards, C. N., & Hooper, S. R. (2015). Writing Disabilities and Reading Disabilities in Elementary School Students. *Learning Disability Quarterly*, 39(1), 17-30. <https://doi.org/10.1177/0731948714565461>
- Cowan, N. (2005). Working memory capacity limits in a theoretical context. In C. Izawa & N. Ohta (Eds.), *Human learning and memory: Advances in theory and application. The 4th Tsukuba international conference on memory* (p. 155-175). Psychology Press
- Cox, S. M., & Ludwig, A. M. (1979). Neurological soft signs and psychopathology: I. Findings in schizophrenia. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 167(3), 161-165. <https://doi.org/10.1097/00005053-197903000-00004>
- Craecker, D. R. (1951). *Les enfants intellectuellement doués (French Edition)*. FeniXX.
- Crick, N. R., & Dodge, K. A. (1994). A review and reformulation of social information-processing mechanisms in children's social adjustment. *Psychological Bulletin*, 115(1), 74-101. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.115.1.74>
- Cuche, C. (2014). *Étude des croyances motivationnelles chez les adolescents à haut potentiel intellectuel: Des représentations à dénouer*. UCL Presses Universitaires de Louvain.
- Cuny, M. L., Vaivre-Douret, L., Piana, H., Blauwblomme, T., Beccaria, K., Paternoster, G., Bourgeois, M., James, S., Zerah, M., Prodhomme, J., Esnault, E., Cozzo, M., Trousson, C., Navarro, B., Stricker, S., Boddaert, N., Sainte-Rose, C., Piolino, P., & Puget, S. (2022). Temporosylvian arachnoid cysts in children. Part 1: Cognitive profile of children with a temporal cyst and impact of the cyst in daily life. A prospective study in 100 consecutive children. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 1(aop), 1-12.
<https://doi.org/10.3171/2021.11.PEDS21203>

- Da Costa, M., & Lubart, T. I. (2016). Gifted and talented children : Heterogeneity and individual differences. *Anales de Psicología*, 32(3), 662-671. <https://doi.org/10.6018/analesps.32.3.259421>
- Dabrowski, K. (1964). *Positive disintegration*. Little, Brown.
- Dabrowski, K. (1996). *Multilevelness of emotional and instinctive functions*. Towarzystwo Naukowe Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego.
- Dai, D. Y., & Feldhusen, J. F. (1999). A validation study of the thinking styles inventory: Implications for gifted education. *Roeper Review*, 21(4), 302-307. <https://doi.org/10.1080/02783199909553981>
- Damasio, A. R. (1994a). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. Putnam & Grosset
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M., & Damasio, A. R. (1994b). The Return of Phineas Gage : Clues About the Brain from the Skull of a Famous Patient. *Science*, 264(5162), 1102-1105. <https://doi.org/10.1126/science.8178168>
- Davidson, J. E., & Sternberg, R. J. (1984). The Role of Insight in Intellectual Giftedness. *Gifted Child Quarterly*, 28(2), 58-64. <https://doi.org/10.1177/001698628402800203>
- De Ajuriaguerra, J., & Auzias, H. (1960). Méthodes et techniques d'apprentissage de l'écriture. *La Psychiatrie de l'enfant*, 3(2), 609.
- De Bondt, N., & Van Petegem, P. (2015). Psychometric evaluation of the Overexcitability Questionnaire-Two applying Bayesian structural equation modeling (BSEM) and multiple-group BSEM-based alignment with approximate measurement invariance. *Frontiers in psychology*, 6(1), 1963. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01963>
- De Jong, P., & Das-Smaal, E. (1990). The star counting test : An attention test for children. *Personality and Individual Differences*, 11(6), 597-604. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(90\)90043-q](https://doi.org/10.1016/0191-8869(90)90043-q)
- De Lassalle, C. M., Lerens, E., Mousset, E., Kurzeja, N., Poncin, F., Charlier, D., & Wintgens, A. (2021). Syndrome d'Asperger avec Haut Potentiel Intellectuel : le camouflage à l'origine des diagnostics tardifs ? [Asperger's Syndrome with High Intellectual Potential: the cover-up behind late diagnosis?]. *L'Évolution Psychiatrique*, 86 (1), 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.evopsy.2020.06.012>

- De Matos, M. G., Calmeiro, L., & Da Fonseca, D. (2009). Effet de l'activité physique sur l'anxiété et la dépression. *La presse médicale*, 38(5), 734-739. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2008.08.015>
- Delhay-Bouchaud, N. (2001). Développement du système nerveux central chez les mammifères. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 31(2), 63-82. [https://doi.org/10.1016/S0987-7053\(01\)00249-0](https://doi.org/10.1016/S0987-7053(01)00249-0)
- Deloor, P. (2019). *Attachement et Haut Potentiel. Influence de l'attachement aux parents et à l'enseignant sur la réussite scolaire des enfants HP* [Mémoires de la Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation, Université de Liège]. <http://hdl.handle.net/2268.2/7840>
- Demetriou, E. A., DeMayo, M. M., & Guastella, A. J. (2019). Executive Function in Autism Spectrum Disorder : History, Theoretical Models, Empirical Findings, and Potential as an Endophenotype. *Frontiers in Psychiatry*, 10, 753. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00753>
- Dempsey, J., Ahmed, K., Simon, A. R., Hayutin, L. G., Monteiro, S., & Dempsey, A. G. (2021). Adaptive Behavior Profiles of Intellectually Gifted Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 42(5), 374- 379. <https://doi.org/10.1097/DBP.0000000000000907>
- Denis, D., Toesca, E., Zanin, E., Gambarelli, N., & Girard, N. (2008). 166 Nystagmus congénital: intérêt de l'IRM. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 31, 64. [https://doi.org/10.1016/S0181-5512\(08\)70762-9](https://doi.org/10.1016/S0181-5512(08)70762-9)
- Denis, H., & Baghdadli, A. (2017). Les troubles anxieux de l'enfant et l'adolescent. *Archives de pédiatrie*, 24(1), 87-90. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2016.10.006>
- Desco, M., Navas-Sanchez, F. J., Sanchez-González, J., Reig, S., Robles, O., Franco, C., Guzmán-De-Villoria, J.A., García-Barreno, P., & Arango, C. (2011). Mathematically gifted adolescents use more extensive and more bilateral areas of the fronto-parietal network than controls during executive functioning and fluid reasoning tasks. *Neuroimage*, 57(1), 281-292. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.03.063>
- Desgranges, B., Laisney, M., Bon, L., Duval, C., Mondou, A., Bejanin, A., Fliss, R., Beaunieux, H., Eustache, F., & Muckle, G. (2012). TOM-15 : Une épreuve de fausses croyances pour évaluer la théorie de l'esprit cognitive. *Revue de neuropsychologie*, 4(3), 216. <https://doi.org/10.3917/rne.043.0216>

- DeVries, R. (1974). Relationships among Piagetian, IQ, and achievement assessments. *Child development*, 3 (45), 746-756. <https://doi.org/10.2307/1127841>
- Dewey, D., & Kaplan, B. J. (1994). Subtyping of developmental motor deficits. *Developmental Neuropsychology*, 10(3), 265-284. <https://doi.org/10.1080/87565649409540583>
- Diezmann, C. M., & Walters, J. J. (1997). Bright but bored: Optimising the environment for gifted children. *Australasian Journal of Early Childhood*, 22(2), 17-21. <https://doi.org/10.1177/183693919702200205>
- DiPietro, J. A., Novak, M. F. S. X., Costigan, K. A., Atella, L. D., & Reusing, S. P. (2006). Maternal Psychological Distress During Pregnancy in Relation to Child Development at Age Two. *Child Development*, 77(3), 573-587. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00891.x>
- Domes, G., Heinrichs, M., Michel, A., Berger, C., & Herpertz, S. C. (2007). Oxytocin improves “mind-reading” in humans. *Biological psychiatry*, 61(6), <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.07.015>
- Dunn, W. (1999). *Sensory Profile*. Psychological Corporation
- Edelman, G. (1992). *Biologie de la conscience*. O. Jacob.
- Ego, A. (2013). Définitions: petit poids pour l'âge gestationnel et retard de croissance intra-utérin. *Journal de gynécologie obstétrique et biologie de la reproduction*, 42(8), 872-894. <https://doi.org/10.1016/j.jgyn.2013.09.012>
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake, & P. Shah, *Models of working memory* (p. 102-134). Cambridge University Press
- Escera, C. (2017). The role of the auditory brainstem in regularity encoding and deviance detection. In N. Kraus, S. Anderson, T. White-Schwoch, R. R. Fay, A. N. Popper (Eds.), *The Frequency-Following Response* (p. 101-120). Springer
- Evans, J. S. (1998). Matching Bias in Conditional Reasoning : Do We Understand it After 25 Years ? *Thinking & Reasoning*, 4(1), 45-110. <https://doi.org/10.1080/135467898394247>
- Extremera, N., & Fernández-Berrocal, P. (2005). Perceived emotional intelligence and life satisfaction : Predictive and incremental validity using the Trait Meta-Mood

- Scale. *Personality and Individual Differences*, 39(5), 937-948. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.03.012>
- Falk, R. F., Lind, S., Miller, N. B., Piechowski, M. M., & Silverman, L. K. (1999). *The Overexcitability Questionnaire – Two (OEQ-II): Manual, Scoring System, and Questionnaire*. Institute for the Study of Advanced Development.
- Farmer, M., Baille, N., Doublet, C., & Kojayan, R. (2021). 1 000 jours pour changer l’avenir : ces signes précoces de troubles du neurodéveloppement permettant une prise en charge précoce. *Périnatalité*, 13(2), 68-76. <https://doi.org/10.3166/rmp-2021-0117>
- Farmer, M. (2016). Caractérisation clinique et par la tomographie d’émission par positrons quantitative du trouble de l’acquisition de la coordination.
- Farmer, M., Echenne, B., & Bentourkia, M. H. (2016). Study of clinical characteristics in young subjects with developmental coordination disorder. *Brain and Development*, 38(6), 538-547. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2015.12.010>
- Fay, E., Trost, G., & Gittler, G. (2001). *Intelligenz-Struktur-Analyse (ISA)*. Swets Test Services.
- Fehm, L., & Schmidt, K. (2006). Performance anxiety in gifted adolescent musicians. *Journal of anxiety disorders*, 20(1), 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2004.11.011>
- Feinstein, L. (2003). Inequality in the Early Cognitive Development of British Children in the 1970 Cohort. *Economica*, 70(277), 73-97. <https://doi.org/10.1111/1468-0335.t01-1-00272>
- Fenoglio, K. A., Chen, Y., & Baram, T. Z. (2006). Neuroplasticity of the hypothalamic–pituitary–adrenal axis early in life requires recurrent recruitment of stress-regulating brain regions. *Journal of Neuroscience*, 26(9), 2434-2442. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4080-05.2006>
- Ferretti, R. P., & Butterfield, E. C. (1992). Intelligence-related differences in the learning, maintenance, and transfer of problem-solving strategies. *Intelligence*, 16(2), 207-223. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(92\)90005-C](https://doi.org/10.1016/0160-2896(92)90005-C)
- Field, T., Diego, M., Hernandez-Reif, M., Figueiredo, B., Deeds, O., Ascencio, A., Schanberg, S., & Kuhn, C. (2010). Comorbid depression and anxiety effects on pregnancy and neonatal outcome. *Infant Behavior and Development*, 33(1), 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2009.10.004>

- Field, T., Harding, J., Yando, R., & Gonzalez, K. (1998). Feelings and attitudes of gifted students. *Adolescence*, 33(130), 331.
- Flanagan, D. P., & Alfonso, V. C. (2017). *Essentials of WISC-V assessment*. John Wiley & Sons
- Flanagan, D. P., Ortiz, S. O., Alfonso, V. C., Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2013). *Essentials of Cross-Battery Assessment* (3^e éd.). John Wiley & Sons.
- Flanagan, D.P. & Kaufman, A.S. (2009). *Essentials of WISC-IV assessment* (2nd ed). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick, *The nature of intelligence* (p. 231-235). John Wiley & Sons.
- Flavell, J. H. (1985). Développement métacognitif. In J. Bideaud & M. Richelle, *Psychologie développementale. Problèmes et réalités* (p. 29-41). Pierre Mardaga.
- Flint, L. J. (2001). Challenges of identifying and serving gifted children with ADHD. *Teaching Exceptional Children*, 33(4), 62-69. <https://doi.org/10.1177/004005990103300409>
- Foley Nicpon, M., Doobay, A. F., & Assouline, S. G. (2010). Parent, teacher, and self perceptions of psychosocial functioning in intellectually gifted children and adolescents with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(8), 1028-1038. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-0952-8>
- Fombonne, E., Chehdan, F., Carradec, A., Achard, S., Navarro, N., & Reis, S. (1988). Le *Child Behavior Checklist* : un instrument pour la recherche en psychiatrie de l'enfant. *Psychiatry and Psychobiology*, 3(6), 409-418. <https://doi.org/10.1017/s0767399x00002297>
- Fonagy, P., & Allison, E. (2014). The role of mentalizing and epistemic trust in the therapeutic relationship. *Psychotherapy*, 51(3), 372-380. <https://doi.org/10.1037/a0036505>
- Fournier Del Castillo, M. C., Maldonado Belmonte, M. J., Ruiz-Falcó Rojas, M. L., López Pino, M. N., Bernabeu Verdú, J., & Suárez Rodríguez, J. M. (2010). Cerebellum Atrophy and Development of a Peripheral Dysgraphia : A Paediatric Case. *The Cerebellum*, 9(4), 530-536.
- Franc, N., Maury, M., & Purper-Ouakil, D. (2009). Trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH): quels liens avec

- l'attachement?. *L'Encéphale*, 35(3), 256-261.
<https://doi.org/10.1016/j.encep.2008.04.007>
- Fransson, P., Patel, M., Magnusson, M., Berg, S., Almladh, P., & Gomez, S. (2008). Effects of 24-hour and 36-hour sleep deprivation on smooth pursuit and saccadic eye movements. *Journal of Vestibular Research*, 18(4), 209-222.
<https://doi.org/10.3233/ves-2008-18404>
- Fumeaux, P., & Revol, O. (2014). Haut potentiel. In *F. Bange (dir.) Aide mémoire-TDA/H en, 57 notions* (p.326-333). Dunod
<https://doi.org/10.3917/dunod.bange.2014.01.0326>
- Fürst, G. (2016). Créativité, apprentissage, intelligence et personnalité. *Revue française de pédagogie*, 197 (4), 23-34. <https://doi.org/10.4000/rfp.5143>
- Gagné, D., & Franck, A. (2008). Québec-Lévis: dialogue interrives. *Continuité*, (116), 51-53.
- Gagné, F. (1983). Douance et talent: deux concepts à ne pas confondre [Giftedness and talent: Two concepts not to be confused]. *Apprentissage et Socialisation*, 6(3), 146–159.
- Gagné, F. (1985). Giftedness and Talent : Reexamining a Reexamination of the Definitions. *Gifted Child Quarterly*, 29(3), 103-112.
<https://doi.org/10.1177/001698628502900302>
- Gagné, F. (1995). From giftedness to talent : A developmental model and its impact on the language of the field. *Roeper Review*, 18(2), 103-111.
<https://doi.org/10.1080/02783199509553709>
- Gagné, F. (2009). Building gifts into talents: Brief overview of the DMGT 2.0. *Gifted*, (152), 5-9.
- Gainotti, M. A. (1997). *Jean Piaget (1896-1980)*. *International Sociology*, 12(3), 373–379. <https://doi.org/10.1177/026858097012003006>
- Gardner, H. (1993). *Multiple intelligences: The theory in practice*. Basic books.
- Gardner, M. Y. (1997). *Test of Auditory Perceptual Skill - Revised*. Pro-Ed.
- Gaspard, J. L., Courtinat-Camps, A., & Crabié, J. P. (2010). Haut potentiel: position subjective et rapport au savoir. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 58(5), 327-332. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2010.01.005>
- Gaultney, J. F., Bjorklund, D. F., & Goldstein, D. (1996). To be young, gifted, and strategic: Advantages for memory performance. *Journal of experimental child psychology*, 61(1), 43-66. <https://doi.org/10.1006/jecp.1996.0002>

- Gauvrit, N. (2021). Performances scolaires et académiques. In N. Clobert & N. Gauvrit (eds.), *Psychologie du haut potentiel* (p.165-173). De Boeck Supérieur.
- Gauvrit, N., & Guez, A. (2018). Réussite scolaire et professionnelle des personnes à haut potentiel intellectuel. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 154, 313-318.
- Gaymard, B., Giannitelli, M., Challes, G., Rivaud-Péchoux, S., Bonnot, O., Cohen, D., & Xavier, J. (2017). Oculomotor impairments in developmental dyspraxia. *The Cerebellum*, 16(2), 411-420. <https://doi.org/10.1007/s12311-016-0817-6>
- Geake, J. G. (2008). High abilities at fluid analogizing: A cognitive neuroscience construct of giftedness. *Roeper Review*, 30(3), 187-195. <https://doi.org/10.1080/02783190802201796>
- Gérard, C., & Dugas, M. (1991). Dyspraxie de développement: proposition de typologie. In *Annales de réadaptation et de médecine physique* 34 (4), 325-332.
- Gere, D. R., Capps, S. C., Mitchell, D. W., & Grubbs, E. (2009). Sensory sensitivities of gifted children. *The American Journal of Occupational Therapy*, 63(3), 288-295. <https://doi.org/10.5014/ajot.63.3.288>
- Geschwind, N., & Behan, P. (1982). Left-handedness: Association with immune disease, migraine, and developmental learning disorder. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(16), 5097-5100. <https://doi.org/10.1073/pnas.79.16.5097>
- Gibert, N., & Dumay, P. (2018). *Ados et étudiants surdoués: Trouver sa voie et s'épanouir*. Vuibert.
- Gillots, E. (2016). Le Haut Potentiel Intellectuel. *Gestalt*, 1(48-49), 245-259. <https://doi.org/10.3917/gest.048.0245>
- Gilly, M., Verba-Rad, M., & Zazzo, R. (1966). *Nouvelle échelle métrique de l'intelligence (1) : Principes de construction et d'utilisation. Test de développement mental pour enfants de 3 à 14 ans (French Edition)*. Armand Colin (réédition numérique FeniXX).
- Gioia, G.A., Isquith, P.K, Guy S.C., & Kenworthy, L. (2016). *Behavior Rating Inventory of Executive Function, Second Edition (BRIEF-2)*. Psychological Assessment Resource.
- Glaser, R., & Chi, M. T. H. (1988). Overview. In M. T. H. Chi, R. Glaser, & M. J. Farr (Eds.), *The nature of expertise* (p. 15-28). Hillsdale, NJ: Earlbaum.

- Gloger-Tippel, G., König, L. & Lahl, O. (2008). Représentations d'attachement évaluées avec les histoires à compléter et troubles du comportement chez des enfants de 6 ans. *Enfance*, 60 (1), 42-50. <https://doi.org/10.3917/enf.601.0042>
- Golden, C. J. (1978). *Stroop Color and Word Test: A Manual for Clinical and Experimental Uses*. Wood Dale, Illinois: Stoelting Company.
- Goldschmidt, I. (2017). Haut Potentiel ou zone(s) de hautes potentialités. In S. Brasseur & C. Cuhe (Eds.), *Le haut potentiel en questions* (p. 27-32). Mardaga.
- Golse, B. (2001). Attachement et psychanalyse : ce que Serge Lebovici nous a transmis à propos de la transmission. *Spirale*, 17(1), 83-86. <https://doi.org/10.3917/spi.017.0083>
- Gomez, R., Stavropoulos, V., Vance, A., & Griffiths, M. D. (2020). Gifted children with ADHD: how are they different from non-gifted children with ADHD?. *International Journal of Mental Health and Addiction*, 18(6), 1467-1481. <https://doi.org/10.1007/s11469-019-00125-x>
- Gonzalez, C. C., Mon-Williams, M., Burke, S., & Burke, M. R. (2016). Cognitive Control of Saccadic Eye Movements in Children with Developmental Coordination Disorder. *PLOS ONE*, 11(11), e0165380. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165380>
- Goodman, R. (1997). The Strengths and Difficulties Questionnaire : A Research Note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 38(5), 581-586. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1997.tb01545.x>
- Gordon, N. (1966). Benign Congenital Hypotonia: A Syndrome or a Disease. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 8(3), 330-335. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1966.tb01755.x>
- Gottfried, A. E., & Gottfried, A. W. (2004). Toward the Development of a Conceptualization of Gifted Motivation. *Gifted Child Quarterly*, 48(2), 121-132. <https://doi.org/10.1177/001698620404800205>
- Gottfried, A. W., Gottfried, A. E., Bathurst, K., & Guerin, D. W. (1994). *Gifted IQ: Early developmental aspects-the Fullerton longitudinal study*. Springer Science & Business Media.
- Goyen, T. A., & Duff, S. (2005). Discriminant validity of the Developmental Test of Visual-Motor Integration in relation to children with handwriting dysfunction. *Australian Occupational Therapy Journal*, 52(2), 109-115. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1630.2005.00488.x>

- Graham, S., Struck, M., Santoro, J., & Berninger, V. W. (2006). Dimensions of Good and Poor Handwriting Legibility in First and Second Graders : Motor Programs, Visual–Spatial Arrangement, and Letter Formation Parameter Setting. *Developmental Neuropsychology*, 29(1), 43-60. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2901_4
- Grant, D. A., & Berg, E. A. (1993). Wisconsin card sorting test. *Journal of Experimental Psychology*.
- Green, D., Chambers, M., & Sugden, D. (2008). Does subtype of developmental coordination disorder count : Is there a differential effect on outcome following intervention ? *Human Movement Science*, 27(2), 363-382. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.009>
- Grégoire J. (1998) Assess the child's intelligence. Mardagua.
- Grégoire, J. (2009) *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant. Fondements et pratique du WISC-IV*. Mardaga.
- Grégoire, J. (2009). *Réussir à apprendre*.
- Grégoire, J. (2017). Comment interpréter les indices du Wisc-v ? *Le Journal des psychologues*, 343(1), 24-29. <https://doi.org/10.3917/jdp.343.0024>
- Grégoire, J. (2019). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant: Fondements et pratique du WISC-V*. Mardaga.
- Grégoire, J. (2020). Les différences intellectuelles entre garçons et filles. Trente-cinq ans d'évolution du WISC-R au WISC-V. *Approche Neuropsychologique des apprentissages de l'enfant*, 169, 673.
- Grégoire, J. (2021). Autisme et haut potentiel intellectuel. Dans N. Clobert & N. Gauvrit, *Psychologie du haut potentiel* (p. 295-308). De Boeck.
- Griveau, A. (2012). Traitement de la détresse respiratoire des prématurés. Un agoniste de la voie de signalisation hedgehog prévient les effets néfastes des glucocorticoïdes *médecine/sciences*, 28(2), 141-143. <https://doi.org/10.1051/medsci/2012282008>
- Gross, M. U. (1999). Small poppies : *Highly gifted children in the early years*. *Roeper Review*, 21(3), 207-214. <https://doi.org/10.1080/02783199909553963>
- Gross, M. U. (2000). Exceptionally and profoundly gifted students: An underserved population. *Understanding Our Gifted*, 12(2), 3-9.
- Groth-Marnat, G. (2009). *Handbook of psychological assessment* (5th ed). John Wiley & Sons.

- Grubar, J. C. (2000). *La précocité intellectuelle: de la mythologie à la génétique* (2nd ed). 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2013.02.001>
- Guénoilé, F., Speranza, M., Louis, J., Fourneret, P., Revol, O., & Baleyte, J. M. (2015). Wechsler profiles in referred children with intellectual giftedness: associations with trait-anxiety, emotional dysregulation, and heterogeneity of Piaget-like reasoning processes. *European journal of paediatric neurology*, 19 (4), 402-410. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2015.03.006>
- Guez, A., Peyre, H., le Cam, M., Gauvrit, N., & Ramus, F. (2018). Are high-IQ students more at risk of school failure ? *Intelligence*, 71, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.09.003>
- Guignard-Perret, A., Thieux, M., Guyon, A., Mazza, S., Zhang, M., Revol, O., Plancoulaine, S., & Franco, P. (2020). Sleep of Children with High Potentialities : A Polysomnographic Study. *Journal of Clinical Medicine*, 9(10), 3182. <https://doi.org/10.3390/jcm9103182>
- 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>
- Guignard, J. H., Jacquet, A. Y., & Lubart, T. I. (2012). Perfectionism and Anxiety : A Paradox in Intellectual Giftedness ? *PLoS ONE*, 7(7), e41043. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041043>
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444-454. <https://doi.org/10.1037/h0063487>
- Guillon, M., Wurmberg, D. & Ertle, S. (2018). La clinique psychiatrique de l'adolescent suicidaire repéré à haut potentiel intellectuel. *L'information psychiatrique*, 94(1), 53-57. <https://doi.org/10.1684/ipe.2018.1742>
- Guilmain, J. (1971). The Enigmatic Beasts of the Lindau Gospels Lower Cover. *Gesta*, 10(1), 3-18. <https://doi.org/10.2307/766563>
- Habib, M. (2016). *Tronche de zèbre : ma vie d'enfant précoce* de Vincent Thibodeau, Édition JC Lattès. *Cerveau & Psycho*, 80, 92-92. <https://doi.org/10.3917/cerpsy.080.0092>

- Habib, M., & Camus-Charron, M. (2019). *J'ai des DYS dans ma classe!: Guide pratique pour les enseignants*. De Boeck Supérieur.
- Haier, R. J., Jung, R. E., Yeo, R. A., Head, K., & Alkire, M. T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *Neuroimage*, 23(1), 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.04.025>
- Haier, R. J., Siegel, B. V., Nuechterlein, K. H., Hazlett, E., Wu, J. C., Paek, J., Browning, H. L., & Buchsbaum, M. S. (1988). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*, 12(2), 199-217. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(88\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(88)90016-5)
- Haier, R. J., Siegel, B., Tang, C., Abel, L., & Buchsbaum, M. S. (1992). Intelligence and changes in regional cerebral glucose metabolic rate following learning. *Intelligence*, 16(3-4), 415-426. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(92\)90018-M](https://doi.org/10.1016/0160-2896(92)90018-M)
- Hamdioui, S., & Lotfi, S. (2016). Psychomotor Disorders in Schizophrenia: A Systematic Review. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(4), 1078-1085. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.04.10388>
- Hamdioui, S., & Vaivre-Douret, L. (2020). Clinical markers of dysgraphia according to intellectual quotient in children with developmental coordination disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders*, 4(6), 366-382. <https://doi.org/10.26502/jppd.2572-519x0119>
- Hamdioui, S., & Vaivre–Douret, L. (2022). Existe-t-il un développement moteur et psychoaffectif spécifique de l'enfant à haut potentiel? Influence sur les activités de la vie quotidienne et sur le profil du quotient intellectuel. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2022.01.008>
- Hamdioui, S., Cannafarina, A., & Vaivre-Douret, L. (2021). Do Children with High Intellectual Potential have an Early Motor Development and What is the Impact on IQ Profile?. *Journal of Pediatrics, Perinatology and Child Health*, 5(1), 52-71. <https://doi.org/10.26502/jppch.74050063>
- Hamdioui, S., Robert, M. P., Rateaux, M., Clouard, C., & Vaivre-Douret, L. (2022). Neurodevelopmental Disorder in a Child with High Intellectual Potential: Contribution of an Integrative Neuropsychomotor Standardized Assessment, Neuropsychological, and Eye-Tracking in a Single-Case Study. *Advances in*

Neurodevelopmental Disorders, 6(1), 84-99. <https://doi.org/10.1007/s41252-022-00236-y>

- Hannah, C. L., & Shore, B. M. (1995). Metacognition and high intellectual ability: Insights from the study of learning-disabled gifted students. *Gifted Child Quarterly*, 39(2), 95-109. <https://doi.org/10.1177/001698629503900206>
- Harezlak, K., Kasprowski, P., & Stasch, M. (2014). Towards Accurate Eye Tracker Calibration – Methods and Procedures. *Procedia Computer Science*, 35, 1073-1081. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.08.194>
- Harnishfeger, K. K., & Bjorklund, D. F. (1994). A developmental perspective on individual differences in inhibition. *Learning and individual differences*, 6(3), 331-355. [https://doi.org/10.1016/1041-6080\(94\)90021-3](https://doi.org/10.1016/1041-6080(94)90021-3)
- Haroutounian, J. (2000). Perspectives of musical talent: A study of identification criteria and procedures. *High Ability Studies*, 11(2), 137-160. <https://doi.org/10.1080/13598130020001197>
- Hartnett, D. N., Nelson, J. M., & Rinn, A. N. (2004). Gifted or ADHD? The possibilities of misdiagnosis. *Roeper Review*, 26(2), 73-76. <https://doi.org/10.1080/02783190409554245>
- Hay, P. K., Gross, M. U., Hoekman, K., & Rogers, K. B. (2007). Prosocial reasoning and empathy in gifted children. *Australasian Journal of Gifted Education*, 16(2), 5-14. <https://search.informit.org/doi/10.3316/ielapa.797298560695748>
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Curtiss, G. (1993). *Wisconsin Card Sorting Test manual: Revised and expanded Psychological Assessment Resources*. Psychological Assessment Resources
- Heller, K.A., & Perleth, C. (2008). The Munich High Ability Test Battery (MHBT): A multidimensional, multimethod approach. *Psychology Science Quarterly*, 50(2), 173-188.
- Hemptinne, J. (1979). L'ingénieur face au vivant. *European Journal of Engineering Education*, 4(2), 113-118. <https://doi.org/10.1080/0304379790040207>
- Henderson, S., Sugden, D., & Barnett, A.L. (2007). *Movement assessment battery for children-2 (MABC-2)*. Pearson
- Hendrickson, D.E., & Hendrickson, A.E. (1982). The biological basis of intelligence. In H.J. Eysenck (Eds.), *A model for intelligence*. Springer-Verlag.
- Hirjak, D., Wolf, R. C., Koch, S. C., Mehl, L., Kelbel, J. K., Kubera, K. M., Traeger, T., Fuchs, T., & Thomann, P. A. (2014a). Neurological Abnormalities in Recent-

Onset Schizophrenia and Asperger-Syndrome. *Frontiers in Psychiatry*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2014.00091>

- Hirjak, D., Robert, S., Bram, H., Thomas, S., Ulrich, S., Johannes and Philipp, J., (2014b). From cortical signature of neurological soft signs in recent-onset schizophrenia. *Brain topography*, 27(2): 296-306. <https://doi.org/10.1007/s10548-013-0292-Z>
- Hirjak, D., Wolf, R. C., Kubera, K. M., Stieltjes, B., Maier-Hein, K. H., & Thomann, P. A. (2015). Neurological soft signs in recent-onset schizophrenia: focus on the cerebellum. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 60, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2015.01.011>
- Hoare, D. (1994). Subtypes of Developmental Coordination Disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 11(2), 158-169. <https://doi.org/10.1123/apaq.11.2.158>
- Hofer, G., Mraulak, V., Grinschgl, S., & Neubauer, A. C. (2022). Less-Intelligent and Unaware? Accuracy and Dunning–Kruger Effects for Self-Estimates of Different Aspects of Intelligence. *Journal of Intelligence*, 10(1), 10. <https://doi.org/10.3390/jintelligence10010010>
- Hollingworth, L. S. (1924). Provisions for intellectually superior children. *The child : His nature and his needs : A survey of present-day knowledge concerning the child nature and the promotion of the well-being and education of the young.*, 277-299. <https://doi.org/10.1037/13450-014>
- Hollingworth, L. S. (1942). The development of personality in highly intelligent children. *Children above 180 IQ Stanford-Binet : Origin and development.*, 253-266. <https://doi.org/10.1037/13574-019>
- Holocher-Ertl, S., & Seistock, D. (2019). Relative weaknesses in visual-motor skills und visual-spatial perception as risk factors inhibiting the development of gifted children and adolescents: an analysis of AID 3 intelligence-test profiles for children with superior intelligence. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 61(3), 301-319.
- Hopkins, B. R. (2011), *The Law of Tax-Exempt Organizations* (10 ed.). John Wiley and Sons.

- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1966). Refinement and test of the theory of fluid and crystallized general intelligences. *Journal of Educational Psychology*, 57(5), 253-270. <https://doi.org/10.1037/h0023816>
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development : object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development*, 15(1), 63-73. [https://doi.org/10.1016/s0885-2014\(00\)00015-0](https://doi.org/10.1016/s0885-2014(00)00015-0)
- Houdé, O., & Borst, G. (2014). Measuring inhibitory control in children and adults : brain imaging and mental chronometry. *Frontiers in Psychology*, 5, 616. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00616>
- Houdé, O., & Borst, G. (2015). Evidence for an inhibitory-control theory of the reasoning brain. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 148. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00148>
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., Lubin, A., Turbelin, M. R., Rossi, S., Simon, G., Delcroix, N., Lambertson, F., Vigneau, M., Wisniewski, G., Vicet, J. R., & Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children : A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(3), 332-346. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.04.008>
- Houdé, O., Zago, L., Crivello, F., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Access to Deductive Logic Depends on a Right Ventromedial Prefrontal Area Devoted to Emotion and Feeling : Evidence from a Training Paradigm. *NeuroImage*, 14(6), 1486-1492. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0930>
- Hurlemann, R., Patin, A., Onur, O. A., Cohen, M. X., Baumgartner, T., Metzler, S., Dziobek, I., Gallinat, J., Wagner, M., Maier, W., & Kendrick, K. M. (2010). Oxytocin Enhances Amygdala-Dependent, Socially Reinforced Learning and Emotional Empathy in Humans. *Journal of Neuroscience*, 30(14), 4999-5007. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.5538-09.2010>
- Ingster-Moati, I., Vaivre-Douret, L., Quoc, E. B., Albuisson, E., Dufier, J. L., & Golse, B. (2009). Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children: a neuro-developmental study. *European journal of paediatric neurology*, 13(4), 362-366. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2008.07.003>
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence*. Routledge.

- Insee et la Drees le 26 juillet 2021 (Drees et Insee, 2021). <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/publications-communique-de-presse/les-dossiers-de-la-drees/caracteristiques-socio-economiques-des>
- Inserm. (2019). *Trouble développemental de la Coordination (TDC) ou dyspraxie*. Collection Expertise Collective, EDP Sciences. <http://hdl.handle.net/10608/10239>
- Irving, M., Zaouche Gaudron, C., Raynaud, J. P., Delpierre, C., & Bréhin, C. (2020). Bibliographie générale. *Santé publique*, 114 (4), 66-68. <https://doi.org/10.3917/aedesp.116.0066>
- Jaber, M. (2017). Le cervelet comme acteur majeur dans les troubles moteurs des syndromes autistiques. *L'Encéphale*, 43(2), 170-175. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2016.03.018>
- Jacobvitz, D., Hazen, N., Curran, M., & Hitchens, K. (2004). Observations of early triadic family interactions: Boundary disturbances in the family predict symptoms of depression, anxiety, and attention-deficit/hyperactivity disorder in middle childhood. *Development and psychopathology*, 16(3), 577-592. <https://doi.org/10.1017/S0954579404004675>
- Jacquier-Roux, M., Valdois, S., Zorman, M., Lequette, C., & Pouget, G. (2005). *ODEDYS: outil de dépistage des dyslexies, version 2*. Cogni-Sciences.
- Jambaqué, I. (2004). Contribution de la neuropsychologie développementale à l'étude des sujets à haut potentiel : une revue de questions [Contribution of developmental neuropsychology to the study of high potential subjects: a review of questions]. *Psychologie française*, 49 (3), 267-267. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.05.003>
- Janos, P. M., & Robinson, N. M. (1985). Psychosocial development in intellectually gifted children. *The gifted and talented : Developmental perspectives.*, 149-195. <https://doi.org/10.1037/10054-006>
- Jazz Novo Ober Consulting. (2018). Ober Consulting Homepage®. <http://www.ober-consulting.com/9/lang/1/>.
- 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>

- Jover, M., Schmitz, C., Bosdure, E., Chabrol, B., & Assaiante, C. (2005). Développement de l'anticipation posturale chez l'enfant sain et pathologique: revue de travaux. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages Chez L'enfant*. 81, 66-75.
- Jurgens, M. A., Levy-Rueff, M., Goffinet, F., Golse, B., & Beauquier-Macotta, B. (2010). Étude des propriétés psychométriques d'une échelle d'attachement prénatal. Version française de la Prenatal Attachment Inventory (PAI, Müller, 1993). *L'Encéphale*, 36(3), 219-225.
<https://doi.org/10.1016/j.encep.2009.06.006>
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous child*, 2(3), 217-250.
- Kaplan, B. J., Crawford, S. G., Dewey, D. M., & Fisher, G. C. (2000). The IQs of children with ADHD are normally distributed. *Journal of Learning Disabilities*, 33(5), 425-432. <https://doi.org/10.1177/002221940003300503>
- Kapoula, Z., Vernet, M., Yang, Q., & Bucci, M. P. (2008). Binocular coordination of saccades : development, aging and cerebral substrate. *Journal of Eye Movement Research*, 2(3). <https://doi.org/10.16910/jemr.2.3.3>
- Karande, S., Kanchan, S., & Kulkarni, M. (2008). Clinical and psychoeducational profile of children with borderline intellectual functioning. *The Indian Journal of Pediatrics*, 75(8), 795-800. <https://doi.org/10.1007/s12098-008-0101-y>
- Karpinski, R. I., Kolb, A. M. K., Tetreault, N. A., & Borowski, T. B. (2018). High intelligence: A risk factor for psychological and physiological overexcitabilities. *Intelligence*, 66(1), 8-23.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.09.001>
- 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>
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2004). *Manual for the Kaufman Assessment Battery for Children (2nd ed.)*. Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Kaufman, A. S., Raiford, S. E., & Coalson, D. L. (2015). *Intelligent testing with the WISC-V*. John Wiley & Sons.

- Kaufman, A.S. & Kaufman, N.L. (2008). KABC-II. Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant, 2ème édition. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Kemeny, M. E. (2003). The psychobiology of stress. *Current directions in psychological science*, 12(4), 124-129. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.01246>
- Kermarrec, S., Attinger, L., Guignard, J. H., & Tordjman, S. (2020). Anxiety disorders in children with high intellectual potential. *BJPsych open*, 6(4), 1-6. <https://doi.org/10.1192/bjo.2019.104>
- Kincaid, D. (1969). A Study of Highly Gifted Elementary Pupils. *Gifted Child Quarterly*, 13(4), 264-267. <https://doi.org/10.1177/001698626901300408>
- Kiseleva, N., & Kiselev, S. (2021). Visuomotor reaction time can predict IQ in children. *European Psychiatry*, 64(1), 487. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2021.1301>
- Klaus, M. (1998). Mother and infant: early emotional ties. *Pediatrics*, 102(Supplement_E1), 1244-1246. <https://doi.org/10.1542/peds.102.SE1.1244>
- Klonoff, H. (1972). IQ Constancy and Age. *Perceptual and Motor Skills*, 35(2), 527-534 <https://doi.org/10.2466/pms.1972.35.2.527>
- Knauff, M., Mulack, T., Kassubek, J., Salih, H. R., & Greenlee, M. W. (2002). Spatial imagery in deductive reasoning: a functional MRI study. *Cognitive Brain Research*, 13(2), 203-212. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(01\)00116-1](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(01)00116-1)
- Knight, J. A., & Kaplan, E. (2003). *The Handbook of Rey-Osterrieth complex figure usage: Clinical and research applications*. John Wiley & Sons.
- Knobloch, H., & Pasamanick, B. (1963). Predicting intellectual potential in infancy: Some variables affecting the validity of developmental diagnosis. *American Journal of Diseases of Children*, 106(1), 43-51. <https://doi.org/10.1001/archpedi.1963.02080050045009>
- Kohs, S. C. (1920). The Block-Design Tests. *Journal of Experimental Psychology*, 3(5), 357-376. <https://doi.org/10.1037/h0074466>
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2003). *Developmental neuropsychological assessment manual*. Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2007). *NEPSY-II—Second edition*. Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Korkman, M., Kirk, U., Kemp, S., & Plaza M. (2004). *NEPSY : bilan neuropsychologique de l'enfant*. Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.

- Kostogianni, N., & Andronikof, A. (2014). Estime de soi et haut potentiel : une étude Rorschach Système Intégré. *L'Encéphale*, 40(1), 3-8. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2013.01.001>
- Kranzler, J. H., Whang, P. A., & Jensen, A. R. (1994). Task complexity and the speed and efficiency of elemental information processing: Another look at the nature of intellectual giftedness. *Contemporary educational psychology*, 19(4), 447-459. <https://doi.org/10.1006/ceps.1994.1032>
- Krikorian, R., Bartok, J., & Gay, N. (1994). Tower of london procedure : A standard method and developmental data. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16(6), 840-850. <https://doi.org/10.1080/01688639408402697>
- 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.
- Lalanne, C., Falissard, B., Golse, B., & Vaivre-Douret, L. (2012). Refining developmental coordination disorder subtyping with multivariate statistical methods. *BMC medical research methodology*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-12-107>
- Lancon, C., Martinelli, M., Michel, P., Debals, M., Auquier, P., Guedj, E., & Boyer, L. (2015). Comorbidités psychiatriques et qualité de vie chez les sujets adultes à haut potentiel intellectuel: relations avec l'estime de soi. *La Presse Médicale*, 44(5), e177-e184. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2014.11.018>
- Lanfumey, L. (2019). Approche biologique: cerveau en maturation, cerveau en ébullition?. *Les jeunes face à l'alcool, Toulouse Erès, «La vie devant eux*, 73-87. <https://doi.org/10.3917/eres.choqu.2019.01.0073>
- Larochelle, J. C., & de Lévis-Lauzon, C. (2012). *L'apprentissage de la littérature au collégial assisté par une technologie de réseau un potentiel de métacognition, de créativité et d'approfondissement dans une communauté de lecture en émergence: rapport de recherche*. Cégep de Lévis-Lauzon.
- Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological basis of movement* (2nd ed). Human Kinetics.
- Lauria, E. (2015). *Courbes personnalisées versus courbes standardisées pour l'évaluation de la croissance périnatale: une étude prospective dans le service de Néonatalogie à la Maternité Régionale Universitaire de Nancy* [thèse de doctorat, Université de Lorraine]. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733457>

- Lautrey, J. (2003). A pluralistic approach to cognitive differentiation and development. In R. J. Sternberg, J. Lautrey, & T. I. Lubart (Eds.), *Models of intelligence: International perspectives* (p. 117–131). American Psychological Association.
- Lautrey, J., De Ribaupierre, A., & Rieben, L. (1986). Les différences dans la forme du développement cognitif évalué avec des épreuves piagétienne: une application de l'analyse des correspondances. *Cahiers de psychologie cognitive/European bulletin of cognitive psychology*, 6(6), 575-613.
- Lebert, A., Chaby, L., Cuny, M. L., Puget, S., Beccaria, K., & Vergilino-Perez, D. (2018). Interaction entre émotion et contrôle postural chez des enfants et des adolescents porteurs d'un kyste de la fosse postérieure. *Neurophysiologie Clinique*, 48(6), 319-320. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2018.10.022>
- Lebovici, S. (1991). La théorie de l'attachement et la psychanalyse contemporaine. *La psychiatrie de l'enfant*, 34(2), 309.
- Lecendreux, M., Konofal, E., & Faraone, S. V. (2010). Prevalence of Attention Deficit Hyperactivity Disorder and Associated Features Among Children in France. *Journal of Attention Disorders*, 15(6), 516-524. <https://doi.org/10.1177/1087054710372491>
- Lecerf, T., & Canivez, G. L. (2018). Complementary exploratory and confirmatory factor analyses of the French WISC–V: Analyses based on the standardization sample. *Psychological Assessment*, 30 (6), 793. <https://doi.org/10.1037/pas0000526>
- Lecerf, T., & Canivez, G. L. (2021). Exploratory Factor Analyses of the French WISC-V (WISC-V^{FR}) for Five Age Groups : Analyses Based on the Standardization Sample. *Assessment*. <https://doi.org/10.1177/10731911211005170>
- Lecompte, V., Moss, E., Cyr, C., & Pascuzzo, K. (2014). Preschool attachment, self-esteem and the development of preadolescent anxiety and depressive symptoms. *Attachment & human development*, 16(3), 242-260. <https://doi.org/10.1080/14616734.2013.873816>
- Lemerise, E. A., & Arsenio, W. F. (2000). An integrated model of emotion processes and cognition in social information processing. *Child development*, 71(1), 107-118. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00124>
- Leroux, J. A., & Levitt-Perlman, M. (2000). The gifted child with attention deficit disorder : An identification and intervention challenge. *Roeper Review*, 22(3), 171-176. <https://doi.org/10.1080/02783190009554028>

- Lewis, M., Goldberg, S., & Campbell, H. (1969). A Developmental Study of Information Processing within the First Three Years of Life : Response Decrement to a Redundant Signal. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 34(9), 1-41. <https://doi.org/10.2307/1165696>
- Li, B., Wang, Q., Barney, E., Hart, L., Wall, C., Chawarska, K., de Urabain, I. S., Smith, T. J., & Shic, F. (2016). Modified DBSCAN algorithm on oculomotor fixation identification. *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 15, 337-338. <https://doi.org/10.1145/2857491.2888587>
- Li, Y., Liu, Y., Li, J., Qin, W., Li, K., Yu, C., & Jiang, T. (2009). Brain Anatomical Network and Intelligence. *PLoS Computational Biology*, 5(5), e1000395. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000395>
- Libet, B. (1980). Mental phenomena and behavior. *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), 434-434. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00005859>
- Libet, B. (2012). *L'esprit au-delà des neurones*. Dervy.
- Licari, M. K., Alvares, G. A., Varcin, K., Evans, K. L., Cleary, D., Reid, S. L., Glasson, E. J., Bebbington, K., Reynolds, J. E., Wray, J., & Whitehouse, A. J. (2020). Prevalence of Motor Difficulties in Autism Spectrum Disorder : Analysis of a Population-Based Cohort. *Autism Research*, 13(2), 298-306. <https://doi.org/10.1002/aur.2230>
- Liratni, M. (2018). Haut potentiel intellectuel et psychopathologies: position réconciliatrice et pistes thérapeutiques. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 30 (154), 305-312.
- Liratni, M., & Pry, R. (2007). Psychométrie et WISC IV : quel avenir pour l'identification des enfants à haut potentiel intellectuel? [Psychometrics and WISC IV: what future for the identification of children with high intellectual potential?]. *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. (2011). Enfants à haut potentiel intellectuel: psychopathologie, socialisation et comportements adaptatifs. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 59(6), 327-335. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2010.11.005>
- 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>

- 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.
- Little, A. (1972). A Longitudinal Study of Cognitive Development in Young Children. *Child Development*, 43(3), 1024-1034. <https://doi.org/10.2307/1127652>
- Liu, T., Shi, J., Zhang, Q., Zhao, D., & Yang, J. (2007). Neural mechanisms of auditory sensory processing in children with high intelligence. *NeuroReport*, 18(15), 1571-1575. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3282ef7640>
- Longeot, F. (1979). L'échelle de développement de la pensée logique. Manuel EPL-C.
- Lopez, C., Hemimou, C., Dutruel, A., Wallon, P., Jobert, M., & Vaivre-Douret, L. (2016). L'organisation développementale du geste graphomoteur chez l'enfant: résultats préliminaires. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 46(4-5), 268. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2016.09.077>
- Lopez, C., Hemimou, C., Golse, B., & Vaivre-Douret, L. (2018). Developmental dysgraphia is often associated with minor neurological dysfunction in children with developmental coordination disorder (DCD). *Neurophysiologie Clinique*, 48(4), 207-217. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2018.01.002>
- Lord, C., DiLavore, P.C., & Gotham, K. (2012) *Autism diagnostic observation schedule (ADOS)*. Western Psychological Services.
- Louis, J., Revol, O., Nemoz, C., Dulac, R. M., & Fournier, P. (2005). Les facteurs psychophysiologiques de la précocité intellectuelle: résultats d'une enquête comparative chez l'enfant entre 8 et 11 ans. *Archives de pédiatrie*, 12(5), 520-525. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2004.10.022>
- Loureiro, I. S., Lefebvre L, Vaivre-Douret L. (2013). Contribution of intellectual, psychological, developmental and socio-economical data to highlight specific profiles of highly gifted children. In J. C. Kush (Eds.), *Intelligence Quotient: testing, role of genetics and the environment a social outcomes* (p.169-183). Nova publishers.
- Loureiro, I. S., Lowenthal, F., Lefebvre, L., & Vaivre-Douret, L. (2010). Étude des caractéristiques psychologiques et psychobiologiques des enfants à haut potentiel. *Enfance*, 1(1), 27-44. <https://doi.org/10.3917/enf1.101.0027>
- Loureiro, I. S., Lowenthal, L., 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(102), 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>
- Lovibond, S. H., & Lovibond, P. F. (1995). *Manual for the depression anxiety stress scales*. Psychology Foundation of Australia.
- Lubart, T. (2006). *Enfants exceptionnels: Précocité intellectuelle, haut potentiel et talent*. Éditions Bréal.
- Lubart, T., Besançon, M., & Barbot, B. (2011). *EPOC: évaluation du potentiel créatif*. Hogrefe.
- Lubart, T., Besançon, M., & Barbot, B. (2019). La créativité, ressource potentielle de l'enfant et l'adolescent, à évaluer, révéler et développer. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 67(3), 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.02.004>
- Luftig, R. L., & Nichols, M. L. (1990). Assessing the social status of gifted students by their age peers. *Gifted Child Quarterly*, 34(3), 111-115. <https://doi.org/10.1177/001698629003400305>
- Luftig, R. L., & Nichols, M. L. (1991). An assessment of the social status and perceived personality and school traits of gifted students by non-gifted peers. *Roeper Review*, 13(3), 148-153. <https://doi.org/10.1080/02783199109553341>
- Lugaresi, A., Montagna, P., Gallassi, R., & Lugaresi, E. (1988). Extrapyrarnidal Syndrome and Depression Induced by Flunarizine. *European Neurology*, 28(4), 208-211. <https://doi.org/10.1159/000116268>
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. Tavistock
- Lussier, F. (2001). Les styles cognitifs en quatre quadrants. In F. Lussier & J. Flessas, *Neuropsychologie de l'enfant, troubles développementaux et de l'apprentissage* (p. 68-87). Dunod.
- Lussier, F., Guérin, F., Dufresne, A., & Lassonde, M. (1998). Étude normative développementale des fonctions exécutives: la tour de Londres. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*. 10(2), 42-52

- Lysy, K. Z., & Piechowski, M. M. (1983). Personal growth: An empirical study using Jungian and Dabrowskian measures. *Genetic Psychology Monographs*, 108(2), 267-320.
- Lyytinen, H., & Ahonen, T. (1988). Developmental motor problems in children: a six-year longitudinal study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 10 (1) 57.
- MacAllister, W. S., Vasserman, M., Rosenthal, J., & Sherman, E. (2014). Attention and Executive Functions in Children With Epilepsy : What, Why, and What to Do. *Applied Neuropsychology : Child*, 3(3), 215-225. <https://doi.org/10.1080/21622965.2013.839605>
- Macnab, J. J., Miller, L. T., & Polatajko, H. J. (2001). The search for subtypes of DCD : Is cluster analysis the answer ? *Human Movement Science*, 20(1-2), 49-72. [https://doi.org/10.1016/s0167-9457\(01\)00028-8](https://doi.org/10.1016/s0167-9457(01)00028-8)
- Magnat, J., Xavier, J., Zammouri, I., & Cohen, D. (2015). Troubles développementaux de la coordination (TDC) : perspective clinique et synthèse de l'état des connaissances. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 63(7), 446-456. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2015.09.004>
- Magnié M.N., Kahlaoui K., Baillet B., & Richelme C. (2002, July 29th- August 3 rd). *Cognitive maturation: an electrophysiological investigation in gifted children*. [Conférence]. World Congress of Psychophysiology, Montréal, Canada.
- Manly, T. I. H. R., Robertson, I. H., Anderson, V., & Nimmo-Smith, I. (1999). *The test of everyday attention for children (TEA-Ch)*. Thames Valley Test Company.
- Marcel, M. P. (1944). Physiologie du tronc cérébral Le rôle du système réticulaire dans l'organisation de la motricité extra-pyramidale. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 45(1), 321-422. <https://doi.org/10.1007/BF02269890>
- Mariën, P., & Paquier, P. F. (2005). A synthesis of the role of the cerebellum in cognition. *Aphasiology*, 19(1), 3-19. <https://doi.org/10.1080/02687030444000615>
- Mariën, P., Wackenièr, P., De Surgeloose, D., De Deyn, P. P., & Verhoeven, J. (2010). Developmental coordination disorder: disruption of the cerebello-cerebral network evidenced by SPECT. *The Cerebellum*, 9(3), 405-410. <https://doi.org/10.1007/s12311-010-0177-6>

- Marin, L., & Danion, F. (2005). *Neurosciences: contrôle et apprentissage moteur*. Editions Ellipses.
- Marko, M. K., Crocetti, D., Hulst, T., Donchin, O., Shadmehr, R., & Mostofsky, S. H. (2015). Behavioural and neural basis of anomalous motor learning in children with autism. *Brain*, 138(3), 784-797. <https://doi.org/10.1093/brain/awu394>
- Markram, K., & Markram, H. (2010). The intense world theory—a unifying theory of the neurobiology of autism. *Frontiers in human neuroscience*, 224 (4), 1-29. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00224>
- Markram, K., Rinaldi, T., Mendola, D. L., Sandi, C., & Markram, H. (2008). Abnormal fear conditioning and amygdala processing in an animal model of autism. *Neuropsychopharmacology*, 33(4), 901-912. <https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301453>
- Marland, S.P. (1971). *Education of The Gifted and Talented*, Government Printing Office.
- Marsh, H. W., Muthén, B., Asparouhov, T., Lüdtke, O., Robitzsch, A., Morin, A. J. S., & Trautwein, U. (2009). Exploratory Structural Equation Modeling, Integrating CFA and EFA : Application to Students' Evaluations of University Teaching. *Structural Equation Modeling : A Multidisciplinary Journal*, 16(3), 439-476. <https://doi.org/10.1080/10705510903008220>
- Martin, F., Delpont, E., Suisse, G., Richelme, C., & Dolisi, C. (1993). Long latency event-related potentials (P300) in gifted children. *Brain and Development*, 15(3), 173–177. [https://doi.org/10.1016/0387-7604\(93\)90061-c](https://doi.org/10.1016/0387-7604(93)90061-c)
- Martinot, J. L., Zilbovicius, M., Paillère, M. L., Boddaert, N., Artiges, É., & Berthoz, S. (2002). Développement cérébral en psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent. Approche par l'imagerie. *L'Evolution psychiatrique*, 67(1), 122-154. [https://doi.org/10.1016/S0014-3855\(02\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S0014-3855(02)00117-2)
- Massion, J. (1997). *Cerveau et motricité: fonctions sensori-motrices*. FeniXX
- Maugendre, M., & Spitz, E. (2011, June). Santé perçue, anxiété et motivation sportive. In *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique* (Vol. 169, No. 5, pp. 302-308). Elsevier Masson. <https://doi.org/10.1016/j.amp.2009.09.023>
- Mayer, J. D., Caruso, D. R., & Salovey, P. (1999). Emotional intelligence meets traditional standards for an intelligence. *Intelligence*, 27(4), 267-298. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(99\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(99)00016-1)

- Mayer, J. D., Salovey, P., & Caruso, D. (2001). Technical manual for the MSCEIT v. 2.0. Toronto, Canada: MHS Publishers.
- Mazeau, M. (1995). *Déficits visuospatiaux et dyspraxies de l'enfant. Du trouble à la rééducation*. Masson.
- Mazeau, M., Glasel, H. (2003). *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant*. Elsevier Masson.
- McGill, R. J., & Dombrowski, S. C. (2019). Critically reflecting on the origins, evolution, and impact of the Cattell-Horn-Carroll (CHC) model. *Applied Measurement in Education*, 32(3), 216-231. <https://doi.org/10.1080/08957347.2019.1619561>
- 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, *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (p.151-119). The Guilford Press.
- McGrew, K. S. (2005). The Cattell-Horn-Carroll Theory of Cognitive Abilities: Past, Present, and Future. In D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary Intellectual Assessment: Theories, Tests, and Issues* (p. 136–181). The Guilford Press.
- McGrew, K. S., & Wendling, B. J. (2010). Cattell–Horn–Carroll cognitive-achievement relations: What we have learned from the past 20 years of research. *Psychology in the Schools*, 47(7), 651-675. <https://doi.org/10.1002/pits.20497>
- Mcilreavy, L., Freeman, T. C., & Erichsen, J. T. (2019). Two-dimensional analysis of smooth pursuit eye movements reveals quantitative deficits in precision and accuracy. *Translational vision science & technology*, 8(5), 7-7. <https://doi.org/10.1167/tvst.8.5.7>
- Melges, F. T., & Bowlby, J. (1969). Types of hopelessness in psychopathological process. *Archives of general psychiatry*, 20(6), 690-699. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1969.01740180074007>
- Mendaglio, S. (1995). Sensitivity among gifted persons: A multi-faceted perspective. *Roeper Review*, 17(3), 169-172. <https://doi.org/10.1080/02783199509553652>
- Mesulam, M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of neurology*, 10(4), 309-325. <https://doi.org/10.1002/ana.410100402>

- Meulenbroek, R. G., & Van Galen, G. P. (1988). The acquisition of skilled handwriting: Discontinuous trends in kinematic variables. In *Advances in psychology*, 55 (1), 273-281. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)60627-5](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)60627-5)
- Milgram, R.M., Milgram, N.A. (1976). *Personality Characteristics of Gifted Israeli Children*. *The Journal of Genetic Psychology*, 129(2), 185 -194. <https://doi.org/10.1080/00221325.1976.10534029>
- Miller, D. J., Ryan, E. B., Aberger Jr, E., Mcguire, M. D., Short, E. J., & Kenny, D. A. (1979). Relationships between assessments of habituation and cognitive performance in the early years of life. *International Journal of Behavioral Development*, 2(2), 159-170. <https://doi.org/10.1177/016502547900200204>
- Miller, E. M. (1994). Intelligence and brain myelination: A hypothesis. *Personality and individual differences*, 17(6), 803-832. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(94\)90049-3](https://doi.org/10.1016/0191-8869(94)90049-3)
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774-785. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005>
- Milner, D., & Goodale, M. (2006). *The visual brain in action* (2nd ed). Oxford Psychologie Serie.
- Morawska, A., & Sanders, M. R. (2009). Parenting Gifted and Talented Children : Conceptual and Empirical Foundations. *Gifted Child Quarterly*, 53(3), 163-173. <https://doi.org/10.1177/0016986209334962>
- Moré, J. J. (1978). The Levenberg-Marquardt algorithm : Implementation and theory. *Lecture Notes in Mathematics*, 630, 105-116. <https://doi.org/10.1007/bfb0067700>
- Moss, E., St-Laurent, D., Rousseau, D., Parent, S., Gosselin, C., & Saintonge, J. (1999). L'attachement à l'âge scolaire et le développement des troubles de comportement. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, 31(2), 107. <https://doi.org/10.1037/h0087078>
- Mouchiroud, C. (2004). Haut potentiel intellectuel et développement social. *Psychologie française*, 49(3), 293-304. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.05.004>
- Moutard, M. L. (1992). Acquisition du contrôle vésical chez l'enfant. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 22(3), 191-205. [https://doi.org/10.1016/S0987-7053\(05\)80215-1](https://doi.org/10.1016/S0987-7053(05)80215-1)

- Mrazik, M., & Dombrowski, S. C. (2010). The neurobiological foundations of giftedness. *Roeper Review*, 32(4), 224-234. <https://doi.org/10.1080/02783193.2010.508154>
- Mueller, C. E. (2009). Protective Factors as Barriers to Depression in Gifted and Nongifted Adolescents. *Gifted Child Quarterly*, 53(1), 3-14. <https://doi.org/10.1177/0016986208326552>
- Mueller, C. E., & Haines, R. T. (2012). Adolescent perceptions of family connectedness and school belonging: Links with self-concept and depressive symptoms among gifted African American and Hispanic youth. *Gifted Children*, 5(2), 3.
- Mueller, C. E., & Winsor, D. L. (2016). Math and verbal academic self-concept : Subject-specificity across four distinctive groups of high ability adolescents. *Learning and Individual Differences*, 50 (1), 240-245. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.08.002>
- Mueller, C. E., & Winsor, D. L. (2018). Depression, Suicide, and Giftedness : Disentangling Risk Factors, Protective Factors, and Implications for Optimal Growth. *Handbook of Giftedness in Children*, 255-284. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77004-8_15
- Mueller, H. H., Dash, U. N., Matheson, D. W., & Short, R. H. (1984). WISC-R subtest patterning of below average, average, and above average IQ children: A meta-analysis. *Alberta Journal of Educational Research*, 30, 68-85. <https://doi.org/10.1080/02783190309554213>
- Muller, A., & Borer, V. L. (2017). Enquête inter-objective, environnement «augmenté» et développement professionnel. *Questions Vives. Recherches en éducation*, (27). <https://doi.org/10.4000/questionsvives.2097>
- Müller, J. X. (1835). *Handbuch der physiologie des menschen* (Vol. 1). Hölscher.
- Müller, N., & Kury, A. (2013). *Enfants à haut potentiel: un défi pour les enseignants?* [Thèse de doctorat, Haute école pédagogique BEJUNE]. <https://roar.hep-bejune.ch/hepbejune/documents/309805>
- Nadeau, J. (2015). *Adaptation et validation de l'ODÉDYS pour les élèves francophones de 5e année du Nouveau-Brunswick*. [thèse de doctorat, Université de Mancton]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4461.9364>

- Nandi, D., Stein, J., & Aziz, T. (2002). Exploration of the Role of the Upper Brainstem in Motor Control. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, 78(3-4), 158-167. <https://doi.org/10.1159/000068961>
- Navas-Sánchez, F. J., Alemán-Gómez, Y., Sánchez-Gonzalez, J., Guzmán-De-Villoria, J. A., Franco, C., Robles, O., Arango, C., & Desco, M. (2014). White matter microstructure correlates of mathematical giftedness and intelligence quotient. *Human Brain Mapping*, 35(6), 2619-2631. <https://doi.org/10.1002/hbm.22355>
- Neihart, M. (2000). Gifted children with Asperger's syndrome. *Gifted child quarterly*, 44(4), 222-230. <https://doi.org/10.1177/001698620004400403>
- Neihart, M., & Yeo, L. S. (2018). Psychological issues unique to the gifted student. *APA handbook of giftedness and talent.*, 497-510. <https://doi.org/10.1037/0000038-032>
- Nelson, K. C. (1989). Dabrowski's theory of positive disintegration. *Advanced Development*, 1, 1-14.
- Neubauer, A. C., Pribil, A., Wallner, A., & Hofer, G. (2018). The self–other knowledge asymmetry in cognitive intelligence, emotional intelligence, and creativity. *Heliyon*, 4(12), e01061. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e01061>
- Neuville, V., Puentes-Neuman, G., & Terradas, M. M. (2017). L'impact des relations précoces sur le développement cérébral: le trouble réactionnel de l'attachement vu par les neurosciences. *La psychiatrie de l'enfant*, 60(2), 417-436. <https://doi.org/10.3917/psy.602.0417>
- Newman, T. M., Sparrow, S. S., & Pfeiffer, S. I. (2008). The use of the WISC-IV in assessment and intervention planning for children who are *gifted*. In A. Prifitera, & D. H. Saklofske L. G (Eds.), *WISC-IV. Clinical Assessment and Intervention 2e* (p.217–242). Elsevier.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1980). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior Technical Report No. 8006.
- Nusbaum, F., Hannoun, S., Kocevar, G., Stamile, C., Fourneret, P., Revol, O., & Sappey-Marinié, D. (2017). Hemispheric Differences in White Matter Microstructure between Two Profiles of Children with High Intelligence Quotient vs. Controls : A Tract-Based Spatial Statistics Study. *Frontiers in Neuroscience*, 11(1), 173. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00173>

- Nusbaum, F., Revol, O., & Sappey-Marinier, D. (2019). *Les Philo-cognitifs: Ils n'aiment que penser et penser autrement*. Odile Jacob.
- O'Boyle, M. W. (2008). Mathematically gifted children: Developmental brain characteristics and their prognosis for well-being. *Roeper Review*, 30(3), 181-186. <https://doi.org/10.1080/02783190802199594>
- O'Boyle, M. W., & Benbow, C. P. (1990). Enhanced right hemisphere involvement during cognitive processing may relate to intellectual precocity. *Neuropsychologia*, 28(2), 211-216. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(90\)90102-T](https://doi.org/10.1016/0028-3932(90)90102-T)
- Oh, K.J., Lee, H. R., Hong, M. K., & Ha, E.H. (1997). *Manual for the K-CBCL*. Jung-Ang.
- Oksenberg, P. (2020). Haut potentiel. In F. Estienne & H.A Bijleveld (Eds.), *Les bégaiements, comprendre et agir : Plus de 300 exercices* (4th ed, 121-135). Elsevier Masson
- Oldfield, R. (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)
- Oliveira, J. C. D., Barbosa, A. J. G., & Alencar, E. M. L. S. D. (2017). Contribuições da Teoria da Desintegração Positiva para a Área de Superdotação. *Psicologia : Teoria e Pesquisa*, 33(0). <https://doi.org/10.1590/0102.3772e3332>
- Olszewski-Kubilius, P., & Lee, S. Y. (2004). The role of participation in in-school and outside-of-school activities in the talent development of gifted students. *Journal of Secondary Gifted Education*, 15(3), 107-123. <https://doi.org/10.4219/jsge-2004-454>
- Organisation mondiale de la Santé (2015). *Déclaration de l'OMS sur les taux de césarienne* (No. WHO/RHR/15.02). https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161443/WHO_RHR_15.02_fre.pdf
- Organisation mondiale de la sante. (1992). *Classification internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement. Descriptions cliniques et directives pour le diagnostic*. Masson.
- Organisation mondiale de la Santé., & Chisholm, B. (1951). *Travaux de l'OMS 1950: rapport annuel du Directeur général à l'Assemblée mondiale de la Santé et aux*

Nations Unies. Organisation mondiale de la Santé. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/89202>

- Paillard, J. (1976). Tonus, postures et mouvements. *Physiologie*, 2, 521-728.
- Papadopoulos, D. (2021). Examining the relationships among cognitive ability, domain-specific self-concept, and behavioral self-esteem of gifted children aged 5–6 years: A cross-sectional Study. *Behavioral Sciences*, 11(7), 93. <https://doi.org/10.3390/bs11070093>
- Paquet, A., Olliac, B., Bouvard, M. P., Golse, B., & Vaivre-Douret, L. (2016). The semiology of motor disorders in autism spectrum disorders as highlighted from a standardized neuro-psychomotor assessment. *Frontiers in psychology*, 7, 1292. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01292>
- Paquet, A., Olliac, B., Girard, M., Golse, B., & Vaivre-Douret, L. (2015). Latéralisation et latéralité chez les enfants avec un TSA: apport de l'évaluation neuropsychomotrice standardisée. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 45(4-5), 411. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2015.10.060>
- Paquet, A., Olliac, B., Golse, B., & Vaivre-Douret, L. (2019). Nature of motor impairments in autism spectrum disorder: A comparison with developmental coordination disorder. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 41(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/13803395.2018.1483486>
- Passow, A. H. (1981). The Nature of Giftedness and Talent. *Gifted Child Quarterly*, 25(1), 5-10. <https://doi.org/10.1177/001698628102500102>
- Pearlstein, E., ben Mabrouk, F., Pflieger, J. F., & Vinay, L. (2005). Serotonin refines the locomotor-related alternations in the *in vitro* neonatal rat spinal cord. *European Journal of Neuroscience*, 21(5), 1338-1346. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.03971.x>
- Percheron, G., Fénelon, G., Leroux-Hugon, V., & Feve, A. (1994). Histoire du système des ganglions de la base. La lente émergence d'un système cérébral majeur. *Revue neurologique*, 150(8), 543-554.
- Pereira-Fradin, M. (2004). La variabilité intra-individuelle chez les enfants à haut potentiel intellectuel. *Psychologie française*, 49 (3), 253-266. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.07.002>

- Pereira-Fradin, M., Caroff, X. & Jacquet, A. (2010). Le WISC-IV permet-il d'améliorer l'identification des enfants à haut potentiel ? *Enfance*, 1 (1), 11-26. <https://doi.org/10.3917/enf1.101.0011>
- Perkin, M. R., Bland, J. M., Peacock, J. L., & Anderson, H. R. (1993). The effect of anxiety and depression during pregnancy on obstetric complications. *BJOG : An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 100(7), 629-634. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1993.tb14228.x>
- Persson, R. S. (2011). The Multidimensional Model of Musical Giftedness (3MG): Breaking new ground in understanding musical talent and musical thinking. In *World Council for Gifted and Talented Children WCGTC Conference, Prague* (pp. 1-21).
- Peter, L., Pachoud, B., Ravassard, P., & Salin, P. (2008). Le travail de la mémoire pendant le sommeil. *Médecine du Sommeil*, 5(18), 24-29. [https://doi.org/10.1016/S1769-4493\(08\)70189-4](https://doi.org/10.1016/S1769-4493(08)70189-4)
- Petitcollin, C. (2014). *Je pense trop: comment canaliser ce mental envahissant*. Guy Trédaniel.
- Petrides, K. V., & Furnham, A. (2001). Trait emotional intelligence: Psychometric investigation with reference to established trait taxonomies. *European journal of personality*, 15(6), 425-448. <https://doi.org/10.1002/per.416>
- 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>
- Piaget, J. (1947). *La psychologie de l'intelligence*. Armand Collin
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. (M. Cook, Trans.). *W W Norton & Co.* <https://doi.org/10.1037/11494-000>
- Piaget, J. (1983). Piaget's Theory. In P. H. Mussen, & W. Kessen (Eds.), *Handbook of Child Psychology: Vol. I History, Theory, and Methods* (p. 41-102). John Wiley.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1947). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. PUF.
- Piechowski, M. M. (1997). Emotional giftedness: The measure of intrapersonal intelligence. *Handbook of gifted education*, 2, 366-381.
- Piechowski, M. M., & Colangelo, N. (1984). Developmental potential of the gifted. *Gifted Child Quarterly*, 28(2), 80-88. <https://doi.org/10.1177/001698628402800207>

- Piechowski, M. M., Silverman, L. K., & Falk, R. F. (1985). Comparison of intellectually and artistically gifted on five dimensions of mental functioning. *Perceptual and Motor Skills*, 60(2), 539-549. <https://doi.org/10.2466/pms.1985.60.2.539>
- Piek, J. P., Dyck, M. J., Francis, M., & Conwell, A. (2007). Working memory, processing speed, and set-shifting in children with developmental coordination disorder and attention-deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(9), 678-683. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00678.x>
- Pierrehumbert, B. (2003). *Premier lien (Le): Théorie de l'attachement*. Odile Jacob.
- Pierrehumbert, B., Sieye, A., Zaltzman, V., & Halfon, O. (1995). Entre salon et laboratoire: l'utilisation du «Q-Sort» de Waters et Deane pour décrire la qualité de la relation d'attachement parent-enfant. *Enfance*, 48(3), 277-291. <https://doi.org/10.3406/enfan.1995.2137>
- Pierson, E. E., Kilmer, L. M., Rothlisberg, B. A., & McIntosh, D. E. (2012). Use of Brief Intelligence Tests in the Identification of Giftedness. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 30(1), 10-24. <https://doi.org/10.1177/0734282911428193>
- Pilarinos, V., & Solomon, C. R. (2017). Parenting styles and adjustment in gifted children. *Gifted Child Quarterly*, 61(1), 87-98. <https://doi.org/10.1177/0016986216675351>
- Pincus, S. M., Gladstone, I. M., & Ehrenkranz, R. A. (1991). A regularity statistic for medical data analysis. *Journal of Clinical Monitoring*, 7(4), 335-345. <https://doi.org/10.1007/bf01619355>
- Piro, J. M., Ortiz, C., & Manouvrier, L. (2021). Sleep Behaviors and Handedness in Gifted and Non-Gifted Children. *Developmental Neuropsychology*, 46(6), 425-434. <https://doi.org/10.1080/87565641.2021.1973473>
- Planche, P (1985). Modalités fonctionnelles et conduites de résolution de problèmes chez l'enfant précoce de cinq, six et sept ans d'âge chronologique. *Archives de Psychologie*, vol 53, n° 207, 411-415.
- Planche, P & Gicquel, M.C. (2000). L'accession à l'opérativité formelle chez les enfants intellectuellement précoces. *Journal International de Psychologie*, 35 (5), 219-227. <https://doi.org/10.1080/00207590050171157>
- Planche, P. (1996). Précocité intellectuelle: fonctionnement cognitif et dysharmonie. Actes du XXVIème Congrès International de Psychologie Montréal. *International Journal of Psychology*, 31, 371.

- Planche, P. (1997). Etude comparative d'enfants "précoces" et d'enfants "moyens" face à une épreuve de décentration spatio-cognitive. In J. Juhel, T. Marivain & G. Roussel (dir), *Psychologie et différences individuelles: questions actuelles* (p.133-138). Presse Universitaires de Rennes.
- 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>
- Planche, P. (2000a). Comparative studies of tower of Hanoi performance of gifted and average children. *International Journal of Psychology*, 35 (3-4), 84.
- Planche, P. (2000b). Le fonctionnement et le développement cognitifs de l'enfant intellectuellement précoce. *L'année psychologique*, 100(3), 503-525. <https://doi.org/10.3406/psy.2000.28657>
- Planche, P. (2008). *Les enfants à haut potentiel : Caractéristiques cognitives et développementales. En quoi sont-ils différents ?* Tikinagan.
- Planche, P., & Lemonnier, E. (2012). Children with high-functioning autism and Asperger's syndrome: Can we differentiate their cognitive profiles?. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(2), 939-948. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2011.12.009>
- Poivilliers, C. (2019). *Zèbre zen: Développer ses talents quand on est un adulte surdoué*. Eyrolles.
- Polatajko, H., Fox, M., & Missiuna, C. (1995). An International Consensus on Children with Developmental Coordination Disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 62(1), 3-6. <https://doi.org/10.1177/000841749506200101>
- Porteus, S.D. (1952). *Test des labyrinthes*. Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological review*, 78(5). 391- 408.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 25-42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- Poulsen, A. A., Ziviani, J. M., Johnson, H., & Cuskelly, M. (2008). Loneliness and life satisfaction of boys with developmental coordination disorder : The impact of leisure participation and perceived freedom in leisure. *Human Movement Science*, 27(2), 325-343. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.004>

- Prada, P., Guenot, F., Charbon, P., Kolly, S., & Perroud, N. (2015). Thérapies actuelles du trouble de personnalité borderline. *Rev Med Suisse*, *11*, 1686-90.
- Prifitera, A., & Saklofske, D. H. (1998). *WISC-III Clinical Use and Interpretation*. Elsevier
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C, Lamantia, A.M., & White, L. (2011). *Neurosciences*. De Boeck.
- Quartier, V., Brodard, F., Hanifi, M., Stempf, N., & Roman, P. (2020). L'évaluation clinique du TDAH : quelle place pour le WISC-V ? *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez les Enfants*, *169*(1),647–656.
- 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 les Enfants*, *161*, 541-546.
- Raven, J. C. (1941). Standardization of progressive matrices, 1938. *British Journal of Medical Psychology*, *19*(1), 137-150. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8341.1941.tb00316.x>
- Raven, J. C. (1962). *Advanced progressive matrices*. H.K Lewis
- Ray-Kaesler, S., Satink, T., Andresen, M., Martini, R., Thommen, E., & Bertrand, A. M. (2015). European-French Cross-Cultural Adaptation of the Developmental Coordination Disorder Questionnaire and Pretest in French-Speaking Switzerland. *Physical & Occupational Therapy In Pediatrics*, *35*(2), 132-146. <https://doi.org/10.3109/01942638.2015.1009229>
- Reed, T. E., & Jensen, A. R. (1991). Arm nerve conduction velocity (NCV), brain NCV, reaction time, and intelligence. *Intelligence*, *15*(1), 33-47. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(91\)90021-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(91)90021-5)
- Reis, S. M., & McCoach, D. B. (2002). Underachievement in gifted and talented students with special needs. *Exceptionality*, *10*(2), 113-125. https://doi.org/10.1207/S15327035EX1002_5
- Reitan, R. M., & Davidson, L. A. (1974). *Clinical neuropsychology: Current status and applications*. John Wiley & Sons.
- Reitman, D., Rhode, P. C., Hupp, S. D., & Altobello, C. (2002). Development and validation of the parental authority questionnaire–revised. *Journal of psychopathology and Behavioral Assessment*, *24*(2), 119-127. <https://doi.org/10.1023/A:1015344909518>

- Renzulli, J. S. (1978). What makes giftedness? Reexamining a definition. *Phi delta kappan*, 60(3), 180.
- Renzulli, J. S. (2002). Emerging Conceptions of Giftedness : Building a Bridge to the New Century. *Exceptionality*, 10(2), 67-75. https://doi.org/10.1207/s15327035ex1002_2
- Renzulli, J. S. (2011). What Makes Giftedness ? : Reexamining a Definition. *Phi Delta Kappan*, 92(8), 81-88. <https://doi.org/10.1177/0031721711109200821>
- Renzulli, J.S (2006). Qu'est-ce que le haut potentiel et comment peut-on le développer chez l'enfant et l'adolescent?. *Bulletin de psychologie*, 485(5), 463-468. <https://doi.org/10.3917/bupsy.485.0463>
- Revol, O. (2011). L'enfant précoce: mode ou réalité. *Réalités pédiatriques*, 160, 40-44.
- Revol, O., & Bléandonu, G. (2010). Précocité, talents et troubles des apprentissages. *Chokron S, Démonet JF. Approche neuropsychologique des troubles d'apprentissage. Marseille: Solal*, 371-82.
- 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>
- Reynolds, C. R., & Bradley, M. (1983). Emotional stability of intellectually superior children versus nongifted peers as estimated by chronic anxiety levels. *School Psychology Review*, 12(2), 190-194. <https://doi.org/10.1080/02796015.1983.12085031>
- Reynolds, C. R., & Paget, K. D. (1983). National Normative and Reliability Data for the Revised Children's Manifest Anxiety Scale. *School Psychology Review*, 12(3), 324-336. <https://doi.org/10.1080/02796015.1983.12085047>
- Reynolds, C.R., Richmond, B.O., Castro, D. (1999). *Échelle Révisée d'Anxiété Manifeste pour Enfants (R-CMAS)*. Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Riccioni, A., Pro, S., di Criscio, L., Terribili, M., Siracusano, M., Moavero, R., Valeriani, M., & Mazzone, L. (2021). High Intellectual Potential and High Functioning Autism : Clinical and Neurophysiological Features in a Pediatric Sample. *Brain Sciences*, 11(12), 1607. <https://doi.org/10.3390/brainsci11121607>
- Richard, J. F. (1982). Planification et organisation des actions dans la résolution du problème de la tour de Hanoï par des enfants de 7 ans. *L'année psychologique*, 82(2), 307-336. <https://doi.org/10.3406/psy.1982.28422>

- Rinehart, N. J., Tonge, B. J., Iansek, R., McGinley, J., Brereton, A. V., Enticott, P. G., & Bradshaw, J. L. (2006). Gait function in newly diagnosed children with autism: cerebellar and basal ganglia related motor disorder. *Developmental medicine and child neurology*, 48(10), 819-824. <https://doi.org/10.1097/01.chi.0000205701.48324.26>
- Rinn, A. N., & Reynolds, M. J. (2012). Overexcitabilities and ADHD in the gifted: An examination. *Roeper Review*, 34(1), 38-45. <https://doi.org/10.1080/02783193.2012.627551>
- Rinn, A. N., Mendaglio, S., Moritz Rudasill, K., & McQueen, K. S. (2010). Examining the relationship between the overexcitabilities and self-concepts of gifted adolescents via multivariate cluster analysis. *Gifted Child Quarterly*, 54(1), 3-17. <https://doi.org/10.1177/0016986209352682>
- 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>
- Robert, M. P., Ingster-Moati, I., Albuissou, E., Cabrol, D., Golse, B., & Vaivre-Douret, L. (2014). Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children with developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 56(6), 595-600. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12384>
- Robert, S. M., & Lovett, S. B. (1994). Examining the "F" in gifted: Academically gifted adolescents' physiological and affective responses to scholastic failure. *Journal for the Education of the Gifted*, 17(3), 241-259. <https://doi.org/10.1177/016235329401700304>
- Rodríguez Naveiras, E., Verche Borges, E., Hernández Lastiri, P., Montero López, R., & Borges del Rosal, M. Á. (2019). Differences in working memory between gifted or talented students and community samples: A meta-analysis. *Psicothema*. <http://hdl.handle.net/11162/187860>
- Rogers, S., & Benetto, L. (2002). Le fonctionnement moteur dans le cas d'autisme. *Enfance*, 54(1), 63. <https://doi.org/10.3917/enf.541.0063>
- Roid, G. H. (2003). *Stanford Binet intelligence scales* (5th ed). Riverside Publishing
- Rolland-Cachera, M. F. (2004). Morphologie et alimentation de l'enfant: évolution au cours des dernières décennies. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 39(3), 178-184.
- Rorschach, H.P. (1942) *A diagnostic test based on perception*. Huber.

- Ross, R. G., Radant, A. D., & Hommer, D. W. (1993). A developmental study of smooth pursuit eye movements in normal children from 7 to 15 years of age. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 32(4), 783-791. <https://doi.org/10.1097/00004583-199307000-00012>
- Rossi, S., Lubin, A., Simon, G., Lanoë, C., Poirel, N., Cachia, A., Pineau, A., & Houdé, O. (2013). Structural brain correlates of executive engagement in working memory: children's inter-individual differences are reflected in the anterior insular cortex. *Neuropsychologia*, 51(7), 1145-1150. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.03.011>
- Rost, D. H., & Czeschlik, T. (1994). The psycho-social adjustment of gifted children in middle-childhood. *European Journal of Psychology of Education*, 9(1), 15-25. <https://doi.org/10.1007/bf03172882>
- Rousseau, P. (2011). L'établissement de l'attachement à la naissance et ses enjeux. *Précarités et éducation familiale*, 122-127. <https://doi.org/10.3917/eres.zaouc.2011.01.0122>
- Rowe, E. W., Kingsley, J. M., & Thompson, D. F. (2010). Predictive ability of the general ability index (GAI) versus the full scale IQ among gifted referrals. *School Psychology Quarterly*, 25 (2), 119-128. <https://doi.org/10.1037/a0020148>
- Roy, A., Fournet, N., Le Gall, D. & Roulin, J.L. (2021). *La batterie FÉE ; fonctions exécutives de l'enfant*. Hogrefe France.
- Rozenberg, P. (2004). L'élévation du taux de césariennes: un progrès nécessaire de l'obstétrique moderne. *Journal de gynécologie obstétrique et biologie de la reproduction*, 33(4), 279-289. [https://doi.org/10.1016/S0368-2315\(04\)96456-3](https://doi.org/10.1016/S0368-2315(04)96456-3)
- Ruff, R. (1996). Benton controlled oral word association test : Reliability and updated norms. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 11(4), 329-338. [https://doi.org/10.1016/0887-6177\(95\)00033-x](https://doi.org/10.1016/0887-6177(95)00033-x)
- Rundkvist, J. L. (2015). *Misdiagnosis of ADHD/ASD in gifted children*. Institut Karolinska. <https://expressiva.se/wp-content/uploads/Misdiagnosis-of-ADHD-ASD-in-gifted-children-Revised.pdf>
- Rutter, M., Le Couteur, A., & Lord, C. (2003). ADI-R. Autism diagnostic interview revised. *Western Psychological Services*.
- Salomon, L. J., Bernard, J. P., De Stavola, B., Kenward, M., & Ville, Y. (2007). Poids et taille de naissance : courbes et équations. *Journal de gynécologie*

- obstétrique et biologie de la reproduction*, 36(1), 50-56.
<https://doi.org/10.1016/j.jgyn.2006.09.001>
- Salovey, P., & Mayer, J. D. (1990). Emotional intelligence. *Imagination, cognition and personality*, 9(3), 185-211. <https://doi.org/10.2190/DUGG-P24E-52WK-6CDG>
- Salovey, P., Mayer, J. D., Goldman, S. L., Turvey, C., & Palfai, T. P. (1995). Emotional attention, clarity, and repair : Exploring emotional intelligence using the Trait Meta-Mood Scale. *Emotion, disclosure, & ; health.*, 125-154.
<https://doi.org/10.1037/10182-006>
- Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000,). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. *Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications*. 71-78. <https://doi.org/10.1145/355017.355028>
- Sattler, J. M. (2008). *Resource Guide to Accompany Assessment of Children: Cognitive Foundations*. (5th ed). JM Sattler.
- Save-Pédebos, J., & Florea, A. (2021). *L'enfant à Haut Potentiel Intellectuel décrypté: et si votre enfant pouvait vous expliquer son fonctionnement?*. Fleurus.
- Scherer, K. R., & Zentner, M. R. (2001). Emotional effects of music: Production rules. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda (Eds.), *Music and emotion: Theory and research* (pp. 361–392). Oxford University Press.
- Schick, H., & Phillipson, S. N. (2009). Learning motivation and performance excellence in adolescents with high intellectual potential : what really matters ? *High Ability Studies*, 20(1), 15-37. <https://doi.org/10.1080/13598130902879366>
- Schneider, W. J., & McGrew, K. S. (2012). The Cattell-Horn-Carroll model of intelligence. In D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (p. 99–144). The Guilford Press.
- Schneider, W., & Löffler, E. (2016). The development of metacognitive knowledge in children and adolescents. In J. Dunlosky & S. K. Tauber, *The Oxford handbook of metamemory* (p. 491-518). Oxford University Press.
- Schoemaker, M. M., & Kalverboer, A. F. (1994). Social and Affective Problems of Children Who Are Clumsy : How Early Do They Begin ? *Adapted Physical Activity Quarterly*, 11(2), 130-140. <https://doi.org/10.1123/apaq.11.2.130>
- Scholwinski, E., & Reynolds, C. R. (1985). Dimensions of anxiety among high IQ children. *Gifted Child Quarterly*, 29(3), 125-130.
<https://doi.org/10.1177/001698628502900305>

- Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing Metacognitive Awareness. *Contemporary Educational Psychology*, 19(4), 460-475. <https://doi.org/10.1006/ceps.1994.1033>
- Schwanenflugel, P. J., Paige Moore Stevens, T., & Carr, M. (1997). Metacognitive knowledge of gifted children and nonidentified children in early elementary school. *Gifted Child Quarterly*, 41(2), 25-35. <https://doi.org/10.1177/001698629704100204>
- Schweizer, K., Moosbrugger, H., & Goldhammer, F. (2005). The structure of the relationship between attention and intelligence. *Intelligence*, 33(6), 589-611. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.07.001>
- Servant, M. L., Marionneau, A., & Albaret, J. M. (2018). Signes neurologiques doux. *Manuel d'enseignement de psychomotricité*, 30-42. <https://doi.org/10.3917/dbu.albar.2017.01.0030>
- Servens, C., Filliatre, C., & Sion, R. (1985). Synthèse de L'Acide (Propyl-1-13C)-2 Pentanoïque-3-13C (acide valproïque). *Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals*, 22(11), 1097-1108. <https://doi.org/10.1002/jlcr.2580221102>
- Shahrokh, D. K., Zhang, T. Y., Diorio, J., Gratton, A., & Meaney, M. J. (2010). Oxytocin-dopamine interactions mediate variations in maternal behavior in the rat. *Endocrinology*, 151(5), 2276-2286. <https://doi.org/10.1210/en.2009-1271>
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 298(1089), 199-209. <https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Shallice, T., & Vanier, M. (1991). Test de la Tour de Londres.
- Shapovalov, A.I. (1973). Pyramidal and Extra-Pyramidal Control on Mammalian Alpha Motoneurons. In: Gydikov, A.A., Tankov, N.T., Kosarov, D.S. (eds) *Motor Control*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-4502-2_7
- 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>
- 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>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M., H. (1995). *Motor control. Theory and practical applications* (2nd ed). Williams and Wilkins.
- Siaud-Facchin, J. (2004). Comprendre les difficultés d'apprentissage de l'enfant surdoué: un fonctionnement intellectuel singulier?. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 52(3), 142-147.
<https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2004.01.007>
- Siaud-Facchin, J. (2008). *Trop intelligent pour être heureux?: l'adulte surdoué*. Odile Jacob.
- Silverman, L. K., & Gilman, B. J. (2020). Best practices in gifted identification and assessment: Lessons from the WISC-V. *Psychology in the Schools*, 57(10), 1569-1581. <https://doi.org/10.1002/pits.2236>
- Silverman, L. K., & Knopper, D. (1994). *Understanding Our Gifted*. Dorothy Knopper.
- Silverman, W. K., & Albano, A. M. (1996). *Manual for the ADIS-IV C/P*. Psychological Corporation
- Simon, T. (1911). Alfred Binet. *L'Année psychologique*, 18(1), 1-14.
- Simonton, D. K. (1999). Talent and its development: An emergenic and epigenetic model. *Psychological review*, 106(3), 435.
- Siu, A. F. (2010). Comparing overexcitabilities of gifted and non-gifted school children in Hong Kong : does culture make a difference ? *Asia Pacific Journal of Education*, 30(1), 71-83. <https://doi.org/10.1080/02188790903503601>
- Skinner, R.A., & Piek, J.-P. (2001). Psychosocial implications of poor motor coordination in children and adolescents. *Hum Mov Sci*, 20(1-2), 73-94.
[https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(01\)00029-X](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(01)00029-X)
- Slosson, R. (1961). *Slosson intelligence test (SIT) for children and adult*. Slosson Educational Publications.
- Smith, P., Dalglish, T., & Meiser-Stedman, R. (2018). Practitioner Review : Posttraumatic stress disorder and its treatment in children and adolescents. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60(5), 500-515.
<https://doi.org/10.1111/jcpp.12983>
- Smits-Engelsman, B. C., Henderson, S. E., & Michels, C. G. (1998). The assessment of children with Developmental Coordination Disorders in the Netherlands : The relationship between the Movement Assessment Battery for Children and the

- Körperkoordinations Test für Kinder. *Human Movement Science*, 17(4-5), 699-709. [https://doi.org/10.1016/s0167-9457\(98\)00019-0](https://doi.org/10.1016/s0167-9457(98)00019-0)
- Snyder, K. E., Nietfeld, J. L., & Linnenbrink-Garcia, L. (2011). Giftedness and metacognition: A short-term longitudinal investigation of metacognitive monitoring in the classroom. *Gifted Child Quarterly*, 55(3), 181-193. <https://doi.org/10.1177/0016986211412769>
- Sonié, S., Kassai, B., Pirat, E., Bain, P., Robinson, J., Gomot, M., Barthélémy, C., Charvet, D., Rochet, T., Tatou, M., Assouline, B., Cabrol, S., Chabane, N., Arnaud, V., Faure, P., & Manificat, S. (2013). The French Version of the Autism-Spectrum Quotient in Adolescents : A Cross-Cultural Validation Study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(5), 1178-1183. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1663-0>
- Sonié, S., Kassai, B., Pirat, E., Masson, S., Bain, P., Robinson, J., Reboul, A., Wicker, B., Chevallier, C., Beaudé-Chervet, V., Deleage, M. H., Charvet, D., Barthélémy, C., Rochet, T., Tatou, M., Arnaud, V., & Manificat, S. (2011). Version française des questionnaires de dépistage de l'autisme de haut niveau ou du syndrome d'Asperger chez l'adolescent : Quotient du spectre de l'autisme, Quotient d'empathie et Quotient de systématisation. Protocole et traduction des questionnaires. *La Presse Médicale*, 40(4), 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2010.07.016>
- Soumier, A., Habart, M., Lio, G., Demily, C., & Sirigu, A. (2022). Differential fate between oxytocin and vasopressin cells in the developing mouse brain. *Isience*, 25(1). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103655>
- Spain, S. L., Pedroso, I., Kadeva, N., Miller, M. B., Iacono, W. G., McGue, M., Stergiakouli, E., Smith, G. D., Putallaz, M., Lubinski, D., Meaburn, E.L., Plomin, R., & Simpson, M. A. (2016). A genome-wide analysis of putative functional and exonic variation associated with extremely high intelligence. *Molecular Psychiatry*, 21 (8), 1145–1151. <https://doi.org/10.1038/mp.2015.108>.
- Sparrow, S., Balla, B., & Cicchetti V. (1984). *Vineland adaptative behaviour scale*. American Guidance Service, Circle Pines.
- Spatz, H. (1927). *Physiologie und Pathologie der Stammganglien*. Springer
- Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 15(1), 72. <https://doi.org/10.2307/1412159>

- Speranza, M. & Valeri, G. (2010). Trajectoires développementales en psychopathologie : apprentissages et construction de soi chez l'enfant et l'adolescent. *Développements*, 6, 5-15. <https://doi.org/10.3917/devel.006.0005>
- Speranza, M., & Debbané, M. (2021). Attachement, mentalisation et conséquences des contextes d'adversité. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 205(8), 912-920. <https://doi.org/10.1016/j.banm.2021.07.014>
- Squires, J., & Bricker, D. (2009). *Ages & stages questionnaires* (3rd ed). Brookes Publishing.
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school : Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745-759. <https://doi.org/10.1080/17470210500162854>
- Stampfli, C., & Collaros, A. (2010). *L'intégration sociale et scolaire de l'enfant à haut potentiel en classe régulière* (Doctoral dissertation, Haute école pédagogique du canton de Vaud).
- Sternberg, R. J., & Grigorenko, E. L. (1993). Thinking styles and the gifted. *Roeper review*, 16(2), 122-130. <https://doi.org/10.1080/02783199309553555>
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1999). *Handbook of creativity*. Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J., & Wagner, R. K. (1991). *MSG Thinking Styles Inventory*. Star Mountain Projects.
- Sternberg, R. J., Ferrari, M., Clinkenbeard, P., & Grigorenko, E. L. (1996). Identification, Instruction, and Assessment of Gifted Children : A Construct Validation of a Triarchic Model. *Gifted Child Quarterly*, 40(3), 129-137. <https://doi.org/10.1177/001698629604000303>
- Sternberg, R. J., Ferrari, M., Clinkenbeard, P., & Grigorenko, E. L. (1996). Identification, instruction, and assessment of gifted children: A construct validation of a triarchic model. *Gifted Child Quarterly*, 40(3), 129-137. <https://doi.org/10.1177/001698629604000303>
- Sternberg, R. J., Lautrey, J., & Lubart, T. I. (2003). Where are we in the field of intelligence, how did we get here, and where are we going? In R. J. Sternberg, J. Lautrey, & T. I. Lubart (Eds.), *Models of intelligence: International perspectives* (p. 3–25). American Psychological Association.

- Stoeger, H., & Ziegler, A. (2012). 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*, 50(2), 134-136
- Stone, M. H., Jastak, S., & Wilkinson, G. (1995). *Wide Range Achievement Test WRAT.*, Jastak Associates.
- Strain, J. J. (2018). The psychobiology of stress, depression, adjustment disorders and resilience. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 19(1), 14-20. <https://doi.org/10.1080/15622975.2018.1459049>
- Sturm, W., & Zimmermann, P. (2000). Aufmerksamkeitsstörungen [Attention disorders]. In W. Sturm, M. Herrmann, & C. W. Wallesch (Eds.), *Lehrbuch der klinischen Neuropsychologie* (p. 345 – 365). Lisse: Swets and Zeitlinger.
- Subotnik, R. F. (2000). The Juilliard model for developing young adolescent performers: An educational prototype. *Developing talent across the lifespan*, 249-276.
- Sumner, E., Hutton, S. B., Kuhn, G., & Hill, E. L. (2016). Oculomotor atypicalities in Developmental Coordination Disorder. *Developmental Science*, 21(1), e12501. <https://doi.org/10.1111/desc.12501>
- Sumner, E., Pratt, M. L., & Hill, E. L. (2016). Examining the cognitive profile of children with Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 56, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.05.012>
- Suprano, I., Delon-Martin, C., Kocevar, G., Stamile, C., Hannoun, S., Achard, S., Badhwar, A., Fournier, P., Revol, O., Nusbaum, F., & Sappey-Marini, D. (2019). Topological modification of brain networks organization in children with high intelligence quotient: A resting-state fMRI study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 241. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00241>
- Swanson, H. L. (1990). Influence of metacognitive knowledge and aptitude on problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 82(2), 306-314. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.2.306>
- Swanson, H. L. (1992). The relationship between metacognition and problem solving in gifted children. *Roeper Review*, 15(1), 43-48. <https://doi.org/10.1080/02783199209553457>

- Swanson, H. L. (1995). *Swanson-cognitive processing test*. Austin, TX: PRO-ED.
- Swanson, J. M. (2003). Role of executive function in ADHD. *Journal of Clinical Psychiatry*, 64, 35-39.
- 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>
- Tanaka, M. (2005). Involvement of the central thalamus in the control of smooth pursuit eye movements. *Journal of Neuroscience*, 25(25), 5866-5876. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0676-05.2005>
- Tarquis, N. (2021). Libre de faire le mal?. In *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique*. <https://doi.org/10.1016/j.amp.2021.09.018>
- Tasseau, A., Kassis, M., Rigourd, V., Magny, J. F., & Voyer, M. (2003). Quels diagnostics devant un nouveau-né hypotonique?. *Archives de pédiatrie*, 10(7), 670-673. [https://doi.org/10.1016/S0929-693X\(03\)00245-8](https://doi.org/10.1016/S0929-693X(03)00245-8)
- Team, R. C. (2013). 2015. *R: A language and environment for statistical computing*.
- Tereno, S., Soares, I., Martins, E., Sampaio, D. & Carlson, E. (2007). La théorie de l'attachement : son importance dans un contexte pédiatrique. *Devenir*, 19, 151-188. <https://doi.org/10.3917/dev.072.0151>
- Terman, L. M. (1925). *Mental and physical traits of a thousand gifted children* (Vol. 1). Stanford University Press.
- Terrassier, J. C. (2005). Les dyssynchronies des enfants intellectuellement précoces. *Enfants surdoués en difficulté: de l'identification à une prise en charge adaptée*. Rennes: Presses universitaires de Rennes, 69-87.
- Terrassier, J. C. (2012). L'ANPEIP. 40 ans d'action en faveur des enfants intellectuellement précoces: Hauts potentiels des enfants: force ou faiblesse? Identifier leurs aptitudes pour développer leurs talents. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, (119), 405-408.
- Terrassier, J. C. (2018). *Les enfants surdoués: ou la précocité embarrassante*. ESF Sciences Humaines.
- Terrassier, J. C. (2020). *Les Enfants surdoués-Comprendre la précocité pour bien la vivre*. ESF sciences humaines.
- Terrassier, J.C. (1979). Le syndrome de dyssynchronie. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*. 27(1), 445-450.

- Terrassier, J.C. (2002). Une méthode nouvelle d'évaluation de l'intérêt de la prise d'avance scolaire. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, (67), 135-136.
- 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., & Ozenne, R. (2015). L'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants, 5^e édition (WISC-V). *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 134, 95-102.
- Thibaudeau, P. (2007). *L'attachement parental et l'ajustement psychosocial des adolescents: validation d'un instrument de mesure et étude du rôle médiateur de l'estime de soi*. [Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal]. https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=NR23595&op=pdf&app=Library&is_thesis=1&oclc_number=260190783
- Thomas, A., & de Ajuriaguerra, J. (1949). *Etude sémiologique du tonus musculaire*. Flammarion.
- Thomas, M. S. (2018). A neurocomputational model of developmental trajectories of gifted children under a polygenic model: When are gifted children held back by poor environments?. *Intelligence*, 69, 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.06.008>
- Thomas, M. S. C., Forrester, N. A., & Ronald, A. (2013). Modeling socio-economic status effects on language development. *Developmental Psychology*, 49(12), 2325–2343. <https://doi.org/10.1037/a0032301>
- Thompson, L. A., & Oehlert, J. (2010). The etiology of giftedness. *Learning and individual Differences*, 20(4), 298-307. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.11.004>
- Thurstone, L. L. (1973). Primary mental abilities. In *The measurement of intelligence* (p. 131-136). Springer, Dordrecht
- Titz, C., & Karbach, J. (2014). Working memory and executive functions: effects of training on academic achievement. *Psychological research*, 78(6), 852-868. <https://doi.org/10.1007/s00426-013-0537-1>
- Tolan, S. S. 1994. Psychomotor overexcitability in the gifted: An expanded perspective. *Advanced Development Journal*, 6(1):77-86.

- Tordjman, S., & Kermarrec, S. (2019). Mythes et réalités sur les enfants à haut potentiel intellectuel en difficulté : les apports de la recherche [Myths and realities about children with high intellectual potential in difficulty: the contributions of research]. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 67 (3), 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.02.003>
- Tordjman, S., Besançon, M., Pennycook, C., & Lubart, T. (2020). Children with High Intellectual and Creative Potential : Perspectives from a Developmental Psycho-Environmental Approach. *Conceptions of Giftedness and Talent*, 251-279. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56869-6_15
- Tordjman, S., Guignard, J. H., Seligmann, C., Vanroye, E., Nevoux, G., Fagard, J., Gorea, A., Mamassian, P., Cavanagh, P., & Lebreton, S. (2007). Diagnosis of Hyperactivity Disorder in Gifted Children Depends on Observational Sources. *Gifted and Talented International*, 22(2), 62-67. <https://doi.org/10.1080/15332276.2007.11673496>
- Tordjman, S., Vaivre-Douret, L., Chokron, S., & Kermarrec, S. (2018). Les enfants à haut potentiel en difficulté: apports de la recherche Clinique [High-potential children in difficulty: contributions from clinical research]. *L'Encéphale*, 44 (5), 446-456. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2018.07.006>
- Torrance, E.P. (1974). *Tests de Torrance de la Pensée Créative*. Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Trzesniewski, K. H., Donnellan, M. B., & Robins, R. W. (2003). Stability of self-esteem across the life span. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(1), 205-220. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.84.1.205>
- Tucker, B., & Lu Haferstein, N. (1997). Psychological Intensities in Young Gifted Children. *Gifted Child Quarterly*, 41(3), 66-75. <https://doi.org/10.1177/001698629704100302>
- Turgeon, L., & Chartrand, L. (2003). Psychometric Properties Of The French Canadian Version Of The State-Trait Anxiety Inventory For Children. *Educational and Psychological Measurement*, 63(1), 174-185. <https://doi.org/10.1177/0013164402239324>
- Tursz, A., & Vaivre-Douret, L. (1999). Les troubles d'apprentissage chez l'enfant Un problème de santé publique?. *Actualité et Dossier en Santé Publique*, 26, 23-65.

- United States. National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical, & Behavioral Research. (1978). *The Belmont report: ethical principles and guidelines for the protection of human subjects of research* (Vol. 2). Department of Health, Education, and Welfare, National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research.
- Urban, S., & Comte, L. (2021). Les capacités de mémoire de travail chez les enfants et adolescents avec haut potentiel : une perspective cognitive et neuroscientifiques. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages de l'Enfant*, 171, 185-193.
- Vaivre-Douret L, Tursz A. Les troubles d'apprentissage chez l'enfant. Un problème de Santé Publique *Revue du Haut Comité de Santé Publique* 1999;26:23–65.
- Vaivre-Douret L. Les surdoués. Les troubles d'apprentissage chez l'enfant Un problème de Santé Publique ? 26. *Revue du Haut Comité de Santé Publique*; 1999b. p. 34.
- Vaivre-Douret, L. (1997). *Précis théorique et pratique du développement moteur du jeune enfant*. Elsevier.
- Vaivre-Douret, L. (1999a). *Livre-manuel Précis théorique et pratique du développement moteur du jeune enfant (DF-MOT)*. Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Vaivre-Douret, L. (2002). Le développement de l'enfant aux aptitudes hautement performantes (surdoués): importance des fonctions neuropsychomotrices. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, (67), 95-110.
- 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. (2006). *Batterie d'évaluation des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT)*. Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Vaivre-Douret, L. (2007). Troubles d'apprentissage non verbal: les dyspraxies développementales. *Archives de pédiatrie*, 14(11), 1341-1349. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2007.06.034>

- Vaivre-Douret, L. (2011a). Developmental and Cognitive Characteristics of “High-Level Potentialities” (Highly Gifted) Children. *International Journal of Pediatrics*, 2011, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2011/420297>
- Vaivre-Douret, L. (2019). Caractéristiques développementales de l'enfant à «hautes potentialités» et compréhension de trajectoires vers la dépression à l'âge scolaire en primaire et au collège. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 67(3), 140-151. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.01.005>
- Vaivre-Douret, L. (2020). Troubles moteurs sous-jacents au profil hétérogène du WISC-V chez l'enfant à Haut Potential : apports de l'évaluation neuropsychomotrice normée (NP-MOT) [Motor disorders underlying the heterogeneous profile of WISC-V in children with high Intellectual potential : contributions of the standardized neuropsychomotor assessment (NP-MOT)]. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 169, 683-692.
- Vaivre-Douret, L. (2021a). *Outil numérique de notation et cotation normées de l'évaluation développementale standardisée des fonctions Neuro-Psychomotrices de l'enfant, NP-MOT jusqu'à 12 ans et plus*. In VaivreDouret, L. (Digital Ed)®, Battery of child Neuro-Psychomotor. Éditions Neuralix. <https://neuralix-editions.com/>.
- Vaivre-Douret, L. (2021b) Trouble développemental de la coordination ou dyspraxie. *EMC Consulte*, 37(4), 1-12. [https://doi.org/10.1016/S1633-776X\(21\)45914-4](https://doi.org/10.1016/S1633-776X(21)45914-4)
- Vaivre-Douret, L. (2022). Laterality disorder and its association with an axial hypotonia and body spatial integration impairments may involve slowness and attention disorder: A case series of patients. *European Psychiatry*, 65(S1), S456-S456. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2022.1157>
- Vaivre-Douret, L., & Hamdioui, S. (2021). Understanding of the prevalence of depression in a sample of gifted children by identifying the developmental trajectory of risk and protective factors. *European Psychiatry*, 64(1), 86-S87. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2021.257>
- Vaivre-Douret, L., & Lalanne, C. (2019). Specific impairments and predictive markers for Developmental Coordination Disorder subtypes in children: the importance of multidimensional developmental assessments in cluster analysis. *Journal of Translational Science*, 5, 1-13. <https://doi.org/10.15761/jts.1000337>

- Vaivre-Douret, L., & Planche, P. (2020). Homogeneous or Heterogeneous I.Q Profile : Some Clinical Characteristics to Differentiate High Intellectual Potential and Aspergers Syndrome in Children. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorder*, 04(04),191-217. <https://doi.org/10.26502/jppd.2572-519x0106>
- Vaivre-Douret, L., Hamdioui, S., & Cannafarina, A. (2020). The Influence of IQ Levels on clinical features of developmental coordination disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders*, 4(4), 218-234.<https://doi.org/10.26502/jppd.2572-519X0107>
- 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>
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Charlemaine, C., Cabrol, D., Keita, G., Sebbane, O., Golse, B., Falissard, B. (2010). Relationship between growth status at birth and motor and cognitive development in a French sample of gifted children. *European review of applied psychology*, 60(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2009.10.004>
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Ingster-Moati, I., Boddaert, N., Cabrol, D., Dufier, J. L., Golse, B., & Falissard, B. (2011c). Subtypes of Developmental Coordination Disorder : Research on Their Nature and Etiology. *Developmental Neuropsychology*, 36(5), 614-643. <https://doi.org/10.1080/87565641.2011.560696>
- Vaivre-Douret, L., Lopez, C., Dutruel, A., & Vaivre, S. (2021). Phenotyping features in the genesis of pre-scriptural gestures in children to assess handwriting developmental levels. *Scientific reports*, 11(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79315-w>
- Vaivre-Douret, L., Mazeau, M., Jolly, C., Huron, C., Arnaud, C., Gonzalez-Monge, S., & Assaiante, C. (2021). L'expertise collective de l'Inserm sur le trouble développemental de la coordination ou dyspraxie: état des principaux travaux et recommandations. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 69(6), 311-330. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2021.07.002>
- Valdois, S., Bidet-Ildes, C., Lassus-Sangosse, D., Reilhac, C., N'Guyen-Morel, M. A., Guinet, E., & Orliaguet, J.-P. (2011). A visual processing but no phonological

- disorder in a child with mixed dyslexia. *Cortex*, 47(10), 1197–1218. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.05.011>.
- Valla, J. P., Bergeron, L., & Smolla, N. (2000). The Dominic-R : A Pictorial Interview for 6- to 11-Year-Old Children. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 39(1), 85-93. <https://doi.org/10.1097/00004583-200001000-00020>
- Van Viersen, S., De Bree, E. H., Kroesbergen, E. H., Slot, E. M., & de Jong, P. F. (2015). Risk and protective factors in gifted children with dyslexia. *Annals of dyslexia*, 65(3), 178-198. <https://doi.org/10.1007/s11881-015-0106-y>
- Vervoort, E., Doumen, S., & Verschueren, K. (2015). Children's appraisal of their relationship with the teacher: Preliminary evidence for construct validity. *European Journal of Developmental Psychology*, 12(2), 243-260. <https://doi.org/10.1080/17405629.2014.989984>
- 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), 4796. <https://doi.org/10.3390/su12114796>
- Vingerhoets, A. J. J. M., & Perski, A. (2000). The psychobiology of stress. In A. Kaptein, A. Appels, & K. Orth-Gomer (Eds.), *Psychology in medicine* (p.34-49). Bohn Stafleu van Loghum.
- Vrignaud, P. (2006). La scolarisation des enfants intellectuellement précoces en France : présentation des différentes mesures et de résultats de recherches. *Bulletin de psychologie*, Numéro 485(5), 439-449. <https://doi.org/10.3917/bupsy.485.0439>
- Wagner III, W. E. (2019). *Using IBM® SPSS® statistics for research methods and social science statistics*. Sage Publications.
- Wagner, R., Torgesen, J., & Rashotte, C. (1999). *Comprehensive test of phonological processing*. Pro-Ed.
- Walker, C. L., & Shore, B. M. (2011). Theory of mind and giftedness: New connections. *Journal for the Education of the Gifted*, 34(4), 644-668. <https://doi.org/10.1177/016235321103400406>
- Wallon, P., & Mesmin, C. (2009). *Test de la figure complexe de Rey [Rey's figure test]*. Éditions Centre de Psychologie Appliquée.

- Walton, J. N. (1960). The 'Floppy' Infant. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 2(1), 10-18. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1960.tb05127.x>
- Wankel, L. M., & Kreisel, P. S. (1985). Methodological Considerations in Youth Sport Motivation Research: A Comparison of Open-Ended and Paired Comparison Approaches. *Journal of Sport Psychology*, 7(1).
- Ward, L. M., & Kapoula, Z. (2020). Differential diagnosis of vergence and saccade disorders in dyslexia. *Scientific Reports*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79089-1>
- Watkins, M. W., Greenawalt, C. G., & Marcell, C. M. (2002). Factor Structure of the Wechsler Intelligence Scale for Children—Third Edition among Gifted Students. *Educational and Psychological Measurement*, 62(1), 164–172. <https://doi.org/10.1177/0013164402062001011>
- Watson, R. I. (1946). The use of the Wechsler-Bellevue Scales : a supplement. *Psychological Bulletin*, 43(1), 61-68. <https://doi.org/10.1037/h0063140>
- Webb, J.T., Amend, E.R., Webb, N.E., Goerss, J., Beljan, P., & Olenchak, F.R. (2005). *Misdiagnosis and Dual diagnoses of Gifted Children and Adults*. Great Potential Press.
- Webb, R. A. (1974). Concrete and Formal Operations in very Bright 6- to 11-Year-Olds. *Human Development*, 17(4), 292-300. <https://doi.org/10.1159/000271352>
- Wechsler, D. (1944). *Measurement of adult intelligence* (3rd ed). Williams & Wilkins.
- Wechsler, D. (1955). *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale*. Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1974). *Manual for the WISC-R*. Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1989). *Wechsler Preschool and Primary Intelligence Scales for Children, Revised*. The Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children-III*. Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2002). *Wechsler individual achievement test* (2nd ed). Pearson Canada Assessment.
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale* (4th Edition). Pearson
- Wechsler, D. (2012). *Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence—Fourth Edition (WPPSI-IV): Administration and scoring manual*. The Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2014). *Wechsler intelligence scale for children®—fifth edition*. Pearson.

- Wechsler, D. (2016). *WISC-V: Échelle d'Intelligence de Wechsler Pour Enfants: WISC-V: Manuel d'Administration et de Cotation* (5th Édition). Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Weismann-Arcache, C. (2006). Hétérogénéité ou dysharmonie ? Clinique du fonctionnement mental des enfants à haut potentiel. *Bulletin de psychologie*, 5(485), 481-489. <https://doi.org/10.3917/bupsy.485.0481>
- Weismann-Arcache, C. (2011). L'intelligence « surdéveloppée » , un héritage de la dépression infantile ? *Psychologie clinique et projective*, n° 17(1), 279-296. <https://doi.org/10.3917/pcp.017.0279>
- Weismann-Arcache, C. (2013). Apport de la clinique projective à la problématique du haut potentiel intellectuel. *Le Carnet PSY*, 169(2), 44. <https://doi.org/10.3917/lcp.169.0044>
- Wellisch, M., Brown, J., Taylor, A., Knight, R., Berresford, L., Campbell, L., & Cohen, A. (2011). Secure attachment and high iq: Are gifted children better adjusted?. *Australasian Journal of Gifted Education*, 20(2), 23-33.
- Wender, P. H. (1971). *Minimal brain dysfunction in children*. Wiley-Interscience.
- Whitaker, A. M., Bell, T. S., Houskamp, B. M., & O'Callaghan, E. T. (2015). A neurodevelopmental approach to understanding memory processes among intellectually gifted youth with attention-deficit hyperactivity disorder. *Applied Neuropsychology: Child*, 4(1), 31-40. <https://doi.org/10.1080/21622965.2013.790821>
- Wickett, J. C., Vernon, P. A., & Lee, D. H. (1994). In vivo brain size, head perimeter, and intelligence in a sample of healthy adult females. *Personality and Individual Differences*, 16(6), 831-838. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(94\)90227-5](https://doi.org/10.1016/0191-8869(94)90227-5)
- Wiley, J., & Goldstein, D. (1991). Sex, handedness and allergy: Are they related to academic giftedness?. *Journal for the Education of the Gifted*, 14(4), 412-422. <https://doi.org/10.1177/016235329101400406>
- Wilke, M., Sohn, J. H., Byars, A. W., & Holland, S. K. (2003). Bright spots: correlations of gray matter volume with IQ in a normal pediatric population. *Neuroimage*, 20(1), 202-215. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00199-X](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00199-X)
- Willerman, L., Schultz, R., Rutledge, J. N., & Bigler, E. D. (1991). In vivo brain size and intelligence. *Intelligence*, 15(2), 223-228. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(91\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0160-2896(91)90031-8)

- Willerman, L., Schultz, R., Rutledge, J. N., & Bigler, E. D. (1992). Hemisphere size asymmetry predicts relative verbal and nonverbal intelligence differently in the sexes: An MRI study of structure—Function relations. *Intelligence*, *16*(3-4), 315-328. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(92\)90012-G](https://doi.org/10.1016/0160-2896(92)90012-G)
- Winisdorffer, J., & Vaivre-Douret, L. (2012). Detect the " high potential" child (gifted). Longitudinal retrospective study on 19 children during 18 years in a rural general practitioner office. *La Revue du Praticien*, *62*(9), 1205-1211.
- Winner, E. (2000). The origins and ends of giftedness. *American psychologist*, *55*(1), 159. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.159>
- Winner, E., & Martino, G. (2000). Giftedness in non-academic domains: The case of the visual arts and music. *International handbook of giftedness and talent*, *2*, 95-110.
- Wood, V. R., & Laycraft, K. C. (2020). How Can We Better Understand, Identify, and Support Highly Gifted and Profoundly Gifted Students? A Literature Review of the Psychological Development of Highly-Profoundly Gifted Individuals and Overexcitabilities. *Annals of Cognitive Science*, *4*(1). <https://doi.org/10.36959/447/348>
- Woodcock, R. W. (1997). The Woodcock-Johnson Tests of Cognitive Ability—Revised. In D. P. Flanagan, J. L. Genshaft, & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (p. 230-246). The Guilford Press.
- World Health Organization. (1992). ICD-10. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems: Tenth Revision 1992, Volume 1= CIM-10. Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes: Dixième Révision 1992, Volume 1.
- Yaman, D. Y., & Sökmez, A. B. (2020). A case study on social-emotional problems in gifted children. *Ilkogretim Online*, *19* (3), 1768-1780. <https://doi:10.17051/ilkonline.2020.735156>
- Yang, Q., Bucci, M. P., & Kapoula, Z. (2002). The latency of saccades, vergence, and combined eye movements in children and in adults. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *43*(9), 2939-2949.
- Zazzo (1945). *Le devenir de l'intelligence*. PUF.
- Zeidner, M., & Shani-Zinovich, I. (2011). Do academically gifted and nongifted students differ on the Big-Five and adaptive status? Some recent data and

- conclusions. *Personality and Individual Differences*, 51(5), 566-570. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.05.007>
- Zhang, F., Xie, L., He, X., Song, X., Zheng, H., Wang, L., & Jiang, L. (2022). Tuber Brain Proportion Determines Epilepsy Onset in Children With Tuberous Sclerosis Complex. *Pediatric Neurology*, 129, 39-45.
- Zhang, L., Gan, J. Q., & Wang, H. (2017). Neurocognitive mechanisms of mathematical giftedness: A literature review. *Applied Neuropsychology: Child*, 6(1), 79-94. <https://doi.org/10.1080/21622965.2015.1119692>
- Zhang, Q., Shi, J., Luo, Y., Zhao, D., & Yang, J. (2006). Intelligence and information processing during a visual search task in children: an event-related potential study. *Neuroreport*, 17(7), 747-752. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000215774.46108.60>
- Ziegler, A. (2005). The actiotope model of giftedness. In R. Sternberg & J. Davidson (Eds.), *Conceptions of giftedness* (Vol. 2, p. 411-436): Cambridge University Press New York.
- Ziegler, A., & Raul, T. (2000). Myth and Reality : A review of empirical studies on giftedness. *High Ability Studies*, 11(2), 113-136. <https://doi.org/10.1080/13598130020001188>
- 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.
- Zilbovicius, M., Garreau, B., Samson, Y., Remy, P., Barthelemy, C., Syrota, A., & Lelord, G. (1995). Delayed maturation of the frontal cortex in childhood autism. *The American journal of psychiatry*. <https://doi.org/10.1176/ajp.152.2.248>
- Zillessen, K., Scheuerpflug, P., Fallgatter, A., Strik, W., & Warnke, A. (2001). Changes of the brain electrical fields during the continuous performance test in attention-deficit hyperactivity disorder-boys depending on methylphenidate medication. *Clinical Neurophysiology*, 112(7), 1166-1173. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(01\)00535-1](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(01)00535-1)
- Zwicker, J. G., Missiuna, C., Harris, S. R., & Boyd, L. A. (2010). Brain activation of children with developmental coordination disorder is different than peers. *Pediatrics*, 126(3), 678-686. <https://doi.org/10.1542/peds.2010-0059>

Annexes

Lettre d'information-Parents d'enfants tout-venant

■ Information COVID-19

- Pour empêcher la propagation du COVID-19, nous souhaitons vous préciser les dernières recommandations de santé publique fournies par gouvernement.fr qui s'appliqueront au déroulement de cette étude. Face aux infections respiratoires, l'hôpital Necker où se déroule l'étude met en place des gestes simples permettant de préserver votre santé et celle de votre entourage en limitant la transmission du virus :
 - Contactez l'équipe de recherche avant le rendez-vous ;
 - Pour un accès direct à la salle de passation, 1 seul accompagnant par enfant (sans symptôme respiratoire) ;
 - Le port du masque est obligatoire dans l'hôpital de même que se désinfecter les mains avec des solutions hydroalcooliques ;
 - L'accès au site sera refusé en cas de non-respect de ces règles : merci de prendre vos précautions avant de vous rendre à l'hôpital ;
 - Pour avoir un masque ou effectuer un lavage des mains, nous vous remercions de vous adresser en premier lieu au stand d'accueil à l'entrée de l'hôpital ;
 - Une prise de température sera automatiquement prise à l'entrée dans le service et un nouveau lavage des mains ;
 - Toussez ou éternuez dans votre coude ou dans un mouchoir ;
 - Restez toujours à plus d'un mètre les uns des autres ;
 - Utilisez un mouchoir à usage unique et jetez-le ;
 - Saluez sans vous serrer la main, arrêtez les embrassades ;
 - Évitez de vous toucher le visage en particulier le nez et la bouche ;
- Le rendez-vous doit être repoussé si votre enfant ou vous-même avez été en contact d'une personne testée positive au covid-19 ou vous présentez des symptômes faisant soupçonner le covid-19 :
 - Fièvre ;
 - Toux sèche ;
 - Perte de goût ou d'odorat ;
 - Gorge sèche ;
 - Essoufflement ;
 - Frissons ;
 - Tremblements répétés ;
 - Douleurs musculaires ;
 - Maux de tête ;
- Veuillez ne pas venir aux passations si vous (ou votre enfant) faites partie des personnes considérées comme à risque de développer une forme grave de covid-19 (Décret n° 2020-521 du 5 mai 2020 : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2020/5/5/SSAS2010803D/jo/texte>).

Madame, Monsieur,

Nous souhaitons vous informer de la possibilité de participer à une recherche scientifique relevant du domaine de la neuropsychologie et de la neuro-psychomotricité. Cette étude est menée par **Soukaina Hamdioui**, neuropsychologue clinicienne et doctorante à l'Université de Paris, Paris Descartes, école doctorale 261 « *Cognition, Comportements et Conduites humaines* », au sein du laboratoire UMR INSERM 1178/11018-CESP, dirigée par **Pr. Bruno Falissard**, sous la direction du **Pr. Laurence Vaivre-Douret**, Professeur des Universités, Faculté de Médecine, Université de Paris, Paris Descartes. Neuropsychologue clinicienne,

psychothérapeute, AP-HP. Centre., Pôle de Pédiatrie Générale et Multidisciplinaire à l'hôpital Necker. Membre de l'Institut Universitaire de France (IUF). Directrice de l'**Equipe de recherche NDTA** « *Neuro-développement et troubles des apprentissages* », UMR INSERM 1178/11018-CESP, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Paris.

Cette recherche est en collaboration avec **le Pr. Pascale Planche**, Professeur des Universités en Psychologie cognitive du développement à l'Université de Brest. Laboratoire : CREAD, EA 3875, ainsi qu'avec **Mme. Chantal Clouard**, orthophoniste, Docteure en Sciences humaines cliniques, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Pôle de Pédiatrie Générale et Multidisciplinaire, Paris.

Afin que vous puissiez décider de participer ou non à cette étude, vous trouverez ici toutes les informations nécessaires concernant l'objectif, le déroulement, les bénéfices/risques, et les contraintes liées à l'étude. Ainsi que des informations précises sur la confidentialité et la protection des participants.

Nous vous prions de prendre le temps de lire attentivement ces informations, et nous vous en remercions sincèrement par avance.

1. Présentation et objectif de l'étude

Cette recherche a pour objet l'étude du profil neuro-psychomoteur en lien avec le profil neuropsychologique d'enfants âgés de 7 à 12 ans, qui présentent un fonctionnement cognitif atypique ; qui se développent différemment des autres enfants, comme dans le cas du Haut Potentiel (HP). Pour ce faire, nous avons besoin d'étudier les profils cognitivo-sociaux et neuromoteurs de ces enfants en les confrontant aux profils d'enfants non HP dits tout-venant.

Nous aimerions affiner notre compréhension de ces profils au travers de diverses évaluations et questionnaires qui porteront sur les champs de la **neuropsychologie**, **neuro-psychomotricité**, **cognition sociale**, **oculomotricité**, et **langage**.

2. Protection des participants

Après cette lettre d'information, vous disposerez d'un délai de réflexion raisonnable pour décider de participer ou non à cette étude. Dans le cas où vous avez besoin de compléments d'informations durant ce délai, vous pouvez contacter l'investigateur de l'étude, Soukaina Hamdioui, par mail : soukaina.hamdioui@gmail.com ou par téléphone : [06.64.62.47.95](tel:06.64.62.47.95).

Vous êtes libre d'accepter et de faire participer votre enfant à cette étude scientifique ou de refuser. Nous serions ravies de savoir que vous acceptiez.

Dans le cas où vous refusez de participer, cela **n'impactera en aucune manière les relations de votre enfant avec les différents intervenants ni le bon déroulement de sa scolarité**. Votre enfant et vous-même pourriez, sans encourir aucune responsabilité, **interrompre cette collaboration et décider de retirer votre consentement à tout moment sans avoir à vous justifier**. Cette décision vous appartient, elle ne peut faire l'objet d'aucun jugement et n'aura aucune conséquence.

La décision de votre enfant est la première pierre angulaire constituant cette collaboration, c'est pourquoi son consentement éclairé est fondamental. Sa signature est donc requise en bas du Formulaire de Recueil de Consentement Eclairé ci-joint. De même, une notice d'information, plus laconique et rédigée dans un langage plus accessible, lui étant destinée.

3. Déroulement de l'étude

Pour mener cette étude nous souhaitons recruter deux groupes d'enfants (votre enfant doit appartenir au deuxième groupe) :

- **Groupe 1**: enfants âgés de 7 à 12ans, né à terme, bien portants et à Haut Potentiel (HP, identifié(e) via la passation d'un bilan psychométrique WISC-V ou IV administré par un psychologue clinicien ou un neuropsychologue diplômé d'état.), sans troubles avérés que ce soit neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier.

- **Groupe 2**: enfants âgés de 7 à 12ans, né à terme, bien portants, scolarisés dans leur classe d'âge (sans redoublement ou saut de classe), et non à Haut Potentiel, sans difficultés scolaires/d'apprentissage ou de rééducation en cours, sans troubles avérés (neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier). L'entourage familial proche ne doit pas présenter de troubles autistiques, de retard de développement, ou de troubles psychiatriques.

Dans un premier temps, nous vous demandons de bien vouloir lire attentivement cette lettre d'information. Si vous êtes d'accord pour participer à cette étude, merci de signer les trois exemplaires du document intitulé « **Formulaire de Consentement Eclairé** » et les retourner à **Mme Soukaina Hamdioui** (investigatrice de la recherche). L'un de ces trois exemplaires vous sera retourné lors du premier rendez-vous.

Dans cette étude, nous proposons à votre enfant un bilan neuro-psychomoteur et des évaluations neuropsychologiques, ainsi qu'un bilan oculo-moteur (Eye Tracking devant un écran d'ordinateur), effectués dans le cadre de l'équipe de recherche clinique NDTA (Pr. Laurence Vaivre-Douret). Ces bilans sont répartis sur trois demi-journées avec des pauses de 5-10 minutes à chaque consultation. Elles seront étalées en fonction de vos disponibilités et celle de votre enfant. La première consultation comme la deuxième pourront durer 3 heures chacune et la troisième sera de durée autour d'une heure. La durée de passation reste relative à chaque enfant c'est pourquoi nous nous adapterons aux besoins et au rythme de chacun d'entre eux leur permettant de profiter d'un cadre agréable et ludique.

Par ailleurs, cette recherche demande également la participation des parents qui devront remplir des questionnaires concernant des informations personnelles qui resteront strictement confidentielles et anonymes. Il s'agit de 4 questionnaires nécessitant 2h 20 minutes en moyenne. Ils vous seront adressés par mail ou par courrier pour les remplir en amont. Lors du premier rendez-vous avec l'enfant, vous devrez apporter ces questionnaires déjà remplis.

4. Localisation de l'étude

L'étude se déroulera dans la salle clinique sur le site de l'hôpital Necker au sein de la plateforme de phénotypage neurodéveloppemental de l'équipe de recherche NDTA « *Neuro-développement et troubles des apprentissages* », UMR INSERM 1178/11018-CESP, dirigée par le Pr. Laurence Vaivre-Douret. Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Carré Necker, 1 Bis, 149 rue de Sèvres 75015 Paris, France.

5. Confidentialité et anonymat

Toutes les données collectées concernant votre enfant seront analysées, traitées et conservées de manière **totale**ment anonyme et strictement confidentielle dans le cadre des travaux de recherche de l'équipe «NDTA» du Pr. Laurence Vaivre-Douret, UMR INSERM 1178/11018-CESP, à l'Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades de Paris. Vous avez ainsi le **droit d'accès et de rectification des données concernant** votre enfant (article 40).

Dans le cadre de la valorisation de cette recherche, certaines données cliniques feront l'objet d'un **traitement informatique conformément à la Loi « Informatique et Liberté » du 06 Janvier 1978**. Ces données restent **strictement confidentielles dans le cadre du laboratoire de l'Unité INSERM de Necker**.

Par ailleurs, certains résultats feront l'objet de communications et/ou de publications scientifiques et/ou médicales, dans ce cas **l'identité des participants n'apparaîtra en aucune façon**.

6. Bénéfices et risques liés à l'étude

Risques : Aucun effet indésirable n'est attendu, la recherche s'inscrit dans un cadre clinique pluridisciplinaire, gravitant autour des évaluations non-invasives. Aucun médicament n'est prescrit ni administré. Ainsi, aucun danger n'est à noter et aucun risque spécifique n'est relevé. Il s'agit principalement de questionnaires et de tests standardisés et validés à effectuer.

Néanmoins, la participation à l'étude expose votre enfant au repérage fortuit d'un trouble. Vous êtes libres d'accepter ou de refuser de participer si vous ne souhaitez pas être informés de cette éventualité. Si vous acceptiez de participer en connaissance de cause et qu'un trouble ait repéré, l'équipe clinique référente (l'investigateur de recherche, Soukaina Hamdioui, qui est neuropsychologue clinicienne et le Pr. Laurence Vaivre-Douret qui est aussi neuropsychologue clinicienne), se chargera, gracieusement, d'en discuter avec vous de façon confidentielle, et vous orientera pour les éventuelles prises en charge préconisées. En revanche, si vous refusez d'être mis au courant de découvertes fortuites vous ne pouvez pas participer à cette étude.

Bénéfices : Les investigations cliniques, bien que courantes dans le service seront gratuites dans le cadre de cette étude.

Que votre enfant présente des difficultés particulières ou non, les résultats globaux de cette étude vous seront communiqués si vous le souhaitez.

La participation de votre enfant et vous-même à cette étude contribuera à faire avancer la science.

7. Contraintes liées à la participation

La seule contrainte liée à cette recherche consiste à être disponible pour se rendre aux passations des tests et prendre le temps de remplir les questionnaires à domicile. Un calendrier vous sera communiqué afin de prendre rendez-vous à la date qui vous convient le mieux, tout en sachant que l'école est tout à fait d'accord pour coopérer avec les investigateurs cliniciens afin de mener à bien cette étude sans qu'il n'y ait aucun retentissement sur le programme scolaire de votre enfant.

8. Rémunération

Étant dans une démarche bénévole, aucune rémunération ne vous sera proposée. De même, les professionnels impliqués dans l'étude ne reçoivent aucun avantage financier ou autre dans la conduite de celle-ci. En revanche, **pour remercier votre enfant de sa contribution à la recherche, il lui sera remis un diplôme « d'apprenti chercheur signé par l'équipe de l'INSERM-Necker ».**

9. Contact :

Soukaina Hamdioui, Neuropsychologue clinicienne, doctorante à l'Université de Paris, Paris Descartes, investigatrice de l'étude, par mail: soukaina.hamdioui@gmail.com ou par téléphone : [06.64.62.47.95](tel:06.64.62.47.95).

*Nous comptons sur votre participation à ce projet de recherche pour une meilleure connaissance du développement cognitif et neuro-psychomoteur des enfants.
Nous vous remercions sincèrement d'avoir lu attentivement cette lettre, et nous vous prions d'agréer,
Madame, Monsieur, nos salutations distinguées.*

Annexe 2 :



Lettre d'information-Enfant à Haut Potentiel

■ Information COVID-19

- Pour empêcher la propagation du COVID-19, nous souhaitons te préciser les dernières recommandations de santé publique qui s'appliqueront au déroulement de cette étude. Face aux infections respiratoires, l'hôpital Necker où se déroule l'étude met en place des gestes simples permettent de préserver ta santé et celle de ton entourage en limitant la transmission du virus :
 - Le port du masque est obligatoire dans l'hôpital de même que se désinfecter les mains avec des solutions hydroalcooliques ;
 - L'accès au site sera refusé en cas de non-respect de ces règles : merci de prendre vos précautions avant de vous rendre à l'hôpital ;
 - Pour avoir un masque ou effectuer un lavage des mains, nous vous remercions de vous adresser en premier lieu au stand d'accueil à l'entrée de l'hôpital ;
 - Une prise de température sera automatiquement prise à l'entrée dans le service et un nouveau lavage des mains ;
 - Il faut Tousser ou éternuer dans ton coude ou dans un mouchoir ;
 - Il faut rester toujours à plus d'un mètre les uns des autres ;
 - Il est recommandé d'utiliser un mouchoir à usage unique et le jeter ;
 - Il faut saluer sans serrer la main et arrêter les embrassades ;
 - Il faut éviter de te toucher le visage en particulier le nez et la bouche ;
- Le rendez-vous doit être repoussé si toi-même, tes parents, ou la personne qui t'accompagne avez été en contact d'une personne testée positive au covid-19 ou vous présentez des symptômes faisant soupçonner le covid-19 :
 - Fièvre ;
 - Toux sèche ;
 - Perte de goût ou d'odorat ;
 - Gorge sèche ;
 - Essoufflement ;
 - Frissons ;
 - Tremblements répétés ;
 - Douleurs musculaires ;
 - Maux de tête ;
- Il n'est pas recommandé de se présenter aux passations si toi-même, tes parents, ou la personne qui t'accompagne faites partie des personnes considérées comme à risque de développer une forme grave de covid-19 (Décret n° 2020-521 du 5 mai 2020 : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2020/5/5/SSAS2010803D/jo/texte>).

Nous souhaitons t'informer de la possibilité de participer à une recherche scientifique menée par une neuropsychologue clinicienne et doctorante, Soukaina Hamdioui, de l'Université de Paris, Paris Descartes. La directrice principale de cette recherche est le Professeur Laurence Vaivre-Douret, neuropsychologue clinicienne, Faculté de Médecine, Université de Paris, Paris Descartes. Responsable de l'équipe de recherche *NDTA « Neuro-développement et troubles des apprentissages »*, UMR INSERM 1178/11018-CESP, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Pôle de Pédiatrie Générale et Multidisciplinaire.

Dans ce cadre, cette lettre a pour objectif de t'expliquer le but de cette étude, ce qu'on va te demander de faire si tu es d'accord de participer. Par ailleurs, cette lettre est faite pour t'expliquer ce que tu as le droit de dire, de faire, ou de demander.

1. Sujet de l'étude et pourquoi nous la faisons :

Le sujet principal de cette recherche scientifique est de rencontrer des enfants qui ne se développent pas tout à fait de la même façon que les autres, qui se comportent et réfléchissent différemment et qui sont parfois très forts dans certains domaines mais pouvant avoir des difficultés dans d'autres domaines.

L'objectif de cette étude est d'essayer de mieux comprendre le fonctionnement de ces enfants afin de mieux comprendre comment ils pensent, réfléchissent et pourquoi ils se comportent parfois de façon différente des autres. Ces enfants sont souvent connus par leurs capacités intellectuelles qui sont élevées (QI), mais nous ne connaissons pas assez d'informations scientifiques sur leurs capacités physiques et émotionnelles. Nous souhaitons mieux comprendre pour les aider à s'épanouir dans leur vie de tous les jours.

Pour mener cette étude nous souhaitons recruter deux groupes d'enfants :

- **Groupe 1:** enfants âgés de 7 à 12 ans, nés à terme, bien portants et à Haut Potentiel intellectuel (QI d'HP, identifié(e) via la passation d'un bilan psychométrique WISC-V ou IV administré par un psychologue clinicien ou un neuropsychologue diplômé d'état.), sans troubles avérés que ce soit neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier.

- **Groupe 2:** enfants âgés de 7 à 12 ans, nés à terme, bien portants, scolarisés dans leur classe d'âge (sans redoublement ou saut de classe), et pas à Haut Potentiel, sans difficultés scolaires/d'apprentissage ou de rééducation en cours, sans troubles avérés (neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier). L'entourage familial proche ne doit pas présenter de troubles autistiques, de retard de développement, ou de troubles psychiatriques.

Si tu fais partie du premier groupe, tu peux participer à cette étude pour faire avancer la science et tu en seras remercié et récompensé par un diplôme « d'apprenti chercheur ».

Ton école est tout à fait d'accord pour que tu puisses participer à cette recherche, il n'y aura aucun retentissement sur ta scolarité.

2. Qu'allons-nous te demander de faire si tu es d'accord de participer ?

D'abord tu seras reçu avec tes parents pour rencontrer Soukaina Hamdioui qui gère l'étude. Elle t'accueillera et posera quelques questions à tes parents auxquelles tu pourras donner des réponses toi aussi si tu le souhaites. Ensuite tu seras invité à participer à des activités psychomotrices (sauter, réaliser des gestes avec tes mains et tes doigts, des mouvements de coordination avec ton corps, dessiner des modèles, ...etc.), et répondre à quelques questions spécifiques, regarder des images et choisir le mot qui correspond à chacune, ...etc.

Tu seras invité à revenir un autre jour pour continuer les activités qui restent et jouer devant un écran d'ordinateur qui filmiera tes yeux. Tu devras venir deux fois en tout, pour trois séances : La première séance comme la deuxième pourront durer 3 heures chacune et la troisième sera de durée autour d'une heure. Mais ne t'inquiète pas, nous nous sommes organisés avec ton école pour que tu puisses venir à ces deux rendez-vous sans problème.

Durant ces séances, certaines choses seront très faciles pour toi, d'autres moins mais tu ne devras pas t'inquiéter car nous t'invitons à faire pour le mieux sans être jugé et cela ne restera qu'entre toi et nous, l'école ne sera pas au courant de ce que tu feras en séance avec nous ou de ce que tu nous diras.

3. Qu'as-tu le droit de dire, de faire ou de demander ?

- Tu as le droit de refuser de participer à cette recherche scientifique, tu ne risques rien en le disant à tes parents ou aux chercheurs de cette étude.
- Personne n'a le droit de te forcer à participer ou à continuer à participer si tu ne veux pas.
- Tu as le droit de changer d'avis sans dire pourquoi, même si tu as déjà commencé à faire les activités avec le chercheur.
- Tu as le droit de poser des questions à propos de cette recherche à tes parents mais aussi au chercheur en contactant Soukaina Hamdioui par mail : soukaina.hamdioui@gmail.com ou par téléphone : [06.64.62.47.95](tel:06.64.62.47.95).
- Conformément à la loi, les chercheurs n'ont absolument pas le droit de raconter ce que tu as pu dire en séances pendant que tu étais seul (e) avec eux, sauf à tes parents, si tu es d'accord. De même, les chercheurs n'ont aucun droit de dire à d'autres personnes les réponses que tu as données pendant les séances sauf à tes parents. Tout ce que tu feras servira à faire avancer la recherche.
- Les chercheurs pourront discuter entre eux de ton cas sans dire ton nom ni ton prénom.
- Ta participation est gratuite et tu auras un diplôme de participation pour avoir contribué à faire avancer la science « *diplôme d'apprenti chercheur* »
- Tes parents ont aussi reçu une lettre leur expliquant tout, tu pourras discuter avec eux si t'en as envie.

Si tu es d'accord pour participer à cette étude, nous t'invitons à signer un papier avec tes parents.

Nous te remercions sincèrement d'avoir lu attentivement cette lettre

Lettre d'information-Enfant tout-venant

■ Information COVID-19

- Pour empêcher la propagation du COVID-19, nous souhaitons te préciser les dernières recommandations de santé publique qui s'appliqueront au déroulement de cette étude. Face aux infections respiratoires, l'hôpital Necker où se déroule l'étude met en place des gestes simples permettent de préserver ta santé et celle de ton entourage en limitant la transmission du virus :
 - Le port du masque est obligatoire dans l'hôpital de même que se désinfecter les mains avec des solutions hydroalcooliques ;
 - L'accès au site sera refusé en cas de non-respect de ces règles : merci de prendre vos précautions avant de vous rendre à l'hôpital ;
 - Pour avoir un masque ou effectuer un lavage des mains, nous vous remercions de vous adresser en premier lieu au stand d'accueil à l'entrée de l'hôpital ;
 - Une prise de température sera automatiquement prise à l'entrée dans le service et un nouveau lavage des mains ;
 - Il faut Tousser ou éternuer dans ton coude ou dans un mouchoir ;
 - Il faut rester toujours à plus d'un mètre les uns des autres ;
 - Il est recommandé d'utiliser un mouchoir à usage unique et le jeter ;
 - Il faut saluer sans serrer la main et arrêter les embrassades ;
 - Il faut éviter de te toucher le visage en particulier le nez et la bouche ;
- Le rendez-vous doit être repoussé si toi-même, tes parents, ou la personne qui t'accompagne avez été en contact d'une personne testée positive au covid-19 ou vous présentez des symptômes faisant soupçonner le covid-19 :
 - Fièvre ;
 - Toux sèche ;
 - Perte de goût ou d'odorat ;
 - Gorge sèche ;
 - Essoufflement ;
 - Frissons ;
 - Tremblements répétés ;
 - Douleurs musculaires ;
 - Maux de tête ;
- Il n'est pas recommandé de se présenter aux passations si toi-même, tes parents, ou la personne qui t'accompagne faites partie des personnes considérées comme à risque de développer une forme grave de covid-19 (Décret n° 2020-521 du 5 mai 2020 : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2020/5/5/SSAS2010803D/jo/texte>).

Nous souhaitons t'informer de la possibilité de participer à une recherche scientifique menée par une neuropsychologue clinicienne et doctorante, Soukaina Hamdioui, de l'Université de Paris, Paris Descartes. La directrice principale de cette recherche est le Professeur Laurence Vaivre-Douret, neuropsychologue clinicienne, Faculté de Médecine, Université de Paris, Paris Descartes. Responsable de l'équipe de recherche *NDTA* « *Neuro-développement et troubles des apprentissages* », UMR INSERM 1178/11018-CESP, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Pôle de Pédiatrie Générale et Multidisciplinaire.

Dans ce cadre, cette lettre a pour objectif de t'expliquer le but de cette étude, ce qu'on va te demander de faire si tu es d'accord de participer. Par ailleurs, cette lettre est faite pour t'expliquer ce que tu as le droit de dire, de faire, ou de demander.

1. Sujet de l'étude et pourquoi nous la faisons :

Le sujet principal de cette recherche scientifique est de rencontrer des enfants qui ne se développent pas tout à fait de la même façon que les autres, qui se comportent et réfléchissent différemment et qui sont parfois très forts dans certains domaines mais pouvant avoir des difficultés dans d'autres domaines.

L'objectif de cette étude est d'essayer de mieux comprendre le fonctionnement de ces enfants afin de mieux comprendre comment ils pensent, réfléchissent et pourquoi ils se comportent parfois de façon différente des autres. Ces enfants sont souvent connus par leurs capacités intellectuelles qui sont élevées (QI), mais nous ne connaissons pas assez d'informations scientifiques sur leurs capacités physiques et émotionnelles. Nous souhaitons mieux comprendre pour les aider à s'épanouir dans leur vie de tous les jours. Pour cela, nous avons besoin d'étudier leurs profils en les comparant aux profils d'enfants non HP (tout-venant).

Pour mener cette étude nous souhaitons recruter deux groupes d'enfants :

- **Groupe 1:** enfants âgés de 7 à 12 ans, nés à terme, bien portants et à Haut Potentiel intellectuel (QI d'HP, identifié(e) via la passation d'un bilan psychométrique WISC-V ou IV administré par un psychologue clinicien ou un neuropsychologue diplômé d'état.), sans troubles avérés que ce soit neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier.

- **Groupe 2:** enfants âgés de 7 à 12 ans, nés à terme, bien portants, scolarisés dans leur classe d'âge (sans redoublement ou saut de classe), et pas à Haut Potentiel, sans difficultés scolaires/d'apprentissage ou de rééducation en cours, sans troubles avérés (neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier). L'entourage familial proche ne doit pas présenter de troubles autistiques, de retard de développement, ou de troubles psychiatriques.

Si tu fais partie du deuxième groupe, tu peux participer à cette étude pour faire avancer la science et tu en seras remercié et récompensé par un diplôme « d'apprenti chercheur ».

Ton école est tout à fait d'accord pour que tu puisses participer à cette recherche, il n'y aura aucun retentissement sur ta scolarité.

2. Qu'allons-nous te demander de faire si tu es d'accord de participer ?

D'abord tu seras reçu avec tes parents pour rencontrer Soukaina Hamdioui qui gère l'étude. Elle t'accueillera et posera quelques questions à tes parents auxquelles tu pourras donner des réponses toi aussi si tu le souhaites. Ensuite tu seras invité à participer à des activités psychomotrices (sauter, réaliser des gestes avec tes mains et tes doigts, des mouvements de coordination avec ton corps, dessiner des modèles, ...etc.), et répondre à quelques questions spécifiques, regarder des images et choisir le mot qui correspond à chacune, ...etc.

Tu seras invité à revenir un autre jour pour continuer les activités qui restent et jouer devant un écran d'ordinateur qui filmiera tes yeux. Tu devras venir deux fois en tout, pour trois séances : La première séance comme la deuxième pourront durer 3 heures chacune et la troisième sera de durée autour d'une heure. Mais ne t'inquiète pas, nous nous sommes organisés avec ton école pour que tu puisses venir à ces deux rendez-vous sans problème.

Durant ces séances, certaines choses seront très faciles pour toi, d'autres moins mais tu ne devras pas t'inquiéter car nous t'invitons à faire pour le mieux sans être jugé et cela ne restera qu'entre toi et nous, l'école ne sera pas au courant de ce que tu feras en séance avec nous ou de ce que tu nous diras.

3. Qu'as-tu le droit de dire, de faire ou de demander ?

- Tu as le droit de refuser de participer à cette recherche scientifique, tu ne risques rien en le disant à tes parents ou aux chercheurs de cette étude.
- Personne n'a le droit de te forcer à participer ou à continuer à participer si tu ne veux pas.
- Tu as le droit de changer d'avis sans dire pourquoi, même si tu as déjà commencé à faire les activités avec le chercheur.
- Tu as le droit de poser des questions à propos de cette recherche à tes parents mais aussi au chercheur en contactant Soukaina Hamdioui par mail : soukaina.hamdioui@gmail.com ou par téléphone : [06.64.62.47.95](tel:06.64.62.47.95).
- Conformément à la loi, les chercheurs n'ont absolument pas le droit de raconter ce que tu as pu dire en séances pendant que tu étais seul (e) avec eux, sauf à tes parents, si tu es d'accord. De même, les chercheurs n'ont aucun droit de dire à d'autres personnes les réponses que tu as données pendant les séances sauf à tes parents. Tout ce que tu feras servira à faire avancer la recherche.
- Les chercheurs pourront discuter entre eux de ton cas sans dire ton nom ni ton prénom.
- Ta participation est gratuite et tu auras un diplôme de participation pour avoir contribué à faire avancer la science « *diplôme d'apprenti chercheur* »
- Tes parents ont aussi reçu une lettre leur expliquant tout, tu pourras discuter avec eux si t'en as envie.

Si tu es d'accord pour participer à cette étude, nous t'invitons à signer un papier avec tes parents.

Nous te remercions sincèrement d'avoir lu attentivement cette lettre

Lettre d'information-Parents d'enfant à Haut Potentiel

■ Information COVID-19

- Pour empêcher la propagation du COVID-19, nous souhaitons vous préciser les dernières recommandations de santé publique fournies par gouvernement.fr qui s'appliqueront au déroulement de cette étude. Face aux infections respiratoires, l'hôpital Necker où se déroule l'étude met en place des gestes simples permettant de préserver votre santé et celle de votre entourage en limitant la transmission du virus :
 - Contactez l'équipe de recherche avant le rendez-vous ;
 - Pour un accès direct à la salle de passation, 1 seul accompagnant par enfant (sans symptôme respiratoire) ;
 - Le port du masque est obligatoire dans l'hôpital de même que se désinfecter les mains avec des solutions hydroalcooliques ;
 - L'accès au site sera refusé en cas de non-respect de ces règles : merci de prendre vos précautions avant de vous rendre à l'hôpital ;
 - Pour avoir un masque ou effectuer un lavage des mains, nous vous remercions de vous adresser en premier lieu au stand d'accueil à l'entrée de l'hôpital ;
 - Une prise de température sera automatiquement prise à l'entrée dans le service et un nouveau lavage des mains ;
 - Toussez ou éternuez dans votre coude ou dans un mouchoir ;
 - Restez toujours à plus d'un mètre les uns des autres ;
 - Utilisez un mouchoir à usage unique et jetez-le ;
 - Saluez sans vous serrer la main, arrêtez les embrassades ;
 - Evitez de vous toucher le visage en particulier le nez et la bouche ;
- Le rendez-vous doit être repoussé si votre enfant ou vous-même avez été en contact d'une personne testée positive au covid-19 ou vous présentez des symptômes faisant soupçonner le covid-19 :
 - Fièvre ;
 - Toux sèche ;
 - Perte de goût ou d'odorat ;
 - Gorge sèche ;
 - Essoufflement ;
 - Frissons ;
 - Tremblements répétés ;
 - Douleurs musculaires ;
 - Maux de tête ;
- Veuillez ne pas venir aux passations si vous (ou votre enfant) faites partie des personnes considérées comme à risque de développer une forme grave de covid-19 (Décret n° 2020-521 du 5 mai 2020 : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2020/5/5/SSAS2010803D/jo/texte>).

Madame, Monsieur,

Nous souhaitons vous informer de la possibilité de participer à une recherche scientifique relevant du domaine de la neuropsychologie et de la neuro-psychomotricité. Cette étude est menée par **Soukaina Hamdioui**, neuropsychologue clinicienne et doctorante à l'Université de Paris, Paris Descartes, école doctorale 261 « Cognition, *Comportements et Conduites humaines* », au sein du laboratoire UMR INSERM 1178/11018-CESP, dirigée par **Pr. Bruno Falissard**, sous la direction du **Pr. Laurence Vaivre-Douret**, Professeur des Universités, Faculté de Médecine, Université de Paris, Paris Descartes. Neuropsychologue clinicienne, psychothérapeute, AP-HP. Centre., Pôle de Pédiatrie Générale et Multidisciplinaire à l'hôpital Necker. Membre de l'Institut Universitaire de France (IUF). Directrice de **l'Equipe de recherche NDTA** « *Neuro-développement et troubles des apprentissages* », UMR INSERM 1178/11018-CESP, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Paris.

Cette recherche est en collaboration avec **le Pr. Pascale Planche**, Professeur des Universités en Psychologie cognitive du développement à l'Université de Brest. Laboratoire : CREAD, EA 3875, ainsi qu'avec **Mme. Chantal Clouard**, orthophoniste, Docteure en Sciences humaines cliniques, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Pôle de Pédiatrie Générale et Multidisciplinaire, Paris.

Afin que vous puissiez décider de participer ou non à cette étude, vous trouverez ici toutes les informations nécessaires concernant l'objectif, le déroulement, les bénéfices/risques, et les contraintes liées à l'étude. Ainsi que des informations précises sur la confidentialité et la protection des participants.

Nous vous prions de prendre le temps de lire attentivement ces informations, et nous vous en remercions sincèrement par avance.

1. Présentation et objectif de l'étude

Cette recherche a pour objet l'étude du profil neuro-psychomoteur en lien avec le profil neuropsychologique d'enfants âgés de 7 à 12 ans, qui présentent un fonctionnement cognitif atypique ; qui se développent différemment des autres enfants, comme dans le cas du Haut Potentiel (HP). Afin de faciliter le déroulement et l'aboutissement de cette étude, l'établissement de votre enfant a donné son accord pour qu'il puisse participer, s'il le souhaite. Nous aimerions affiner notre compréhension de ces profils au travers de diverses évaluations et questionnaires qui porteront sur les champs de la **neuropsychologie, neuro-psychomotricité, cognition sociale, oculomotricité, et langage**.

En effet, ces enfants sont souvent connus par leurs capacités intellectuelles qui sont élevées mais nous notons un manque d'informations scientifiques sur leur fonctionnement psychomoteur, neuromoteur, et social. Un de nos objectifs consiste à apporter un éclairage sur les connaissances que nous avons de ces profils auprès des professionnels de santé et enseignants, ce qui, par conséquent, permettrait un meilleur dépistage et compréhension du fonctionnement de ces enfants.

2. Protection des participants

Après cette lettre d'information, vous disposerez d'un délai de réflexion raisonnable pour décider de participer ou non à cette étude. Dans le cas où vous avez besoin de compléments d'informations durant ce délai, vous pouvez contacter l'investigateur de l'étude, Soukaina Hamdioui, par mail : soukaina.hamdioui@gmail.com ou par téléphone : 06.64.62.47.95.

Vous êtes tout à fait libre d'accepter et de faire participer votre enfant à cette étude scientifique ou de refuser. Nous serions ravies de savoir que vous acceptiez.

Dans le cas où vous refusez de participer, cela **n'impactera en aucune manière les relations de votre enfant avec les différents intervenants ni le bon déroulement de sa scolarité**. Votre enfant et vous-même pourriez, sans encourir aucune responsabilité, **interrompre cette collaboration et décider de retirer votre consentement à tout moment sans avoir à vous justifier**. Cette décision vous appartient, elle ne peut faire l'objet d'aucun jugement et n'aura aucune conséquence.

La décision de votre enfant est la première pierre angulaire constituant cette collaboration, c'est pourquoi son consentement éclairé est fondamental. Sa signature est donc requise en bas du Formulaire de Recueil de Consentement Eclairé ci-joint. De même, une notice d'information, plus laconique et rédigée dans un langage plus accessible, lui étant destinée.

3. Déroulement de l'étude

Pour mener cette étude nous souhaitons recruter deux groupes d'enfants (votre enfant doit appartenir au premier groupe) :

- **Groupe 1:** enfants âgés de 7 à 12ans, né à terme, bien portants et à Haut Potentiel (HP, identifié(e) via la passation d'un bilan psychométrique WISC-V ou IV administré par un psychologue clinicien ou un neuropsychologue diplômé d'état.), sans troubles avérés que ce soit neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier.

- **Groupe 2:** enfants âgés de 7 à 12ans, né à terme, bien portants, scolarisés dans leur classe d'âge (sans redoublement ou saut de classe), et non HP, sans difficultés scolaires/d'apprentissage ou de rééducation en cours, sans troubles avérés (neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier). L'entourage familial proche ne doit pas présenter de troubles autistiques, de retard de développement, ou de troubles psychiatriques.

Dans un premier temps, cette lettre d'information vous a été transmise par l'intermédiaire de l'école. Nous vous demandons de bien vouloir la lire attentivement.

Si vous êtes d'accord pour participer à cette étude, merci de signer les trois exemplaires du document intitulé « **Formulaire de Consentement Eclairé** » et les retourner, **cachetés sous pli confidentiel à l'attention de Mme Soukaina Hamdioui** (investigatrice de la recherche), à l'enseignant qui vous les a transmis. Ce dernier les transmettra à Mme Hamdioui. L'un de ces trois exemplaires vous sera retourné lors du premier rendez-vous.

Ensuite, vous seriez contacté (es) par téléphone de la part de Mme Soukaina Hamdioui pour vous proposer un calendrier afin de fixer un rendez-vous avec votre enfant et vous-même pour les passations des tests (à l'adresse mentionnée ci-après).

Dans cette étude, nous proposons à votre enfant un bilan neuro-psychomoteur et des évaluations neuropsychologiques, ainsi qu'un bilan oculo-moteur (Eye Tracking devant un écran d'ordinateur), effectués dans le cadre de l'équipe de recherche clinique NDTA (Pr. Laurence Vaivre-Douret). Ces bilans sont répartis sur trois demi-journées avec des pauses de 5-10 minutes à chaque consultation. Elles seront étalées en fonction de vos disponibilités et celle de votre enfant. La première consultation comme la deuxième pourront durer 3 heures chacune et la troisième sera de durée autour d'une heure. La durée de passation reste relative à chaque enfant c'est pourquoi nous nous adapterons aux besoins et au rythme de chacun d'entre eux leur permettant de profiter d'un cadre agréable et ludique. Dans le cas où votre enfant a déjà effectué certaines évaluations datant de moins de 18 mois, nous ne les lui proposerons pas de nouveau.

Par ailleurs, cette recherche demande également la participation des parents qui devront remplir des questionnaires concernant des informations personnelles qui resteront strictement confidentielles et anonymes. Il s'agit de 4 questionnaires nécessitant 2h 20 minutes en moyenne. Ils vous seront adressés par mail ou par courrier pour les remplir en amont. Lors du premier rendez-vous avec l'enfant, vous devrez apporter ces questionnaires déjà remplis.

4. Localisation de l'étude

L'étude se déroulera dans la salle clinique sur le site de l'hôpital Necker au sein de la plateforme de phénotypage neurodéveloppemental de l'équipe de recherche NDTA « *Neuro-développement et troubles des apprentissages* », UMR INSERM 1178/11018-CESP, dirigée par le Pr. Laurence Vaivre-Douret. Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Carré Necker, 1 Bis, 149 rue de Sèvres 75015 Paris, France.

5. Confidentialité et anonymat

Toutes les données collectées concernant votre enfant seront analysées, traitées et conservées de manière **totalement anonyme et strictement confidentielle** dans le cadre des travaux de recherche de l'équipe «NDTA» du Pr. Laurence Vaivre-Douret, UMR INSERM 1178/11018-CESP, à l'Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades de Paris. Vous avez ainsi le **droit d'accès et de rectification des données concernant** votre enfant (article 40).

Dans le cadre de la valorisation de cette recherche, certaines données cliniques feront l'objet d'un **traitement informatique conformément à la Loi « Informatique et Liberté » du 06 Janvier 1978**. Ces données restent **strictement confidentielles dans le cadre du laboratoire de l'Unité INSERM de Necker**.

Par ailleurs, certains résultats feront l'objet de communications et/ou de publications scientifiques et/ou médicales, dans ce cas **l'identité des participants n'apparaîtra en aucune façon**.

6. Bénéfices et risques liés à l'étude

Risques : Aucun effet indésirable n'est attendu, la recherche s'inscrit dans un cadre clinique pluridisciplinaire, gravitant autour des évaluations non-invasives. Aucun médicament n'est prescrit ni administré. Ainsi, aucun danger n'est à noter et aucun risque spécifique n'est relevé. Il s'agit principalement de questionnaires et de tests standardisés et validés à effectuer.

Néanmoins, la participation à l'étude expose votre enfant au repérage fortuit d'un trouble. Vous êtes libres d'accepter ou de refuser de participer si vous ne souhaitez pas être informés de cette éventualité. Si vous acceptiez de participer en connaissance de cause et qu'un trouble ait repéré, l'équipe clinique référente (l'investigateur de recherche, Soukaina Hamdioui, qui est neuropsychologue clinicienne et le Pr. Laurence Vaivre-Douret qui est aussi neuropsychologue clinicienne), se chargera, gracieusement, d'en discuter avec vous de façon confidentielle, et vous orientera pour les éventuelles prises en charge préconisées. En revanche, si vous refusez d'être mis au courant de découvertes fortuites vous ne pouvez pas participer à cette étude.

Bénéfices : Les investigations cliniques, bien que courantes dans le service seront gratuites dans le cadre de cette étude.

Que votre enfant présente des difficultés particulières ou non, les résultats globaux de cette étude vous seront communiqués si vous le souhaitez.

La participation de votre enfant et vous-même à cette étude permettra une meilleure compréhension du fonctionnement de l'enfant à haut potentiel et une meilleure connaissance sur les particularités de ces enfants.

La diffusion des résultats auprès des professionnels concernés permettra de mieux considérer ces enfants. Vous contribuerez donc à faire avancer la science et à aider d'autres enfants HP.

7. Contraintes liées à la participation

La seule contrainte liée à cette recherche consiste à être disponible pour se rendre aux passations des tests et prendre le temps de remplir les questionnaires à domicile. Un calendrier vous sera communiqué afin de prendre rendez-vous à la date qui vous convient le mieux, tout en sachant que l'école est tout à fait d'accord pour coopérer avec les investigateurs cliniciens afin de mener à bien cette étude sans qu'il n'y ait aucun retentissement sur le programme scolaire de votre enfant.

8. Rémunération

Etant dans une démarche bénévole, aucune rémunération ne vous sera proposée. De même, les professionnels impliqués dans l'étude ne reçoivent aucun avantage financier ou autre dans la conduite de celle-ci. En revanche, **pour remercier votre enfant de sa contribution à la recherche, il lui sera remis un diplôme « d'apprenti chercheur ».**

9. Contact :

Soukaina Hamdioui, Neuropsychologue clinicienne, doctorante à l'Université de Paris, Paris Descartes, investigatrice de l'étude, par mail: soukaina.hamdioui@gmail.com ou par téléphone : [06.64.62.47.95](tel:06.64.62.47.95).

Nous comptons sur votre participation à ce projet de recherche pour une meilleure connaissance des enfants à Haut Potentiel et une meilleure compréhension de leurs profils. Nous vous remercions sincèrement d'avoir lu attentivement cette lettre, et nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, nos salutations distinguées.

Annexe 3 :



Formulaire de Recueil de Consentement Eclairé

Parents séparés : Non Oui

Important : Si les parents sont séparés, alors ils sont invités tous les deux à signer ce présent document.

Je soussignée, Mme

Nom : Prénom :

Adresse postale :

.....

Mail : Téléphone :

Je soussigné, M.

Nom : Prénom :

Adresse postale :

.....

Mail : Téléphone :

Parents de : Nom : Prénom :

Né (e) le : /..... /..... Agé (e) de : Classe :

Déclare, après un délai de réflexion raisonnable, avoir pris suffisamment connaissance de la notice d'information qui m'a été remise le : (date) /.... /..... Et j'ai bien compris les informations suivantes :

- J'ai bien compris l'objectif, les bénéfices, les contraintes, et le déroulement de cette étude qui m'ont été précisés dans la lettre d'information.

- J'ai été informé (e) de la liberté d'accepter ou de refuser que mon enfant participe à cette recherche. Il m'a été clairement précisé que le refus n'impactera en aucune manière les relations de mon enfant avec les différents intervenants ni son parcours au sein de l'école. De même, j'ai bien compris que je pourrai, à tout moment, signaler à l'investigateur de l'étude mon souhait d'interrompre cette collaboration, sans avoir à me justifier, sans encourir la moindre responsabilité et sans aucunes conséquences sur la scolarité de mon enfant ni sur sa relation avec les intervenants.

- J'ai été clairement informé (e) des critères de participation à cette étude ; mon enfant doit être âgé entre 7 et 12ans et appartenir à l'un des deux groupes suivants :

- **Groupe 1:** enfants âgés de 7 à 12ans, né à terme, bien portants et à Haut Potentiel (HP, identifié(e) via la passation d'un bilan psychométrique WISC-V ou IV administré par un psychologue clinicien ou un neuropsychologue diplômé d'état.), sans troubles avérés que ce soit neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier.

- **Groupe 2:** enfants âgés de 7 à 12ans, né à terme, bien portants, scolarisés dans leur classe d'âge (sans redoublement ou saut de classe) et non HP, sans difficultés scolaires/d'apprentissage ou de rééducation en cours, sans troubles avérés (neurologique, génétique, psychiatrique, sensoriel ou langagier). L'entourage familial proche ne doit pas présenter de troubles autistiques, de retard de développement, ou de troubles psychiatriques.

- Il m'a été précisé de manière très claire que mon consentement ne décharge pas les responsables de l'étude de leurs responsabilités et que je conserve tous mes droits garantis par la loi. Pour tout complément d'information, je peux contacter l'investigateur de l'étude, Soukaina Hamdioui, par mail : soukaina.hamdioui@gmail.com ou par téléphone : [06.64.62.47.95](tel:06.64.62.47.95).

- Il m'a été précisé que toutes les données collectées concernant mon enfant seront analysées, traitées et conservées de manière totalement anonyme et strictement confidentielles dans le cadre des travaux de recherche de l'équipe NTDA « *Neuro-développement et troubles des apprentissages* » du Pr. Laurence Vaivre-Douret, UMR INSERM 1178/11018-CESP, à l'Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades de Paris. Je n'autorise leur consultation que par les personnes qui collaborent à cette recherche ; toutes ces personnes étant soumises au secret professionnel.

- J'accepte que les données relatives à mon enfant collectées au cours de cette étude puissent faire l'objet d'un traitement informatique en respectant la Loi « Informatique et Liberté » du 06 Janvier 1978 et que ces données puissent faire l'objet de communications et des publications scientifiques et/ou médicales, sous couvert d'anonymat.

- Il m'a été précisé qu'il s'agit principalement de questionnaires et de tests à effectuer mais que la participation de mon enfant à l'étude l'expose néanmoins à la découverte fortuite d'un trouble. Ainsi, j'accepte que mon enfant participe en connaissance de cause, et je souhaite être informé (e) de cette éventualité.

- J'ai été informé (e) que dans le cas où un trouble a été repéré, celui-ci me sera expliqué par l'équipe clinique référente (**Soukaina Hamdioui**, investigatrice de la recherche, neuropsychologue clinicienne, doctorante à l'Université de Paris, Paris Descartes, et par la directrice principale de l'étude, le **Professeur Laurence Vaivre-Douret**, neuropsychologue clinicienne, Faculté de Médecine, Université de Paris, Paris Descartes. Responsable de l'équipe de recherche *NTDA* « *Neuro-développement et troubles des apprentissages* », UMR INSERM 1178/11018-CESP, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Pôle de Pédiatrie Générale et Multidisciplinaire). Je serai informé(e) des éventuelles prises en charge préconisées pour mon enfant.

- J'ai reçu trois exemplaires du présent document et ai été informé (e) qu'un d'eux me sera retourné, après contre-signature, lors du premier rendez-vous tandis que les deux autres seraient conservés dans le cadre du laboratoire UMR INSERM 1178/11018-CESP, Equipe de recherche NTDA, à l'Hôpital Universitaire Necker.

- Il m'a été précisé que les résultats globaux de cette étude me seront communiqués si je le souhaite, en contactant l'investigateur de l'étude, Soukaina Hamdioui, par mail : soukaina.hamdioui@gmail.com ou par téléphone : [06.64.62.47.95](tel:06.64.62.47.95). Ceci est valable que mon enfant présente des difficultés particulières ou non.

- Après avoir été assuré (e) que mon enfant est entièrement d'accord pour participer à cette étude, je consens à ce que nous participions, mon enfant et moi-même, à cette recherche.

L'enfant :

Prénom :..... Nom :.....

Fait à :

Le : /.... /.....

Signature (avec la mention « Lu et approuvé ») :

Le/les parent (s) ou responsable légal

Prénom(s) :..... Nom (s):

Fait à :

Le : /.... /.....

Signature (s) (avec la mention « Lu et approuvé ») :

L'investigateur :

Prénom :..... Nom :.....

Fait à :

Le : /.... /.....

Signature (avec la mention « lu et approuvé »)

Le/les parent (s) ou responsable légal

Prénom(s) :..... Nom (s):

Fait à :

Le : /.... /.....

Signature (s) (avec la mention « Lu et approuvé ») :

INSTITUT NATIONAL DE LA SANTÉ ET DE LA RECHERCHE MÉDICALE

DIPLÔME D'APPRENTIE CHERCHEUSE

A BRILLAMMENT APPORTÉ SA CONTRIBUTION POUR
AIDER LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET CLINIQUE.

Décerné par l'équipe de recherche **NDTA** « *Neuro-développement et troubles des Apprentissages* »
et plateforme de phénotypage neuro-développemental **INSERM** dirigée par
le **Pr. Laurence Vaivre-Douret** et assistée par la **Doctorante Soukaina Hamdioui** dans l'Unité **1018-CESP**

SIGNATURE DU TITULAIRE



FAIT À PARIS LE :
SIGNATURE

FACULTÉ DE
MÉDECINE



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES



Université de Paris

 **Inserm**
Institut national
de la santé et de la recherche médicale



**institut
universitaire
de France**



Necker
ENFANTS MALADES

ASSISTANCE
PUBLIQUE  **HÔPITAUX
DE PARIS**

 **PSYCHOLOGIE
Sociétés et Humanités**
Université de Paris

INSTITUT NATIONAL DE LA SANTÉ ET DE LA RECHERCHE MÉDICALE

DIPLÔME D'APPRENTI CHERCHEUR

A BRILLAMMENT APPORTÉ SA CONTRIBUTION POUR
AIDER LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET CLINIQUE.

Décerné par l'équipe de recherche **NDTA** « *Neuro-développement et troubles des Apprentissages* »
et plateforme de phénotypage neuro-développemental **INSERM** dirigée par
le **Pr. Laurence Vaivre-Douret** et assistée par la **Doctorante Soukaina Hamdioui** dans l'Unité **1018-CESP**

SIGNATURE DU TITULAIRE



FAIT À PARIS LE :
SIGNATURE

FACULTÉ DE
MÉDECINE



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES



Université de Paris

 **Inserm**

Institut national
de la santé et de la recherche médicale



institut
universitaire
de France



Necker
ENFANTS MALADES

ASSISTANCE
PUBLIQUE



HÔPITAUX
DE PARIS



PSYCHOLOGIE
Sociétés et Humanités
Université de Paris

COVID 19 - Questionnaire médical avant l'accès aux passations cliniques
Si vous êtes positif 48h avant votre rendez-vous, ce dernier sera reporté

Nom de l'enfant : **Prénom de l'enfant :**
Né (e) le : **Sexe :** F M

Représentant légal :

Nom : **Prénom :**
N° Portable : **Courriel :**

Autre accompagnant :

Nom : **Prénom :**
N° Portable : **Courriel :**

État de santé de l'enfant et des accompagnants ces dernières 48h avant le rendez-vous de passations (Cocher les cases correspondantes et préciser la personne en cas de réponse oui) :
Ces dernières 48H, avez-vous:

- de la toux? **NON** **OUI** (Précisez qui) :
- des courbatures? **NON** **OUI** (Précisez qui) :
- de la fièvre? **NON** **OUI** (Précisez qui) :
- des difficultés à respirer? **NON** **OUI** (Précisez qui) :
- une perte du goût ou de l'odorat? **NON** **OUI** (Précisez qui) :
- une diarrhée? **NON** **OUI** (Précisez qui) :

Ces dernières 48H , ressentez-vous une fatigue importante, inhabituelle:

- Enfant : **OUI** **NON**
- Parent accompagnant (Précisez nom prénom) : **OUI** **NON**
- Autre accompagnant (Précisez nom prénom) : **OUI** **NON**

Y a-t-il dans l'entourage proche de l'enfant des cas de COVID? **OUI **NON****

- Si oui à quelle date ?

J'atteste sur l'honneur l'exactitude des renseignements

L'enfant :

Prénom : **Nom :**
Fait à : **Le :** ... / ... /

Signature (mention « Lu et approuvé ») :

Le/les parent (s) ou responsable légal

Prénom(s) : **Nom (s) :**
Fait à : **Le :** ... / ... /

Signature (s) mention « Lu et approuvé ») :

L'accompagnant autre que parent

Prénom : **Nom :**
Fait à : **Le :** ... / ... /

Signature (mention « Lu et approuvé ») :

Présidente : Jacqueline Fagard

N° 2019 – 93 HAMDIQUI- VAIVRE-DOURET

**PROTOCOLE : Phénotypage neuro-développemental de l'enfant à haut potentiel :
Compréhension du profil socio-cognitif en lien avec son profil moteur**

Noms du/des chercheur(s) : Soukaïna Hamdioui, Laurence Vaivre-Douret

Email pour la correspondance : soukaina.hamdioui@gmail.com; laurence.vaivre-douret@inserm.fr

**Labo/Service : Psychologie et Neuropsychologie du Développement; équipe de recherche
Neuro-développement et troubles des apprentissages; Université Paris Descartes
Sorbonne Paris Cité, Faculté de Médecine**

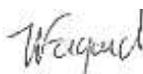
Évalué à la séance du 04/02/2020

Avis : Favorable

Les investigateurs faisant appel aux services du CER-Paris Descartes s'engagent à lui signaler tout événement non anticipé survenant en cours d'étude. Ces éléments seront utilisés aux fins d'amélioration des futurs services et conseils que le CER-Paris Descartes pourrait donner.

L'avis du CER-Paris Descartes n'exonère pas des formalités réglementaires. A cet égard, il vous appartient notamment, si vous traitez des données se rapportant à un individu directement ou indirectement identifiable, de vous conformer au règlement européen sur la protection des données (RGPD) en vigueur depuis 2018. Pour cela, vous pouvez solliciter les conseils du Correspondant informatique et libertés (CIL) ou du service juridique de votre université ou de votre organisme de recherche.

N° IRB : 2019 – 93


Jacqueline Fagard

Questionnaire d'anamnèse, Confidentiel qui sera anonymisé
(A destination des parents)

I. Identité de l'enfant :

Nom : Prénom:
 Sexe : Féminin Masculin Date de naissance de l'enfant : / / Classe scolaire :
 N° de dossier (*ne pas remplir*, un numéro lui sera attribué pour préserver son anonymat) :
 Nom du parent qui complète le questionnaire : Mme M.
 Mère Père Autre :
 Adresse postale :
 Mail : Téléphone :

II. Donnée familiales :

Mère : Age : Scolarité : Profession :
 Père : Age : Scolarité : Profession :
 Parents : Mariés, pacés... Divorcés, séparés... Veuvage Remariage Autre.....
 Si les parents sont séparés, l'enfant vit : Avec la mère Avec le père En garde partagée En famille recomposée
 L'enfant est-il adopté ? Non Oui, à l'âge de : (ans) et (mois)
 Fratrie et le rang de l'enfant dans le couple (1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème}....etc.) :
 Langue (s) entendue (s) à la maison :
 Langue (s) parlée (s) à la maison :
 Langue (s) parlée (s) à l'école :

III. Histoire de la grossesse :

Données médicales : Naturelle Procréation Médicalement Assistée Amniocentèse Grossesse gémellaire Fausse couche (s)
 Infection pendant la grossesse ? Non Oui Préciser (type) :
 Autre problème pendant la grossesse ? Non Oui Préciser :
 Pendant la grossesse, avez-vous pris ? :
 Tabac Non Oui Nombre de cigarettes par jour :
 Alcool Non Oui Nombre de verres par jour :
 Médicament particulier Non Oui Préciser :
 Autre Non Oui Nombre :
Naissance à terme Oui Non Préciser le terme : semaines d'aménorrhée Accouchement compliqué : Non Oui
 Mode d'accouchement : voie basse spontanée césarienne péridurale anesthésie générale

*Merci de renseigner selon le carnet de santé, les **mesurations de naissance** de l'enfant :*

Poids à la naissance : Kg Taille à la naissance : cm Périmètre crânien de naissance : cm
 APGAR à 1 minute : APGAR à 5 minutes :

Votre enfant a-t-il (elle) présenté des problèmes à la naissance ? Non Oui

Si Oui, préciser : Ictère (jaunisse) Pâleur Cyanose Convulsion Autre :

Votre enfant a-t-il (elle) été en réanimation à la naissance ? Non Oui

Votre enfant a-t-il (elle) eu des examens complémentaires ? Non Oui ; Préciser :

IV. Histoire médicale de l'enfant :

1. Votre enfant a-t-il (elle) eu déjà des crises d'épilepsie ? Non Oui ; à quel âge ? ans à quelle fréquence ?
- 2. Votre enfant a-t-il (elle) eu des problèmes médicaux particuliers** (affections neurologique, génétique, sensorielle, etc.) ?
 Actuellement ? Non Oui ; Préciser :
 Antérieurement ? Non Oui ; Préciser :
- 3. Votre enfant a-t-il (elle) eu des problèmes orthopédiques** (fractures, etc.) récents ou pouvant avoir un impact aujourd'hui :
 Non Oui Préciser (quand ? membres supérieurs/inférieurs, etc.) :
 Cela a-t-il nécessité une rééducation ? Non Oui Préciser (type ? durée ?) :
- 4. Troubles auditifs :** Non Oui Antérieurs, Préciser :
 Actuels, Préciser :
- 5. Nombreuses otites ou autres problèmes ORL :** Non Oui ; Préciser :
 Fréquence : à quel âge ? Durée ?
6. A-t-il (elle) eu des drains transtympaniques : Non Oui Quand ?
- 7. Troubles visuels :** Non Oui
 Préciser : Hypermétropie Nystagmus Strabisme : préciser œil droit/gauche
 Myopie Astigmatisme Autre :
8. Port de lunettes pour écrire : Non Oui
- 9. Votre enfant a-t-il (elle) eu un accident ?** Non Oui ; Préciser : (qu'est-il arrivé ? quand ?)
10. A-t-il (elle) gardé des séquelles ? Non Oui ; Préciser :
- 11. Votre enfant a-t-il (elle) déjà subi une intervention chirurgicale ?** Non Oui
 Si Oui, laquelle ? à quel âge ? ans
- 12. Votre enfant prend-t-il (elle) des médicaments particuliers ?** Non Oui Préciser :
- Examens médicaux complémentaires déjà faits pour votre enfant (année et lieu) :**
 Analyses sanguines
 EEG
 IRM
 ORL
 Radiologiques
 Ophtalmologiques
 Orthoptiques
 Orthophoniques
 Psychomoteurs
 Ergothérapie
 Kinésithérapiques
 Neuropsychologiques
 Psychologiques affectifs
 Echelle QI
 Autres (préciser)

V. Antécédents familiaux :

13. Existe-il des antécédents médicaux dans la famille ? Non Oui
 Si Oui, Préciser (lesquels ? quel membre de la famille ?)
14. Y-a-t-il des troubles des apprentissages dans la famille (trouble attentionnel, dys-, ...) ? Non Oui
 Si oui, Préciser (lesquels ? quel membre de la famille ?) :

15. Y-a-t-il une déficience intellectuelle dans la famille ? Non Oui Préciser (quel membre de la famille ?) :
16. Y-a-t-il un trouble psychiatrique dans la famille ? Non Oui Préciser (quel membre de la famille ?) :

VI. Troubles du sommeil :

17. Votre enfant a-t-il (elle) des troubles du sommeil de façon répétée (plusieurs fois par semaine, pendant plusieurs mois) ?
18. Difficultés d'endormissement : Non Oui
19. Agitation pendant le sommeil : Non Oui
20. Terreurs nocturnes : Non Oui A quel âge ?
21. Rituels d'endormissement : Non Oui : A quel âge ?
- Autre : Non Oui Préciser A quel âge ?

VII. Histoire de l'alimentation :

22. Votre enfant tétait-il (elle) bien à la naissance (sein ou biberon) ? Non Oui
23. Quel mode d'alimentation a-t-il eu dans les deux premiers mois de sa vie ? Sein Biberon : Mixte
- Dans le cas de l'allaitement au sein, quelle a été la durée totale (en mois) ?
24. A-t-il (elle) continué à prendre le biberon longtemps ? Non Oui
- Si oui, préciser jusqu'à quel âge (par ex., pendant le goûter) ?
25. A-t-il (elle) eu des difficultés lors du passage à l'alimentation solide ? Non Oui
26. A-t-il (elle) présenté des problèmes autour de l'alimentation ? Non Oui
- Si oui : Problèmes digestifs (reflux...) (préciser) : A quel âge ?
- Difficultés pour mastiquer (préciser) : A quel âge ?
- Allergies (lesquelles) : A quel âge ?
- Refus alimentaire (préciser) : A quel âge ?
- Autre (préciser) : A quel âge ?

VIII. Histoire développementale :

▪ Mode de garde :

27. Quel a été son mode de garde (à l'âge de < 2 mois) ?
- Nourrice Crèche Baby-sitter Pouponnière Parent (préciser père/ mère) Garde partagée Autre
28. Quel a été son mode de garde (à l'âge de 3-12 mois) ?
- Nourrice Crèche Baby-sitter Pouponnière Parent (préciser père/ mère) Garde partagée Autre
29. Quel a été son mode de garde (à l'âge de 1-2 ans) ?
- Nourrice Crèche Baby-sitter Pouponnière Parent (préciser père/ mère) Garde partagée Autre
30. Quel a été son mode de garde (à l'âge de 3-4 ans) ?
- Nourrice Crèche Baby-sitter Pouponnière Parent (préciser père/ mère) Garde partagée Autre
31. Quel a été son mode de garde (à l'âge de 4-6 ans) ?
- Nourrice Crèche Baby-sitter Pouponnière Parent (préciser père/ mère) Garde partagée Autre
32. A quel âge a-t-il eu accès à la propreté ? Le jour : ; La nuit :

▪ Développement psychomoteur :

33. Votre enfant, lorsqu'il (elle) était bébé (1^{er} trimestre de vie), était-il (elle) principalement couché (e) :
- Sur le dos Sur le ventre Sur le côté Mixte (préciser)
34. Age de la station assise (sans appuie): mois Age de la marche autonome : mois

35. S'est-il elle déplacé (e) en rampant ? Non Oui

à 4 pattes ? Non Oui

36. Après avoir acquis la marche autonome, avait-il (elle) tendance à tomber souvent ? Non Oui

37. A-t-il (elle) eu ou a-t-il (elle) tendance à marcher sur la pointe d'un ou des deux pieds ? Non Oui ;

Si oui, préciser la période :

38. Sait-il (elle) faire du vélo ? Avec stabilisateurs ? Non Oui ; depuis quel âge ?

39. Sait-il (elle) nager la brasse ? Non Oui ; depuis quel âge ?

40. S'habille-t-il (elle) seul (e) correctement ? Non Oui ; depuis quel âge ?

41. S'il (elle) a eu ou il a toujours des difficultés d'habillement, préciser :

- Pour enfiler ses vêtements à l'envers (retourné) ? Non Oui
- Pour ne pas se tromper côté D/G ou devant/ derrière ? Non Oui
- Pour se repérer au niveau corporel (ex : manche pour buste) ? Non Oui
- Pour boutonner ses vêtements ? Non Oui
- Pour lacer ses chaussures ? Non Oui

42. A-t-il (elle) eu ou a-t-il (elle) toujours des difficultés pour manger proprement :

Avec la cuillère sans renverser : Non Oui Acquis vers quel âge ?.....

Avec la fourchette : Non Oui Acquis vers quel âge ?.....

Utilise-t-il (elle) correctement un couteau ? Oui Non

Renverse-t-il (elle) souvent son verre ? Non Oui

43. Votre enfant est-il (elle) maladroit (e), à ce jour, dans ses gestes quotidiens ? Non Oui

Si oui préciser : Pour manger Pour s'habiller Pour faire du vélo/ nager Autre :

44. A-t-il (elle) une main d'utilisation de préférence ? Non Oui

Si oui, laquelle (droite ou gauche ?) Depuis quand ? : L'âge deans..... mois

45. Cette main est-elle la même que celle utilisée pour écrire ? Oui Non

46. Cette main est-elle la même que celle utilisée pour manger ? Oui Non

47. Cette main est-elle la même que celle utilisée pour dessiner ? Oui Non

48. Y-a-t-il un gaucher dans la famille ? Non Oui (de qui s'agit-il ?

▪ **Langage et communication :**

49. A-t-il (elle) babillé (baba/tata) ? Oui Non A quel âge (mois) ?

50. A-t-il (elle) eu un bavage important ? Non Oui (préciser).....

51. A-t-il (elle) imité des bruits d'animaux ? Non Oui A quel âge (mois) ?

52. A quel âge a-t-il (elle) prononcé ses premiers mots ? mois

53. A quel âge a-t-il (elle) prononcé sa première phrase ? mois

54. Qualité du contact visuel dans l'interaction et dans l'échange : accrochable-continu Oui Non **ou Fuyant** Oui Non:

A la naissance ? Oui Non (préciser).....

Lors des 1ers mois de vie ? Oui Non (préciser).....

Lors des 1eres années de vie ? Oui Non (préciser).....

Aujourd'hui ? Oui Non (préciser).....

55. A-t-il (elle) utilisé des gestes pour indiquer une chose/ un objet désiré ? Oui Non

56. Utilisait-il (elle) des jeux d'imitation (ex : docteur, maîtresse) ? Non Oui A quel âge (mois) ?

57. S'adapte-t-il (elle) facilement à des personnes nouvelles ? Oui Non

58. Reconnaît-il (elle) facilement des personnages à la TV ou sur un livre ? Oui Non

59. Est-t-il (elle) à l'aise dans la communication avec ses pairs ? Oui Non Difficilement

60. Utilise-t-il (elle), de façon adaptée, des formules de communication à des fins sociales (ex. remerciement, salutation) ? Oui Non

61. Respecte-t-il (elle) les règles de régulation de l'échange lors des conversations ? Oui Non, préciser la difficulté rencontrée :

Respect des tours de parole

Utilisation adéquate des habiletés verbales et non-verbales pour réguler l'interaction ? Oui Non

62. Comprend-t-il (elle) l'humour, blagues ? Oui Non, préciser la difficulté rencontrée :

63. Votre enfant a-t-il (elle) eu ou a toujours des intérêts restreints (ex. attachement fort à des objets inhabituels ou préoccupation pour ceux-ci, intérêts excessivement circonscrits ou persévérants) ? Non Oui, préciser :

64. Votre enfant a-t-il (elle) eu ou adopte toujours des mouvements moteurs stéréotypés ou répétitifs (ex. utilisation d'objets ou du discours, alignement de jouets ou objets retournés) ? Non Oui, préciser :

▪ Activités ludiques :

65. Peut-t-il (elle) dessiner en suivant un modèle ? Oui Non

66. Aimait-t-il (elle) ou fait-il des puzzles ? Oui Non

67. Aime-t-il (elle) ou fait-il (elle) des jeux de construction en suivant un modèle (lego, meccano...) ? Oui Non

68. Utilisait-il (elle) des jeux d'imitation (ex : maitresse, docteur) ? Non Oui ; A quel âge ?

69. Votre enfant a-t-il (elle) toujours été à l'aise pour : le dessin copié ? Non Oui ; Préciser depuis quel âge ?

Pour les coloriages ? Non Oui ; Préciser depuis quel âge ?

Pour le découpage ? Non Oui ; Préciser depuis quel âge ?

Pour les jeux vidéo ? Non Oui ; Préciser depuis quel âge ?

70. Votre enfant aime-t-il (elle) lire des livres ? Non Oui ; Préciser depuis quel âge ?

71. Lui présentez-vous des livres ? Non Oui ; Préciser : rarement parfois souvent : depuis quel âge ?

72. Pratique-t-il (elle) des activités extra-scolaires ? Non Oui ; Préciser :

Artistiques (préciser :) Fréquence :

Sportives (préciser :) Fréquence :

Autre (préciser :) Fréquence :

▪ Activités quotidiennes :

73. Avez-vous des inquiétudes pour votre enfant dans l'un ou l'autre des domaines suivants de la vie quotidienne ?

Autonomie

Apprendre de nouvelles connaissances

Attention difficile

Agitation motrice (ne reste pas sur place)

Difficulté de mémoire

Développement social, relations sociales

Fatigabilité importante au quotidien

Compréhension des consignes

Respecter les interdits

Confiance en soi/ estime de soi

Etat de tristesse, déprimé

Difficultés pour monter/ descendre les escaliers

Motricité globale (coordination, sport, tombe souvent)

Motricité fine (se servir des couverts, découpage)

Difficultés pour s'adapter aux jeux collectifs

Très émotionnel

Heurte les objets

Autre, préciser

IX. Histoire scolaire

74. A quel âge est-il (elle) entré(e) à l'école maternelle ? ans et mois

75. Le français est-il sa langue maternelle ? Oui Non ; Préciser :

76. A-t-il (elle) abordé l'écriture des lettres majuscules et/ou cursives à l'école maternelle ? Non Oui

Préciser (type de lettres, classe...) :

77. A-t-il (elle) redoublé une classe ? Non Oui Classe de : A-t-il sauté une classe ? Non Oui Classe de :

78. Est-il (elle) en difficulté pour lire ? Non Oui

79. Est-il (elle) en difficulté pour écrire (à partir du CE1) ? Non Oui

80. Trouble(s) d'apprentissage connu(s) chez votre enfant (dyslexie, dyscalculie, en géométrie, dyspraxie, écriture, trouble de l'attention...) :
 Non Oui Si oui le(s)quel(s) ? : Si traitement (Ritaline, etc.) préciser :

81. Rencontre-t-il (elle) ou a-t-il (elle) rencontré des difficultés dans l'un ou plusieurs des domaines ci-dessous ?

Préciser le niveau de difficulté (cocher la case correspondante à côté)	Préciser en quel(s) classe(s) scolaire(s)						
	Maternelle	CP	CE1	CE2	CM1	CM2	6 ^{ème}
Langage oral							
Lecture : -Déchiffrage -Compréhension							
Graphisme, écriture							
Mathématiques , préciser (Calcul, géométrie, problèmes)							
Leçons d'histoire-géographie							
Travaux manuels							
Comportement							
Autre(s) , décrivez.....							

82. Devez-vous beaucoup l'aider ou le faire aider pour ses devoirs ? Non Oui

83. Quelle est la qualité de son écriture : Correcte Moyenne Difficilement lisible

84. Bénéficie-t-il (elle) ou a-t-il (elle) bénéficié d'une rééducation ? Non Oui ;

Si oui, préciser pour quelle raison :

Merci de préciser les modalités de la prise en charge en remplissant le tableau ci-dessous :

	Non	Oui	Fréquence hebdomadaire	A quel âge (ou dates) ?
Est-il (elle) dans une classe spécialisée (CLIS)				
Bénéficie-t-il (elle) d'une aide de vie scolaire (AVS) ?				
Est-il (elle) suivi par un orthophoniste ?				
Un psychomotricien ?				
Un psychologue				
Un pédopsychiatre ?				
Un ergothérapeute ?				
Un graphothérapeute ?				
Autre (préciser).....				

X. Histoire comportementale :

85. Votre enfant réagit-t-il (elle) vivement à la frustration ? Non Oui

86. Pensez-vous que votre enfant a besoin d'être surprotégé(e) (angoisse de séparation) ? Non Oui

87. A-t-il (elle) des difficultés à accepter les interdits ? Non Oui

Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades - Unité 1178/1018 CESP INSERM, Carré Necker

149, rue de Sèvres, 75743 Paris Cedex 15, France
Tél : (33) 01.44.49.40.14 - Fax : (33) 01.44.49.45.63

« Les informations recueillies font l'objet d'un traitement informatique anonyme destiné à la recherche. Conformément à la loi Informatique et liberté du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent, que vous pouvez exercer en nous écrivant un courrier. Vous pouvez également, pour des motifs légitimes, vous opposer au traitement des données vous concernant »

88. Votre enfant présente-il (elle) régulièrement des réactions émotionnelles excessives (par exemple : se montre très anxieux/ fait des crises d'angoisse, entre facilement dans des colères noires, se montre exubérant lorsqu'il est heureux, rit fort, vit des moments de tristesse démesurée par rapport à l'évènement déclencheur, etc.) ?

Non Oui Ni l'un ni l'autre, son comportement est inconstant

89. Si « Non » : Votre enfant est-il (elle) au contraire très peu réactif(v) émotionnellement (par exemple : présente un caractère particulièrement stoïque/placide, se montre trop « raisonnable », vous paraît parfois « insensible » face aux émotions des autres ou à un évènement chargé émotionnellement, etc.) ? Non Oui

90. A-t-il (elle) tendance à rester isolé (par exemple à la maison et/ou à la récréation...etc.) ? Non Oui

91. A-t-il (elle) des hypersensibilités particulières (trop sensible) ? Non Oui

92. Si oui, préciser : Au bruit Au toucher Au niveau visuel (lumière...) Autre (préciser) :

93. A-t-il (elle) des copains de son âge à l'école ? Oui Non A-t-il un meilleur ami (e) ? Oui Non

94. Lorsqu'il (elle) était plus jeune savait-il (elle) jouer spontanément sans la présence de l'adulte ? Oui Non

95. Jouait-t-il (elle) avec plaisir en compagnie des enfants de son âge ? Oui Non

96. Jouait-t-il (elle) seul(e) en présence d'autres enfants (jeu parallèle) ? Non Oui

97. Jouait-t-il (elle) avec plaisir en compagnie des enfants plus âgés ? Oui Non

98. Reste-t-il (elle) isolé(e) pendant les récréations ou lors des activités sportives ? Non Oui

99. Votre enfant est-il (elle) épanoui(e) sur le plan social Oui Non

100. Est-il (elle) invité(e) aux anniversaires ? Oui souvent peu jamais

Apprécie-t-il (elle) les activités en groupe ? Oui Non

101. Fait-il (elle) l'objet de moqueries de la part des autres enfants ? Non Oui

102. Exigez-vous beaucoup de lui ? Pas du tout Le minimum Je ne sais pas

Si oui, de la part de la mère du père

103. Pensez-vous devoir guider beaucoup ses devoirs ? Oui Non

104. Etes-vous présents au quotidien auprès de l'enfant (au moins 3 soirs par semaine) ?

Pour les devoirs : Mère Père Non

Pour le bain : Mère Père Non

Pour les jeux/loisirs : Mère Père Non

105. Votre enfant ne parvient souvent pas à prêter attention aux détails ou fait des fautes d'étourderie dans les devoirs scolaires ou d'autres activités (ex : néglige ou oublie des détails, le travail n'est pas précis) ? Non Oui ; Préciser :

106. Votre enfant a-t-il (elle) souvent du mal à organiser ses travaux ou ses activités (ex : difficultés à gérer des tâches séquentielles ; difficultés à conserver ses outils et ses affaires personnelles en ordre) ? Non Oui ; Préciser :

107. Votre enfant se laisse souvent distraire facilement par des stimuli externes ? Non Oui

108. Votre enfant remue souvent les mains ou les pieds ou se tortille sur son siège ? Non Oui

109. Votre enfant se lève souvent en classe ou dans d'autres situations où il est supposé rester assis ?

Non Oui ; Préciser :

110. Votre enfant est-t-il (elle) souvent agité(e) (ex. court-t-il ou grimpe-t-il souvent partout, dans les situations où cela est inapproprié) ?

Non Oui ; Préciser :

111. Votre enfant laisse-t-il (elle) souvent échapper la réponse à une question qui n'est pas encore entièrement posée (ex : termine la phrase de ses interlocuteurs ; ne peut attendre son tour dans une conversation) ? Non Oui

112. Votre enfant a-t-il (elle) souvent du mal à attendre son tour (ex : lorsque l'on fait la queue) ? Non Oui

113. Votre enfant interrompt-il (elle) souvent les autres ou impose sa présence (ex : fait irruption dans les conversations, les jeux ou les activités ; peut commencer à utiliser les biens d'autrui, sans demander ou recevoir leur autorisation) ? Non Oui

Merci d'avoir pris le temps de répondre à toutes ces questions

Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades - Unité 1178/1018 CESP INSERM, Carré Necker

149, rue de Sèvres, 75743 Paris Cedex 15, France
Tél : (33) 01.44.49.40.14 - Fax : (33) 01.44.49.45.63

« Les informations recueillies font l'objet d'un traitement informatique anonyme destiné à la recherche. Conformément à la loi Informatique et liberté du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent, que vous pouvez exercer en nous adressant un courrier. Vous pouvez également, pour des motifs légitimes, vous opposer au traitement des données vous concernant »

Annexe 6

LE QUESTIONNAIRE DE L'ATTACHEMENT NON-RESOLU CHEZ L'ADOLESCENT (QANRA)

- Échelle *Non-Protection* (Q. 1, 4, 7, 10)
- Échelle *Colère/Dérégulation* (Q. 2, 5, 8, 11)
- Échelle *Peur* (Q. 3, 6, 9, 12)

Instructions: Ce questionnaire concerne ta relation avec la personne qui t'a élevé, c'est-à-dire la personne qui s'est le plus occupé de toi à partir de ta naissance jusqu'à l'âge de 5 ans.

Pour chacune des questions, encercle le chiffre sur l'échelle qui correspond à ton opinion.

PROFONDEMENT D'ACCORD	D'ACCORD	PAS CERTAIN	EN DESACCORD	PROFONDEMENT EN DESACCORD
1	2	3	4	5

1.	Quand je suis en colère je sais que mon parent sera là pour m'écouter.	1	2	3	4	5
2.	Je peux compter sur mon parent quand j'en ai besoin.	1	2	3	4	5
3.	Mon parent me déçoit toujours.	1	2	3	4	5
4.	Je ne m'attends jamais à ce que mon parent prenne mes soucis au sérieux.	1	2	3	4	5
5.	Je trouve injuste d'avoir toujours à régler mes problèmes seul(e).	1	2	3	4	5
6.	Je deviens très en colère parce que je ne reçois jamais assez d'aide de mon parent.	1	2	3	4	5
7.	Je deviens très en colère envers mon parent parce qu'il pourrait m'accorder plus de temps.	1	2	3	4	5
8.	J'ai peur car je pourrais perdre l'amour de mon parent.	1	2	3	4	5
9.	J'ai une peur terrible que ma relation avec mon parent puisse finir.	1	2	3	4	5
10.	Je suis certain(e) que mon parent m'aimera toujours.	1	2	3	4	5

Annexe 7

Algorithm 1: Dispersion-threshold identification algorithm

Data: Gaze coordinates $\{\mathbf{x}_i\}_{i \in \mathcal{I}}$

```

1 Function IDiT (dispThrs, drtThrs):
2   while  $\mathcal{I}$  not empty do
3     Initialize minimum sequence  $\{\mathbf{x}_i\}_{i \in \mathcal{J}}$  of
      duration  $> drtThrs$ ,  $\mathcal{J}$  containing first point
      of  $\mathcal{I}$ 
4     if  $d_{\mathcal{J}} \leq dispThrs$  then
5       while  $d_{\mathcal{J}} \leq dispThrs$  do
6         Add next point to  $\mathcal{J}$ 
7         Remove last point from  $\mathcal{J}$ 
8         Retain sub-sequence  $\{\mathbf{x}_i\}_{i \in \mathcal{J}}$ 
9         Remove  $\mathcal{J}$  from  $\mathcal{I}$ 
10      else
11        Remove first point of  $\mathcal{J}$  from  $\mathcal{I}$ 
12  return retained sub-sequences

```

Annexe 8

Algorithm 2: Density-threshold identification algorithm

Data: Gaze coordinates $\{\mathbf{x}_i\}_{i \in \mathcal{I}}$

```

1 Function IDEt ( $\{\mathbf{x}_i\}_{i \in \mathcal{I}}$ ,  $\epsilon$ , minPts):
2   Initialize available set  $\mathcal{A} = \mathcal{I}$ 
3   for  $i \in \mathcal{I}$  do
4     if  $i \in \mathcal{A}$  then
5       neighbours = findNeighborhood( $i$ ,  $\epsilon$ )
6       if neighbours.size  $> minPts$  then
7         Remove  $i$  from  $\mathcal{A}$ 
8          $\mathcal{C} = \text{expandC}(i, \text{neighbours}, \epsilon,$ 
9            $minPts)$ 
9         Retain sub-sequence  $\{\mathbf{x}_i\}_{i \in \mathcal{C}}$ 
10  return retained sub-sequences
11 Function expandC ( $i$ , neighbours,  $\epsilon$ , minPts):
12  Initialize  $\mathcal{C} = \{i\}$ 
13  for  $j \in \text{neighbours}$  do
14    if  $j \in \mathcal{A}$  then
15      Add  $j$  to  $\mathcal{C}$ 
16      Remove  $j$  from  $\mathcal{A}$ 
17    newNeighbours = findNeighborhood( $j$ ,
18       $\epsilon$ )
18    if newNeighbours.size  $> minPts$  then
19      neighbours.union(newNeighbours)
20  return  $\mathcal{C}$ 
21 Function findNeighborhood( $i$ ,  $\epsilon$ ):
22  Initialize set neighbours = {}
23   $i' = i$ 
24  while  $i' \in \mathcal{I}$  do
25    if angular distance( $i, i'$ )  $\leq \epsilon$  then
26      Add  $i'$  to neighbours
27       $i' = i'$  next point
28    else
29      break
30   $j' = i$ 
31  while  $j' \in \mathcal{I}$  do
32    if angular distance( $i, j'$ )  $\leq \epsilon$  then
33      Add  $j'$  to neighbours
34       $j' = j'$  previous point
35    else
36      break
37  return neighbours

```

Annexe 9

Type d'indice	Nom de l'indice	Critère empirique de bon ajustement
Indices de mesure absolues basés sur la fonction d'ajustement	Chi ² /dl	<2
	GFI	>0,90
	AGFI	>0,80
	RMR	Proche de 0
	RMR standardisé	<0,1
	RMSEA	<0,08
	P	> 0,05
Indices incrémentaux ou de comparaison	NFI	>0,90
	CFI	>0,90
	RFI	>0,90
Indices de parcimonie	CAIC	< CAIC du modèle saturé
	ECIV	< ECIV du modèle saturé

Measure	Threshold
Chi-square/df (cmin/df)	< 3 good; < 5 sometimes permissible
p-value for the model	> .05
CFI	> .95 great; > .90 traditional; > .80 sometimes permissible
GFI	> .95
AGFI	> .80
SRMR	< .09
RMSEA	< .05 good; .05 - .10 moderate; > .10 bad
PCLOSE	> .05

Indices du bon ajustement du modèle

GFI Goudness of Fit Index	> 0.95 Si n<300 > 0.90 Si n> 300
AGFI	>0.95 est correct <0.90 est acceptable
RMR	Le plus proche de 0
SRMR (RMR Standardisé)	<0.05 est correct <0.08 est acceptable
RMR	Le plus proche de 0
Indice : Mauvais ajustement du modèle	
RMSEA	<0.01 est excellent <0.05 est correct < 0.08 est acceptable >0.10 est mauvais

Maximum Likelihood Estimates

Regression Weights: (Group number 1 - Default model)

			Estimate	S.E.	C.R.	P value
HP_vs_Typique	<-- -	Age_March.auto	-,004	,015	-,280	,779
HP_vs_Typique	<-- -	Ton.Fond_Ext.Tronc.s z	-,059	,039	1,519	,129
HP_vs_Typique	<-- -	Activ_Extra.scol.mus	,201	,066	3,039	,002
HP_vs_Typique	<-- -	Activ_Extra.scol.sport	-,001	,083	-,014	,989
HP_vs_Typique	<-- -	Paren_exg	,509	,086	5,922	***
QIT_Wisc	<-- -	Paren_exg	13,532	3,520	3,844	***
QIT_Wisc	<-- -	Activ_Extra.scol.mus	7,183	2,810	2,556	,011
QIT_Wisc	<-- -	Activ_Extra.scol.sport	2,606	3,526	,739	,460
QIT_Wisc	<-- -	Ton.Fond_Ext.Tronc.s z	-3,267	1,664	1,964	,050
ICV_Wisc	<-- -	Âge_Pr_Phr	-,844	,325	2,594	,009
MABC_Dextr.man u	<-- -	Age_March.auto	-,172	,194	-,890	,374
MABC_Équil	<-- -	Age_March.auto	-,101	,183	-,550	,582
HP_vs_Typique	<-- -	Fig.rey_Cop	-,084	,040	2,098	,036
HP_vs_Typique	<-- -	Cub.khos	,097	,023	4,159	***
HP_vs_Typique	<-- -	Tou.lond_Plan	,060	,021	2,804	,005
HP_vs_Typique	<-- -	React.Emo.exec	,114	,065	1,763	,078
MABC_Dextr.man u	<-- -	Paren_exg	3,428	,936	3,662	***
MABC_Équil	<-- -	Paren_exg	4,518	,886	5,098	***

Standardized Regression Weights: (Group number 1 - Default model) sont dans la figure

		Estimate
HP_vs_Typique	<--- Age_March.auto	-,020
HP_vs_Typique	<--- Ton.Fond_Ext.Tronc.sz	-,111
HP_vs_Typique	<--- Activ_Extra.scol.mus	,231
HP_vs_Typique	<--- Activ_Extra.scol.sport	-,001
HP_vs_Typique	<--- Paren_exg	,511
QIT_Wisc	<--- Paren_exg	,398
QIT_Wisc	<--- Activ_Extra.scol.mus	,241
QIT_Wisc	<--- Activ_Extra.scol.sport	,073
QIT_Wisc	<--- Ton.Fond_Ext.Tronc.sz	-,179
ICV_Wisc	<--- Âge_Pr_Phr	-,280
MABC_Dextr.manu	<--- Age_March.auto	-,092
MABC_Équil	<--- Age_March.auto	-,054
HP_vs_Typique	<--- Fig.rey_Cop	-,172
HP_vs_Typique	<--- Cub.khos	,342
HP_vs_Typique	<--- Tou.lond_Plan	,200
HP_vs_Typique	<--- React.Emo.exec	,131
MABC_Dextr.manu	<--- Paren_exg	,379
MABC_Équil	<--- Paren_exg	,497

Covariances: (Group number 1 - Default model)

		Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Ton.Fond_Ext.Tronc.sz	<--> Âge_Pr_Phr	,872	,556	1,570	,116	par_17
Fig.rey_Cop	<--> Cub.khos	,685	,174	3,945	***	par_18
Activ_Extra.scol.mus	<--> Activ_Extra.scol.sport	,050	,024	2,070	,038	par_19
Activ_Extra.scol.mus	<--> Paren_exg	,068	,025	2,780	,005	par_20
Activ_Extra.scol.sport	<--> Paren_exg	,076	,021	3,579	***	par_21
Paren_exg	<--> Âge_Pr_Phr	-,094	,249	-,379	,705	par_22
Paren_exg	<--> React.Emo.exec	,052	,022	2,384	,017	par_23
Ton.Fond_Ext.Tronc.sz	<--> Paren_exg	-,072	,035	2,044	,041	par_26

Correlations: (Group number 1 - Default model)

	Estimate
Ton.Fond_Ext.Tronc.sz <--> Âge_Pr_Phr	,179
Fig.rey_Cop <--> Cub.khos	,497

			Estimate
Activ_Extra.scol.mus	<-->	Activ_Extra.scol.sport	,239
Activ_Extra.scol.mus	<-->	Paren_exg	,313
Activ_Extra.scol.sport	<-->	Paren_exg	,418
Paren_exg	<-->	Âge_Pr_Phr	-,036
Paren_exg	<-->	React.Emo.exec	,239
Ton.Fond_Ext.Tronc.sz	<-->	Paren_exg	-,201

Variances: (Group number 1 - Default model)

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Age_March.auto	4,476	,712	6,285	***	par_42
Ton.Fond_Ext.Tronc.sz	,666	,106	6,285	***	par_43
Activ_Extra.scol.mus	,250	,040	6,285	***	par_44
Activ_Extra.scol.sport	,174	,028	6,285	***	par_45
Paren_exg	,191	,030	6,441	***	par_46
Âge_Pr_Phr	35,477	5,645	6,285	***	par_47
Fig.rey_Cop	,801	,128	6,285	***	par_48
Cub.khos	2,366	,378	6,251	***	par_49
Tou.lond_Plan	2,116	,337	6,285	***	par_50
React.Emo.exec	,249	,040	6,285	***	par_51
e1	,076	,012	6,272	***	par_52
e2	138,057	21,966	6,285	***	par_53
e3	296,766	47,219	6,285	***	par_54
e4	11,874	1,889	6,285	***	par_55
e5	13,247	2,108	6,285	***	par_56

Total Effects (Group number 1 - Default model)

	React.Emo.exec	Tou.lond_Plan	Cub.khos	Fig.rey_Cop	Âge_Pr_Phr	Paren_exg	Activ_Extra.scol.sport	Activ_Extra.scol.mus	Ton.Fond_Ext.Tronc.sz	Age_March.auto
MABC_Équill	,000	,000	,000	,000	,000	4,518	,000	,000	,000	-,101
MABC_Dextr.manu	,000	,000	,000	,000	,000	3,428	,000	,000	,000	-,172
ICV_Wisc	,000	,000	,000	,000	-,844	,000	,000	,000	,000	,000
QIT_Wisc	,000	,000	,000	,000	,000	13,532	2,606	7,183	-3,267	,000
HP_vs_Typique	,114	,060	,097	-,084	,000	,509	-,001	,201	-,059	-,004

Standardized Total Effects (Group number 1 - Default model)

	Rea ct.E mo.e xec	Tou. lond _Pla _n	Cu b. kh os	Fig. rey _C op	Âg e_ Pr_ Phr	Pa ren _e _xg	Activ_ Extra. scol.s port	Activ_ Extra. scol.m us	Ton.Fo nd_Ext .Tronc. sz	Age _Mar _ch.a uto
MAB C_Éq uil	,000	,000	,000	,000	,000	,497	,000	,000	,000	-,054
MAB C_De xtr.m anu	,000	,000	,000	,000	,000	,379	,000	,000	,000	-,092
ICV_ Wisc	,000	,000	,000	,000	-,280	,000	,000	,000	,000	,000
QIT_ Wisc	,000	,000	,000	,000	,000	,398	,073	,241	-,179	,000
HP_v s_Ty pique	,131	,200	,342	-,172	,000	,511	-,001	,231	-,111	-,020

Direct Effects (Group number 1 - Default model)

	Rea ct.E mo.e xec	Tou. lond _Pla _n	Cu b. kh os	Fig. rey _C op	Âg e_ Pr_ Phr	Pa ren _e _xg	Activ_ Extra. scol.s port	Activ_ Extra. scol.m us	Ton.Fo nd_Ext .Tronc. sz	Age _Mar _ch.a uto
MAB C_Éq uil	,000	,000	,000	,000	,000	4,518	,000	,000	,000	-,101
MAB C_De xtr.m anu	,000	,000	,000	,000	,000	3,428	,000	,000	,000	-,172
ICV_ Wisc	,000	,000	,000	,000	-,844	,000	,000	,000	,000	,000
QIT_ Wisc	,000	,000	,000	,000	,000	13,532	2,606	7,183	-3,267	,000
HP_v s_Ty pique	,114	,060	,097	-,084	,000	,509	-,001	,201	-,059	-,004

Standardized Direct Effects (Group number 1 - Default model)

	Rea ct.E mo.e xec	Tou. lond _Pla _n	Cu b. kh os	Fig. rey _C op	Âg e_ Pr_ Phr	Pa ren _e _xg	Activ_ Extra. scol.s port	Activ_ Extra. scol.m us	Ton.Fo nd_Ext .Tronc. sz	Age _Mar _ch.a uto
MAB C_Éq uil	,000	,000	,000	,000	,000	,497	,000	,000	,000	-,054
MAB C_De xtr.m anu	,000	,000	,000	,000	,000	,379	,000	,000	,000	-,092
ICV_ Wisc	,000	,000	,000	,000	-,280	,000	,000	,000	,000	,000
QIT_ Wisc	,000	,000	,000	,000	,000	,398	,073	,241	-,179	,000
HP_v s_Ty pique	,131	,200	,342	-,172	,000	,511	-,001	,231	-,111	-,020

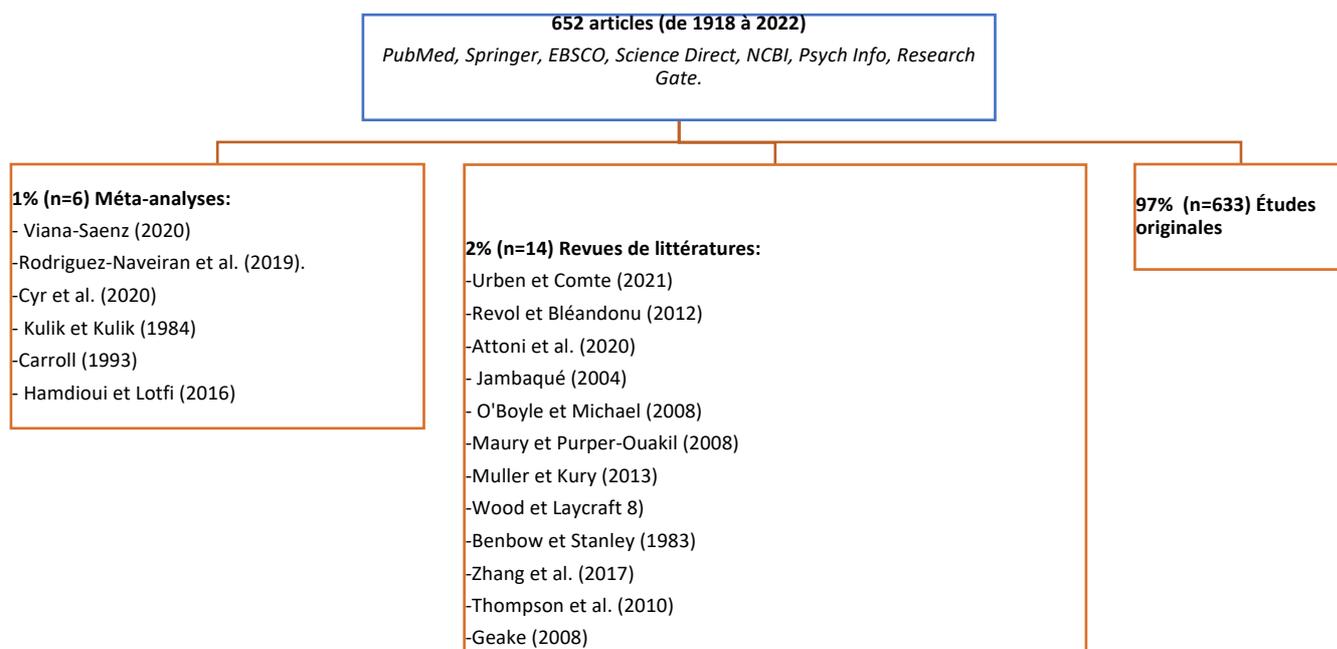
Indirect Effects (Group number 1 - Default model)

	Rea ct.E mo.e xec	Tou. lond _Pla _n	Cu b. kh os	Fig. rey _C op	Âg e_ Pr_ Phr	Pa ren _e _xg	Activ_ Extra. scol.s port	Activ_ Extra. scol.m us	Ton.Fo nd_Ext .Tronc. sz	Age _Mar _ch.a uto
MAB C_Éq uil	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
MAB C_De xtr.m anu	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
ICV_ Wisc	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
QIT_ Wisc	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
HP_v s_Ty pique	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Standardized Indirect Effects (Group number 1 - Default model)

	BH K	Tou .lon d_ Pla n	Cu b.k ho s	Fig. rey _C op	Âg e_ Pr_ Phr	Par en _e xg	Activ_ Extra.s col.sp ort	Activ_ Extra. scol.m us	Ton.Fo nd_Ext. Tronc.s z	Age_ Marc h.aut o
MAB C_Éq uil	, 0 0 0	,000	,0 00	,00 0	,00 0	,00 0	,000	,000	,000	,000
MAB C_De xtr.ma nu	, 0 0 0	,000	,0 00	,00 0	,00 0	,00 0	,000	,000	,000	,000
ICV_ Wisc	, 0 0 0	,000	,0 00	,00 0	,00 0	,00 0	,000	,000	,000	,000
QIT_ Wisc	, 0 0 0	,000	,0 00	,00 0	,00 0	,00 0	,000	,000	,000	,000
HP_v s_Typ ique	, 0 0 0	,000	,0 00	,00 0	,00 0	,00 0	,000	,000	,000	,000

Récapitulatif utilisé pour la « Pathway Analysis »



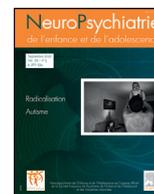


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Article original

Existe-t-il un développement moteur et psychoaffectif spécifique de l'enfant à haut potentiel ? Influence sur les activités de la vie quotidienne et sur le profil du quotient intellectuel

Is there a specific motor and psycho-emotional development in children with high potential? Influence on daily life abilities and on the intellectual quotient profile

S. Hamdioui^{a,b}, L. Vaivre-Douret^{b,c,d,e,f,*}

^a Département de psychologie, faculté société et humanité, université de Paris, Paris, France

^b Institut national de santé et de recherche médicale (Inserm UMR 1018-CESP), faculté de médecine, université de Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France

^c Service de pédopsychiatrie, hôpital universitaire Necker Enfants Malades, AP-HP Centre, Paris, France

^d Faculté de santé, UFR de médecine Paris Descartes, université de Paris, Paris, France

^e Institut universitaire de France (IUF), Paris, France

^f Département d'endocrinologie, Institut IMAGINE, Necker-Enfants Malades, Paris, France

INFO ARTICLE

Mots clés :

Quotient intellectuel
Haut potentiel intellectuel
Développement moteur
Développement psychoaffectif
Activités de la vie quotidienne
Trouble développemental de la coordination
Profil psychométrique
Homogène/hétérogène
Indices de QI
WISC-V

RÉSUMÉ

Objectif. – L'objectif de cette étude gravite autour de l'analyse de la trajectoire neurodéveloppementale et psychoaffective des enfants à haut potentiel (Quotient Intellectuel (QI) ≥ 130) au regard de leur profil psychométrique (homogène/hétérogène).

Population et méthode. – Il s'agit d'une étude transversale et rétrospective. L'échelle d'intelligence de Wechsler (WISC-V), le carnet de santé de chaque enfant, et un questionnaire d'anamnèse rétrospectif rempli par les parents, ont été administrés et analysés chez 76 enfants en bonne santé (58 enfants à haut potentiel (HP)/18 neurotypiques), âgés de 6 à 13 ans (M. 10 ans ; E.T. 2,2). Cinquante-huit enfants HP ont été impliqués dans l'analyse intragroupe (36 hétérogènes vs 22 homogènes). Deux groupes ont été appariés pour les analyses intergroupes : 18 enfants neurotypiques ($90 \leq QI \leq 110$) et 18 enfants HP ($QI \geq 130$).

Résultats. – Des corrélations significatives-négatives ont été démontrées dans l'ensemble de l'échantillon entre le QI et l'âge de l'acquisition de la position assise (7 mois) ($r = -0,32$, $p = 0,01$, [IC à 95 % = $-0,52$ à $-0,09$]), de la marche (12 mois) ($r = -0,30$, $p = 0,03$, [IC à 95 % = $-0,51$ à $-0,01$]), et de l'expression des premières phrases (18 mois) ($r = -0,60$, $p \leq 0,001$, [IC à 95 % = $-0,71$ à $-0,39$]) ; avec un taux significativement élevé de développement précoce chez les enfants HP comparé à celui des neurotypiques. Des corrélations significatives ont été également déterminées entre certains indices du profil psychométrique (indice visuospatial, indice de mémoire de travail, indice de vitesse de traitement) et la maladresse dans les activités de la vie quotidienne, les jeux et les activités scolaires, expliquant 41 % de la variance du profil hétérogène des enfants HP. Aucune différence significative n'est à noter entre le groupe d'enfants à haut potentiel et les neurotypiques concernant les caractéristiques psychoaffectives. En revanche, nous avons démontré une corrélation significative entre le profil psychométrique hétérogène du groupe HP et « la tendance à l'isolement et l'introversivité », « l'anxiété de séparation », « la réaction forte à la frustration » et « le besoin de présence des parents lors des devoirs ».

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : laurence.vaivre-douret@inserm.fr (L. Vaivre-Douret).

Conclusion. – Un développement moteur et langagier précoce a été significativement retrouvé chez les enfants HP par rapport aux enfants neurotypiques indépendamment du profil psychométrique. Néanmoins, une partie importante de l'hétérogénéité du profil psychométrique répond aux critères du DSM-5 du trouble développemental de la coordination (TDC), pouvant être repéré précocement avec des difficultés importantes impactant les activités de la vie quotidienne (AVQ : repas et utilisation des couverts, habillage, attacher ses lacets, etc.) et les activités ludiques ou les loisirs (jeux de constructions, puzzles, Lego, nager, etc.). Les résultats soulignent l'importance de l'analyse de la variabilité des scores d'indices dans le profil du QI à l'âge scolaire au regard des AVQ et des données anamnestiques de la petite enfance.

© 2022 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

A B S T R A C T

Keywords:

Intellectual quotient
High intellectual potential
Motor development
Psychoaffective development
Daily life abilities
Developmental coordination disorder
IQ profile
Heterogeneous/homogeneous
QI indexes
WISC-V

Objective. – This study aimed to analyze the neurodevelopmental trajectory of motor milestones and psychoaffective development in children with high intellectual potential ($IQ \geq 130$) regarding their IQ-profile (homogeneous/heterogeneous).

Population and method. – The Wechsler Intelligence Scale (WISC-V), child's health record, and anamnestic questionnaire completed by parents were administered and analyzed in 76 healthy children (58 HIP/18 neurotypical), aged 6 to 13 (mean 10 years; SD 2.2). Seventy-six children with high intellectual potential were involved in the intragroup analysis (36 heterogeneous vs. 22 homogeneous). Two groups were matched for intergroup analyses: 18 neurotypical children ($90 \leq IQ \leq 110$) and 18 children with high intellectual potential ($IQ \geq 130$).

Results. – Significant negative correlations were demonstrated between IQ and sitting (7 months) ($r = -0.32, P = 0.01, [95\% CI = -0.52 \text{ to } -0.09]$), walking (12 months) ($r = -0.30, P = 0.03, [95\% CI = -0.51 \text{ to } -0.01]$), and expression of the first sentences (18 months) ($r = -0.60, P \leq 0.001, [95\% CI = -0.71 \text{ to } -0.39]$); with a significantly high rate of early development in children with high intellectual potential compared to neurotypical children. Significant correlations were also determined between VSI, WMI, and PSI with clumsiness in daily life abilities, games and school abilities, explaining 41% of the variance of heterogeneous IQ-profile of high intellectual potential. No significant difference was noted between children with high intellectual potential and neurotypical in psychoaffective characteristics. However, we demonstrated significant correlations between the heterogeneous IQ-profile of the HIP group and "isolation", "separation anxiety", "strong reaction to frustration" and "need for parents to be present during homework".

Conclusion. – Early motor and language development has been demonstrated in children with high intellectual potential compared to neurotypical children regardless of the psychometric profile. Nevertheless, a significant part of the heterogeneous profile meets the DSM-5 criteria of a developmental coordination disorder (DCD), detected early with significant difficulties impacting daily life abilities, games and school abilities. The finding underlines the importance of analyzing the variability of index scores in the IQ-profile at school age in light of daily life abilities and anamnestic data.

© 2022 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

Le haut potentiel (HP) est une notion qui n'a cessé d'évoluer depuis les années vingt avec Terman [1], mais la définition qui fait consensus dans la littérature internationale est celle basée sur le quotient intellectuel ($QI \geq 130, +2$ écart-type, mis en exergue par le test psychométrique de Wechsler [2,3]. Cela représente 2,2% de la population générale selon la courbe de Gauss [3]. Différents auteurs se sont intéressés à l'analyse des performances de ces enfants à travers le profil psychométrique, d'autres ont essayé de déterminer le bon prédicteur de ces performances reflétées par le QI, mais rares sont les études qui se sont intéressées à la trajectoire du développement moteur, psychoaffectif ou encore à la maturation neurologique de ces enfants.

En effet, de meilleures compétences linguistiques ont été montrées chez les enfants HP comparés aux enfants neurotypiques [4-6], et s'avèrent un bon prédicteur du QI [7]. D'autres auteurs [8] ont montré que certaines capacités neuropsychologiques notamment conceptuelles de résolution de problèmes et les compétences linguistiques étaient significativement liées au QI, tandis que les tâches motrices, constructives et perceptives simples ne l'étaient pas. Arffa [9] a confirmé une corrélation entre les fonctions exécutives et le QI élevé, à savoir la mémoire de travail, la résistance aux interférences pendant les tâches d'attention, la planification

et la flexibilité mentale. Vaire-Douret [10] a mis en évidence par une étude rétrospective longitudinale, à l'aide de l'échelle du développement fonctionnel moteur (DF-MOT) [11] et du Brunet-Lézine [12], une relation significative entre le QI élevé (profil homogène) et l'avance développementale, que ce soit au niveau moteur, langagier ou cognitif d'un échantillon d'enfants HP tout-venant. D'autres auteurs [7,9] ont confirmé la précocité des acquisitions motrices et langagières chez ces enfants avec une avance significative de deux mois environ, deux écarts types au-dessus de la moyenne.

Les études de Vaire-Douret [10,13] détaillent les stades de développement des enfants HP comparés à des enfants neurotypiques : la tenue de la tête dans l'axe vers un mois +1 semaine versus vers trois mois ; la saisie volontaire à 3 mois +1 semaine versus 4 mois, assis sans support à 6 mois +3 semaines versus 10 mois, assis seul vers 7 mois +3 semaines versus 10 mois, prend une perle entre le pouce et l'index à 8 mois +2 semaines versus 9 mois, marche indépendante 12 mois +4 semaines versus 14 mois, commencer à manger seul avec une cuillère à 12 mois +2 semaines versus 17 mois, monte des escaliers à 15 mois +2 semaines versus 17 mois +1 semaine, descend les escaliers avec aide sans alterner les pieds 16 mois +3 semaines contre 19 mois +1 mois, monte les escaliers seul sans aide avec pieds alternés à 24 mois +1 semaines versus 34 mois +2 mois, enfile des chaussons sans aide à 24 mois +3 semaines versus 30 mois +1 mois,

fait du vélo avec stabilisateurs à 24 mois+3 semaines versus 36 mois + 1 mois. Le babillage autour de quatre mois, imitation de bruits d'animaux vers 22 mois, l'association de deux mots environ 18 mois.

Cette avance du développement permet de rendre compte d'une maturation neurophysiologique précoce chez ces enfants [10,13-15], et elle concerne aussi les enfants HP nés prématurés comparés aux enfants HP nés à terme, ce qui a été montré dans une étude française rétrospective basée sur une cohorte nationale de 725 enfants HP [16], et a été confirmé par une autre étude belge [17]. D'autres auteurs ont tenté d'étudier le développement moteur chez l'enfant HP, mais ce domaine reste moins investigué dans la littérature [18-24].

Concernant le profil du QI, peu d'auteurs se sont intéressés à prendre en compte la disparité des scores des subtests. Vainre-Douret [10] a précisé dans son étude que cette avance développementale concernait les enfants HP tout-venant, ne présentant pas une différence significative de plus de 12 points entre le QI de Performance et Verbal au WISC-III, étant considéré à l'époque comme le seuil significatif d'hétérogénéité du profil psychométrique [10]. Winisdorffer et Vainre-Douret [15] confirment, en ayant suivi un échantillon longitudinal jusqu'à 18 ans, que le développement moteur précoce concernait les enfants HP ayant un profil de QI homogène. Ainsi, qu'en est-il du développement psychomoteur des enfants HP avec un profil de QI hétérogène ? L'hétérogénéité apparaissant du QI reflète-elle une dysharmonie ou un trouble de développement ?

Rappelons que le QI (échelles WISC-III et WISC-IV) était considéré comme hétérogène à partir de 15 points de différence entre l'indice le plus élevé et le plus faible [25]. Grégoire [26] considérait 12 points comme seuil significatif de l'hétérogénéité, ce qui restait un phénomène fréquent (40 % de la population générale) contre un tiers de la population générale avec un écart de 15 points. Une différence de 20 points était rare, puisqu'elle n'apparaissait que pour un sixième de la population. Concernant le WISC-V [3] en vigueur, le profil est considéré comme hétérogène à partir de 23 points d'écart en considérant la différence maximale entre l'indice le plus élevé et le plus faible [27]. Un écart de 23 points entre les indices n'est atteint que par 8 à 18 % de la population. Néanmoins, lorsque tous les indices sont pris en compte, 52,8 % de la population atteignent la différence de 23 points [27]. Ainsi, ces auteurs défendent l'idée que l'écart des scores d'indices de la population d'étalonnage au WISC-V, sans trouble, est fréquent. Cependant, cette population n'avait été testée que par le WISC-V sans aucun test supplémentaire pouvant attester de particularités ou de troubles. Chez les enfants HP, une dissociation significative entre les scores d'indice apparaît plus fréquemment observée [28]. Selon Sweetland et al. [29], les enfants HP réussissent significativement mieux sur tous les subtests de l'échelle d'intelligence de Wechsler, mais certains d'entre eux montrent une dissociation significative entre les scores verbaux et les autres. Cependant, les résultats de ces enfants pour les scores d'indice ICV, IVS, et IRF sont plus élevés que l'indice IMT et IVT, bien que ces derniers scores d'indices soient généralement plus élevés que ceux des enfants neurotypiques sans HP [3]. Selon Flanagan et Alfonso [30], pour un profil hétérogène au WISC-V, le QIT ne doit pas être considéré comme interprétable ou incalculable bien qu'il ne soit pas suffisant pour refléter les capacités cognitives globales de l'enfant.

Certaines études ont attesté que l'hétérogénéité chez l'enfant HP pourrait être à l'origine de certains troubles tels que le trouble développemental de la coordination/dyspraxie (TDC), dyslexie, dysgraphie ou d'une atteinte neuromotrice très rarement examinée [10,31-38]. Des difficultés spécifiques cognitives ou sociocognitives, psychoaffectives pourraient également expliquer une partie de l'hétérogénéité [33,39-46]. L'étude récente de Boschi et al. [40] a souligné que les enfants HP ayant un profil homogène présentaient

non seulement de meilleures capacités motrices, mais aussi mnésiques comparées à celles des enfants HP avec un profil hétérogène. A contrario, d'autres auteurs [47-52] considèrent l'hétérogénéité du profil de QI comme caractéristique développementale typique propre aux enfants HP. Selon ces auteurs, les enfants HP ont des profils plus hétérogènes que les enfants neurotypiques. Terrassier [52], psychologue clinicien, affirmait dès les années 1979 une dyssynchronie entre le profil psychomoteur et le profil intellectuel chez ces enfants. Cependant, il existe un biais méthodologique concernant l'échantillon des enfants HP dans cette étude [52] étant recrutés uniquement lors de consultations cliniques avec la probabilité d'avoir des profils de QI principalement hétérogènes. En effet, pour les enfants consultants, dont la plupart viennent pour des problèmes à l'école, il n'est pas surprenant de trouver des subtests plus ou moins effondrés engendrant un profil hétérogène, comme cela peut être retrouvé chez un enfant de QI moyen non-HP présentant des troubles d'apprentissage. Ainsi, il semble évident que ces enfants sont plus à risque d'avoir un trouble, puisqu'ils sont consultants. Il apparaît essentiel d'avoir un échantillon d'enfants HP tout-venant afin de mieux comprendre leurs trajectoires de développement et analyser les données au regard des indices du QI.

Vainre-Douret [10,13] souligne que cette dysharmonie psychomotrice, décrite par Terrassier, serait plutôt une altération de certaines capacités qu'un fait développemental des enfants HP. Par exemple, une altération des capacités socio-émotionnelles peut affecter certains subtests suggérant l'existence d'un trouble du spectre de l'autisme (TSA) [53]. Certains auteurs précisent, en effet, que le HP, avec un profil psychométrique très hétérogène, associé à des difficultés socio-émotionnelles notables, peuvent présenter des marqueurs cliniques du TSA [34]. Au niveau du développement psychoaffectif en bas âge, Vainre-Douret [10] a rapporté dans son étude sur le HP homogène, basée sur les entretiens cliniques tout au long du suivi avec les parents et l'enfant, que les premières étapes (selon les principaux stades freudiens) se succèdent rapidement avec aisance pour la plupart des enfants HP. Concernant les jeux, et les loisirs, une des rares études chez l'enfant HP tout-venant, avec un profil du QI homogène, souligne que 96 % de ces enfants aiment jouer à des jeux de puzzles, lotos, les jeux vidéo, les jeux de construction ou de bricolage [10], impliquant la créativité, l'attention, la manipulation pratique des objets.

La présente étude a pour objet d'analyser le profil du QI au regard de la trajectoire du développement moteur et psychoaffectif chez les enfants HP par rapport aux enfants neurotypiques. La première hypothèse suggère l'existence d'une relation entre le développement moteur rapporté dans l'anamnèse et les résultats élevés au test du QI à l'âge scolaire. La deuxième explore les liens entre le développement psychomoteur, les activités de la vie quotidienne (AVQ) et les indices du QI (homogènes/hétérogènes).

2. Méthode

2.1. Population

Il s'agit d'une étude clinique transversale et rétrospective anamnétique. L'évaluation psychométrique et le recueil des données anamnestiques ont été réalisés auprès de 58 enfants HP tout-venant et 18 enfants neurotypiques âgés de 6 à 13 ans (moyenne = 10 ans et quatre mois ; écart-type = 2,2). Le recrutement a été effectué dans différentes écoles à Paris, France. Les enfants HP ($n = 58$) ont été recrutés dans des écoles publiques et privées de Paris. Dans les écoles privées, les enfants HP ont été recrutés dans des classes d'enfants HP attestés par l'échelle d'intelligence de Wechsler [3]. Ces mêmes enfants ont pu nous faire connaître certains de leurs amis scolarisés en milieu ordinaire à l'école publique, pour lesquels

nous avons réalisé un WISC-V [3] avec leur accord et le consentement de leurs parents. QI qui a pu attester de leur efficacité égale ou supérieure à 130. Pour comparer les enfants HP aux neurotypiques, deux groupes appariés selon l'âge et le niveau socio-économique ont été distingués : 18 enfants neurotypiques ($90 \leq QI \leq 110$) et 18 enfants HP ($QI \geq 130$) [3]. Pour des analyses de données intragroupes, l'ensemble de l'échantillon HP a été utilisé.

Les critères d'inclusion dans notre étude ont été stricts afin de minimiser des facteurs de confusion : les enfants présentant un déficit sensoriel, des anomalies visuelles (e.g. strabisme, nystagmus), un diagnostic de trouble grave du langage, une maladie génétique et/ou psychiatrique (selon les critères du DSM-5) [54], des anomalies médicales générales, ou des lésions cérébrales traumatiques, n'ont pas été inclus. De même, aucun enfant de l'échantillon n'est né prématurément (≤ 37 semaines) et aucun ne suit une prise en charge thérapeutique ni médicamenteuse. Afin de nous assurer de l'absence de critères d'exclusion chez les enfants recrutés, nous avons vérifié le carnet de santé pour chacun. Nous nous sommes également basées sur l'entretien d'anamnèse en tenant compte des critères du DSM-5 [54], ainsi que sur les examens complémentaires qu'ils soient somatiques (ophtalmologique, ORL, neurologique, etc.) ou psychologiques.

L'étude (CER-PD 2019-93) a été approuvée par le comité d'éthique institutionnelle de l'Université de Paris. Tous les participants ont donné leur consentement éclairé écrit (signé par eux-mêmes et par un parent ou un représentant légal) avant de commencer l'étude.

2.2. Matériel

Les données anamnestiques ont été recueillies à travers le carnet de santé de l'enfant, étayées par un entretien semi-directif et un questionnaire d'anamnèse rétrospectif rempli par les parents. Ce questionnaire portait sur la grossesse et l'accouchement, sur l'histoire familiale et médicale de l'enfant. À cela s'ajoutaient des questions portant sur l'histoire développementale (mode garde de l'enfant de sa naissance à ses 6 ans, et son comportement), sur le développement psychomoteur avec des repères simples qui pouvaient être étayés par le carnet de santé et des photos ou films de la part des parents en cas de manque de précision sur les grands stades du développement (station assise autonome, marche autonome), les AVQ (repas et utilisation des couverts, habillage, attacher ses lacets, etc.) ; les activités ludiques ou les loisirs de l'enfant tels que les jeux de constructions, puzzles, Lego, nager, faire du vélo à deux roues, etc.), et sur les activités scolaires (copier un dessin en suivant un modèle, coloriage, découpage, écrire, lecture, être autonome pour ses devoirs, etc.). De plus, ce questionnaire rassemble des questions à propos du langage et de la communication (babillage, première phrase). Enfin, des questions sur le développement psychoaffectif ont été également incluses (réaction à la frustration, anxiété, compréhension des limites, avoir des amis du même âge, présence des parents lors des devoirs, lors du bain, lors des jeux, etc.).

Les réponses aux différentes questions sont donc soit quantitatives (âge, classe), soit dichotomiques (« oui » codé 1 ou « non » codé 0 pour des questions comme « Aime-t-il/elle dessiner ? », par exemple).

Tous les enfants HP ont été évalués avec le test d'intelligence de Wechsler (WISC-V) [3]. Les scores d'Indice de compréhension verbale (ICV), d'Indice visuospatial (IVS), d'Indice de raisonnement fluide (IRF), d'Indice de mémoire de travail (IMT), d'Indice de vitesse de traitement (IVT) et de Quotient intellectuel total (QIT) ont été exprimés sous forme de scores composites (moyenne 100, écart-type = 15).

2.3. Analyses statistiques

Le traitement statistique des données a été effectué à l'aide du logiciel SPSS [55]. Nous avons utilisé un seuil de $p=0,05$ pour indiquer la significativité statistique. La méthode de Bonferroni a été systématiquement utilisée pour tenir compte des comparaisons multiples. Pour analyser la différence statistique entre les HP et les enfants neurotypiques, le test t de Student (t) a été utilisé pour les données quantitatives et un test du Chi² pour les données dichotomiques. Pour les variables numériques continues, c'est un test de corrélation de Pearson (r) qui a été utilisé et un test de Spearman (p) pour les corrélations non paramétriques. Pour analyser les données rétrospectives de développement moteur et psychoaffectif au regard du profil de QI chez les enfants HP, nous avons utilisé le seuil de 23 points entre l'indice le plus élevé et l'indice le plus faible pour indiquer si le profil est considéré comme homogène ou hétérogène [27].

3. Résultats

3.1. Analyse descriptive de l'échantillon

Le **Tableau 1** montre la comparaison entre les scores d'indices de QI entre notre groupe d'enfants HP et les caractéristiques psychométriques de l'échantillon français d'enfants HP [3]. Les résultats confirment la représentativité de notre échantillon par rapport aux normes nationales des enfants HP, avec des scores d'ICV, d'IRF, d'IMT et de QIT significativement plus élevés en faveur de notre groupe. La comparaison de moyenne (avec l'écart-type) des indices de QI entre les enfants HP de profil homogène et ceux avec un profil hétérogène est analysée. L'ICV s'avère significativement plus élevé chez les enfants HP ayant un profil hétérogène tandis que l'IVS, l'IRF, l'IMT et l'IVT sont plus élevés dans le profil homogène. Une différence statistique est mise en exergue entre les deux groupes concernant l'ICV en faveur du profil hétérogène, l'IMT et l'IVT en faveur du profil homogène.

Le **Tableau 2** montre les caractéristiques anthropométriques et sociodémographiques de l'ensemble de l'échantillon. Seuls les scores de QI ont été identifiés comme critère de différenciation des deux groupes ($t = -12,85$, $ddl = 34$, $p \leq 0,001$, [IC à 95 % = $-38,03$ à $-27,64$]). Les résultats ne montrent pas de différence statistique entre les deux groupes concernant le mode d'accouchement, de la consommation de substances durant la grossesse, le score APGAR à 5, puis à 10 minutes, les complications au cours de la grossesse, et non plus pour les données anthropométriques.

3.2. Corrélations entre le QI et le développement moteur et langagier

Dans l'ensemble de l'échantillon, il existe des corrélations significatives et négatives entre le QIT et l'acquisition de la station assise sans appui (autour de 7 mois en moyenne) ($r = -0,32$, $p = 0,01$, [IC à 95 % = $-0,52$ à $-0,09$]), de la marche autonome (environ 12 mois en moyenne) ($r = -0,30$, $p = 0,03$, [IC à 95 % = $-0,51$ à $-0,01$]), et de l'expression des premières phrases (environ 18 mois en moyenne) ($r = -0,60$, $p \leq 0,001$, [IC à 95 % = $-0,71$ à $-0,39$]). Ces corrélations montrent que les enfants HP ont un développement précoce (deux mois d'avance en moyenne) de la position assise, de la marche et du langage selon les normes du développement psychomoteur [12] et l'échelle fonctionnelle motrice DF-MOT [11]. La comparaison des groupes montre une différence significative avec une fréquence du développement précoce de la position assise ($t = 2,23$, $ddl = 34$, $p = 0,03$, [IC à 95 % = $-1,7$ à $-0,08$]), de la marche ($t = 3,42$, $ddl = 34$, $p = 0,001$, [IC à 95 % = $4,43$ à $-1,13$]), et du langage ($t = 5,23$, $ddl = 34$, $p \leq 0,001$, [IC à 95 % = $17,05$ à $-7,51$]) significativement plus élevée

Tableau 1
Comparaison entre les indices du QI de notre groupe d'enfants HP et les normes nationales HP [3], entre profils homogènes et hétérogènes dans l'échantillon d'enfants HP.

Indices du QI	Échantillon d'enfants HP (n = 58)	WISC-V normes nationales d'enfants HP (n = 95)	t-test	Valeur de p	Ddl	IC à 95 %
ICV (moyenne, E.T.)	137,76 (11,22)	127,7	6,8	≤ 0,01*	57	7,01 à 13,01
IVS (moyenne, E.T.)	123,72 (12,54)	121,2	1,53	0,14	57	-0,72 à 5,77
IRF (moyenne, E.T.)	125,91 (10,69)	120,3	4	≤ 0,001*	57	3,11 à 8,2
IMT (moyenne, E.T.)	122,33 (13,67)	117,9	2,47	0,019*	57	0,95 à 8,08
IVT (moyenne, E.T.)	113,10 (14,75)	112,9	0,11	0,93	57	-3,83 à 4,13
QIT (moyenne, E.T.)	132,62 (7,7)	127,5	5,06	≤ 0,001*	57	3,31 à 7,1
	Enfants HP avec un profil hétérogène (n = 36)	Enfants HP avec un profil homogène (n = 22)				
ICV (moyenne, E.T.)	139,81 (12,62)	134,41 (9,41)	-2,02	0,05*	57	-10,72 to -0,85
IVS (moyenne, E.T.)	123,5 (14,44)	124,09 (9,65)	0,19	0,86	57	-5,79 to 6,89
IRF (moyenne, E.T.)	125,06 (11,97)	127,31 (8,23)	0,78	0,37	57	-3,18 to 7,3
IMT (moyenne, E.T.)	119,47 (14,46)	127 (11,03)	2,01	0,03*	57	0,94 to 14,08
IVT (moyenne, E.T.)	108,31 (15,78)	120,95 (8,47)	3,96	≤ 0,01*	57	6,71 to 18,84
QIT (moyenne, E.T.)	131,44 (8,21)	134,55 (6,51)	1,5	0,12	57	-7,2 to 6,8

HP : haut potentiel ; WISC-V : échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants 5^e édition ; E.T. : écart-type ; IC : intervalle de confiance ; IQT : quotient intellectuel total ; ICV : indice de compréhension verbale ; IVS : indice visuospatial ; IRF : indice de raisonnement fluide ; IMT : indice de mémoire de travail ; IVT : indice de vitesse de traitement ; * : résultat significatif (≤0,05) ; Ddl: degré de liberté.

Tableau 2
Caractéristiques anthropométriques et sociodémographiques des enfants HP et neurotypiques.

Données anthropométriques et sociodémographiques	Échantillon d'enfants HP (n = 58)	Groupes appariés (n = 36)		Chi ² (1) ou t-test (Ddl = 34) HP/neurotypiques		
		Enfants HP (n = 18)	Neurotypiques (n = 18)	Valeur	Valeur de p	IC à 95 %
Sexe (%)						
Garçons	64	61,11	66,67	0,04	1	1 to 1
Filles	36	38,89	33,33	0,07	1	1 to 1
Âge (moyenne, E.T.)	127,19 (19,97)	112,94 (15,31)	110,33 (34,63)	-0,3	0,77	-21,05 to 15,83
QIT (moyenne, E.T.)	132,62 (7,7)	133,17 (8,51)	100,33 (6,72)	-12,85	≤0,001*	-38,03 to -27,64
Mode d'accouchement						
Par voie basse (%)	31	18	15	0,27	0,73	0,72 to 0,74
Césarienne (%)	19	0	3	1,8	0,37	0,36 to 0,38
Utilisation de substance addictogène durant la grossesse (%)						
Alcool	14	6	6	0	1	1 to 1
Tabac	12	3	3	0	1	1 to 1
Complications durant la grossesse (%)						
Hypertension	0	0	0	0	1	1 to 1
Prééclampsie	2	0	0	0	1	1 to 1
Diabète	0	0	0	0	1	1 to 1
Détachement du placenta	2	0	0	0	1	1 to 1
Contractions	2	0	5,56	0,33	1	1 to 1
Hémorragie	0	0	0	0	1	1 to 1
Oligoamnios	0	0	0	0	1	1 to 1
Grossesse gémellaire	0	0	0	0	1	1 to 1
PAM	2	5,56	0	0,33	1	1 to 1
Poids (kg) à la naissance (moyenne, E.T.)	3,49 (0,57)	3,49 (0,57)	3,36 (0,29)	-1,37	0,18	-0,58 to 0,12
Taille (cm) à la naissance (moyenne, E.T.)	50,26 (3,2)	50,26 (3,19)	49,77 (2,17)	0,1	0,92	-2,23 to 2,47
Périmètre crânien à la naissance (moyenne, E.T.)	35 (1,35)	35 (1,35)	35,23 (1,86)	0,47	0,63	-0,85 to 1,37
Score APGAR (moyenne, E.T.)						
5 minutes	9,56 (0,84)	9,56 (0,84)	10	-0,6	0,55	-0,57 to 0,31
10 minutes	10 (0)	10 (0)	10	0	1	1 to 1

HP : haut potentiel ; QIT : quotient intellectuel total ; E.T. : écart-type ; PAM : pression artérielle moyenne.

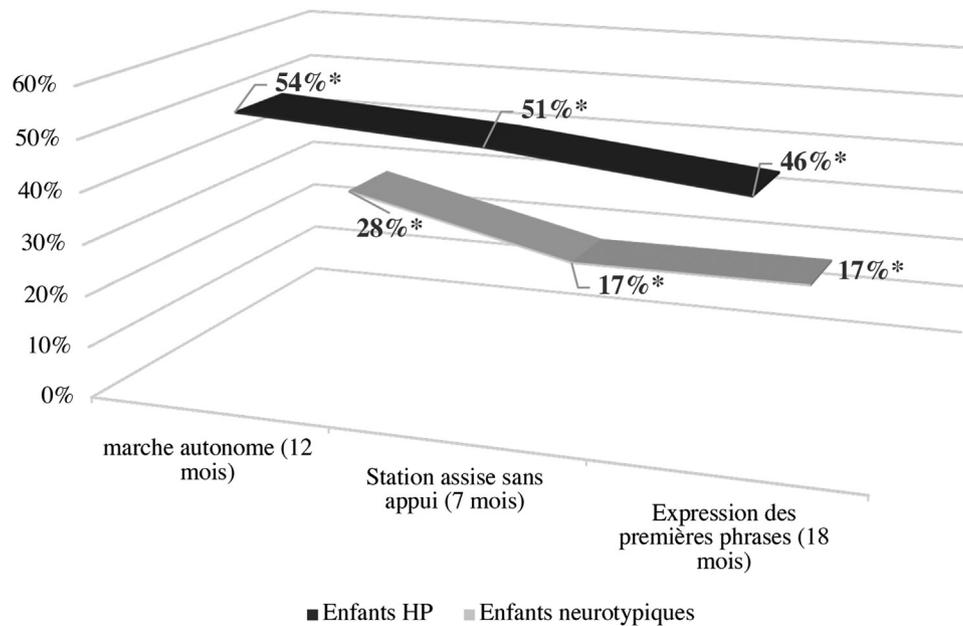


Fig. 1. Fréquence du développement moteur et langagier précoces chez les enfants HP comparée aux neurotypiques conformément aux normes développementales françaises [11,12].

chez les enfants HP par rapport au groupe d'enfants neurotypiques (Fig. 1).

Concernant le profil de QI des enfants HP et les acquisitions langagières, les résultats montrent une différence significative entre les profils homogènes et hétérogènes pour l'âge du babillage (4 mois en moyenne) ($t = -1,99$, $ddl = 49$, $p = 0,05$, [IC à 95 % = -26,51 à 0,20]) et pour l'âge d'habillage autonome (3 ans en moyenne) ($t = 2,09$, $ddl = 49$, $p = 0,04$, [IC à 95 % = -3,47 à -0,02]) en faveur du profil homogène. Nous soulignons une fréquence élevée de développement moteur avancé chez les enfants HP avec un profil de QI homogène. En revanche, nous avons identifié un taux de développement langagier précoce plus élevé (premières phrases vers 18 mois) chez les enfants HP avec un profil de QI hétérogène (Fig. 2).

3.3. Corrélations entre le QI et le développement psychoaffectif

Aucune différence significative n'est à noter entre le groupe d'enfants HP et neurotypiques ($p \geq 0,05$). En revanche, le QIT hétérogène du groupe HP s'avère toutefois corrélé significativement et positivement avec la « tendance à l'isolement et l'introversion » [$\rho = 0,3$; $p = 0,04$]. L'ICV est également corrélé significativement et positivement avec les « réactions fortes à la frustration » [$\rho = 0,4$; $p = 0,01$], « difficultés à comprendre les limites » [$\rho = 0,3$; $p = 0,01$] et « anxiété de séparation » [$\rho = 0,3$; $p = 0,04$]. L'IVS est corrélé significativement et positivement avec la « présence des parents pendant les jeux » [$\rho = 0,3$; $p = 0,04$]. L'IRF est significativement et positivement corrélé avec la « réaction forte à la frustration » [$\rho = 0,3$; $p = 0,03$], avec « l'anxiété de séparation » [$\rho = 0,3$; $p = 0,01$], et avec « présence des parents pendant les devoirs scolaires » [$\rho = 0,4$; $p = 0,01$]. L'IMT est significativement et positivement corrélé avec la « réaction forte à la frustration » [$\rho = 0,3$; $p = 0,02$], tout en étant négativement et significativement corrélé avec « avoir des amis du même âge à l'école » [$\rho = -0,3$; $p = 0,03$]. Enfin, l'IVT est significativement et négativement corrélé avec la « réaction forte à la frustration » [$\rho = -0,5$; $p = 0,001$] et les « difficultés à comprendre les limites » [$\rho = -0,4$; $p = 0,02$].

3.4. Corrélations entre les AVQ et les profils du QI (homogènes/hétérogènes)

Les résultats montrent des corrélations significatives chez les enfants HP entre les indices de QI et le développement des capacités motrices de la vie quotidienne : « boutonner ses vêtements » est significativement et positivement corrélé avec l'IMT ($\rho = -0,30$, $p = 0,02$, [IC à 95 % = -0,51 à -0,03]), « Mettre ses vêtements à l'endroit » est significativement et positivement corrélé avec l'IVS ($\rho = -0,33$, $p = 0,01$, [IC à 95 % = -0,50 à -0,14]), l'IMT ($\rho = -0,30$, $p = 0,03$, [IC à 95 % = -0,5 à -0,01]) et le QIT [$\rho = -0,30$, $p = 0,02$, [IC à 95 % = -0,5 à -0,09]]. « Utiliser un couteau correctement » est significativement et positivement corrélé avec l'IMT [$\rho = 0,27$, $p = 0,04$, [IC à 95 % = -0,03 à 0,5]] et l'IVT ($\rho = 0,26$, $p = 0,05$, [IC à 95 % = -0,01 à 0,51]). « Utiliser correctement une fourchette » est significativement et positivement corrélé avec l'IRF ($r = 0,35$, $p = 0,01$, [IC à 95 % = 0,15 à 0,52]). « Maladresse » est significativement et négativement corrélée avec l'IVS ($\rho = -0,3$, $p = 0,02$, [IC à 95 % = -0,5 à 0,07]), l'IMT ($\rho = -0,31$, $p = 0,02$, [IC à 95 % = -0,50 à -0,08]), et l'IVT ($\rho = -0,75$, $p = 0,04$, [IC à 95 % = -0,50 à -0,02]).

Concernant le profil de QI, il existe une corrélation significative et positive entre le profil hétérogène et « les difficultés pour boutonner ses vêtements », des « difficultés pour mettre ses vêtements à l'endroit », « difficultés pour lacer ses chaussures », et « l'utilisation correcte d'un couteau » (Tableau 3). Ces difficultés concernant les AVQ sont significativement et positivement corrélées avec « la maladresse » : « difficultés pour mettre ses vêtements à l'endroit » ($\rho = 0,30$, $p = 0,005$), « difficultés pour lacer ses chaussures » ($\rho = 0,44$, $p = 0,005$), « utilisation correcte du couteau » ($\rho = -0,55$, $p = 0,001$). Nous avons identifié 41 % des enfants HP avec un profil de QI hétérogène, contre 7 % pour un QI homogène profil, qui présente des difficultés dans au moins deux domaines des AVQ. Chez les enfants HP avec profil hétérogène, nous avons identifié l'ICV (moyenne = 148) et l'IRF (moyenne = 124) comme indices les plus élevés, les plus faibles étaient IVT (moyenne = 107), IMT (moyenne = 119) et IVS (moyenne = 122). Ces trois indices sont significativement et négativement corrélés à « la maladresse » (respectivement $p = 0,02$; $\rho = -0,30$, $p = 0,04$; $\rho = -0,30$, $p = 0,03$; $\rho = -0,31$).

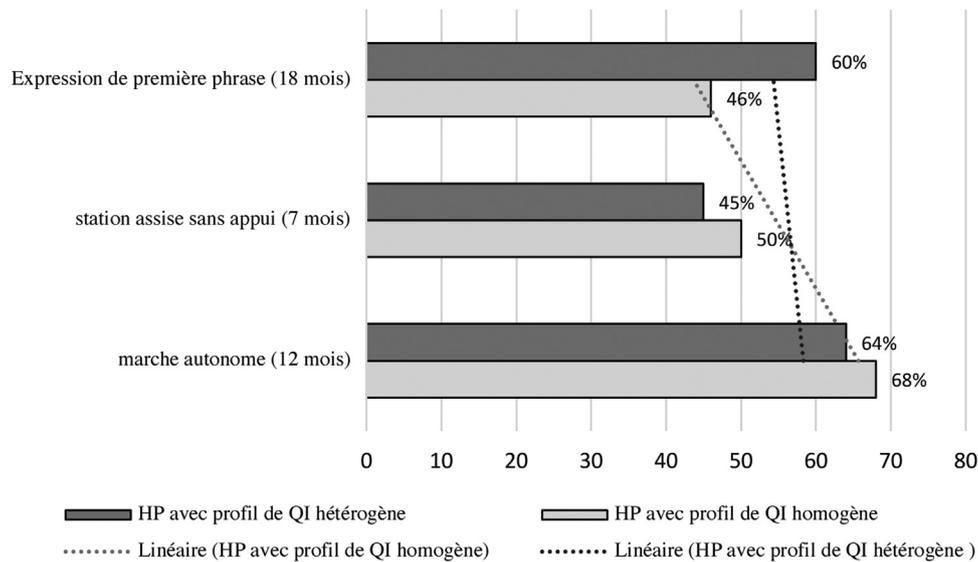


Fig. 2. Pourcentage de développement moteur et langagier précoces chez les enfants HP avec un profil de QI homogène comparé aux HP avec un profil de QI hétérogène, conformément aux normes développementales françaises [11,12].

Tableau 3
Corrélations entre AVQ (habillage, repas) et profils de QI (homogène/hétérogène).

AVQ	Enfants HP (n = 58)		Spearman's ρ test (ρ)	
	Profil hétérogène (n = 36)	Profil homogène (n = 22)	Valeur	Valeur de p
Difficultés pour boutonner ses vêtements				
Oui	6 (27,7 %)	1 (3,57 %)	0,356	0,022*
Non	16 (72,73 %)	27 (96,43 %)		
Difficultés pour mettre ses vêtements à l'endroit				
Oui	7 (31,82 %)	1 (3,57 %)	-0,412	0,008*
Non	15 (68,18 %)	27 (96,43 %)		
Difficultés pour lacer ses chaussures				
Oui	9 (40,91 %)	2 (7,14 %)	-0,397	0,011*
Non	13 (59,09 %)	26 (92,86 %)		
Utilisation correcte du couteau				
Oui	8 (36,36 %)	25 (89,29 %)	0,341	0,029*
Non	14 (63,64 %)	3 (10,71 %)		

HP : haut potentiel; * : résultat significatif ($\leq 0,05$).

3.5. Corrélations entre activités scolaires, AVQ (jeux et loisirs) et profils du QI (homogène/hétérogène)

Concernant les jeux et les activités scolaires des enfants HP, nous avons montré une corrélation significative avec le profil de QI et « jouer aux puzzles sans difficulté », « jouer à des jeux de construction sans difficulté », « difficultés d'autonomie », « difficultés d'attention », et « adaptation aux jeux collectifs » (Tableau 4). Nous avons identifié 14 % des enfants HP avec profil de QI hétérogène, contre 7 % avec QI homogène, qui ont présenté des difficultés dans au moins deux domaines. De plus, bien qu'aucune difficulté de lecture n'ait été notée dans l'un ou l'autre des deux profils, nous avons identifié un pourcentage élevé de difficultés d'écriture manuscrite, copie de dessin, et capacités de coloriage chez les enfants HP avec profil de QI hétérogène par rapport à l'homogène (respectivement 64 %, 62 %, 67 % contre 34 %, 34 %, 41 %).

4. Discussion

La présente étude montre, en premier lieu, une avance significative (deux mois en moyenne) du développement moteur et langagier chez les enfants HP, par rapport aux enfants neurotypiques.

4.1. Comment interpréter cette trajectoire développementale spécifique aux enfants HP ?

Ces résultats sont congruents avec les rares études issues de la littérature scientifique [10-13,31,56] confirmant une avance développementale motrice chez les enfants HP avec une station assise sans appui à l'âge de 7 mois, la marche autonome vers l'âge de 12 mois, et l'expression des premières phrases vers l'âge de 18 mois en moyenne. Une des plus anciennes études [18] sur un grand échantillon d'enfants HP (n = 561) avait également montré un développement moteur précoce de la marche autonome par rapport aux enfants neurotypiques. Plus récemment, Bildiren [24] a aussi confirmé, avec une étude rétrospective et qualitative utilisant des questionnaires, une avance de la marche et de la parole chez les enfants HP entre 0 et 2 ans, ainsi que des compétences précoces en lecture entre 4 et 6 ans. Dans leur étude longitudinale sur 19 enfants HP de plus de 18 ans, les auteurs [15] ont souligné un développement précoce des capacités posturales, locomotrices, cognitives et linguistiques chez les enfants HP. Cette étude confirme la synchronicité entre développement intellectuel et neuropsychomoteur à un âge précoce retrouvé par différents auteurs [9,10,13-15,18-20,24,29].

Cependant, certaines études montrent que les enfants HP semblent ne pas être en avance dans le domaine neuropsychomoteur et se caractérisent ainsi par une dyssynchronie

Tableau 4
Corrélations entre activités scolaires/jeux et profils de QI (homogène/hétérogène).

Activités scolaires et jeux	Enfants HP (n = 58)		Spearman's ρ test (p)	
	Profil hétérogène (n = 36)	Profil homogène (n = 22)	Valeur	Valeur de p
Jouer aux puzzles sans difficultés				
Oui	17 (77,27 %)	26 (92,86 %)	-0,325	0,035*
Non	5 (22,73 %)	2 (7,14 %)		
Jouer aux jeux de construction sans difficultés				
Oui	17 (77,27 %)	26 (92,86 %)	-0,278	0,072*
Non	5 (22,73 %)	2 (7,14 %)		
Difficultés d'autonomie				
Oui	5 (22,73 %)	1 (03,57 %)	0,371	0,016*
Non	17 (77,27 %)	27 (96,43 %)		
Difficultés d'attention				
Oui	8 (36,36 %)	5 (17,76 %)	0,28	0,069*
Non	14 (63,64 %)	23 (82,14 %)		
Adaptation aux jeux collectifs				
Oui	17 (77,27 %)	26 (92,86 %)	0,325	0,035*
Non	5 (22,73 %)	2 (7,14 %)		

HP : haut potentiel.

psychomotrice/intellectuelle/affective [52,57]. Néanmoins, ces conclusions ont été tirées à partir de l'étude d'un échantillon d'enfants HP qui provient essentiellement de l'Association nationale pour enfants intellectuellement précoce (ANPEIP), ce qui biaise les résultats, étant donné que les enfants qui sollicitent cette association sont souvent demandeurs d'aide. Par conséquent, l'échantillon n'est pas représentatif de la population générale des enfants HP, mais pointe un intérêt à se questionner sur l'hétérogénéité du profil du QI. D'ailleurs, une étude basée sur un échantillon de 361 enfants HP issus de cette même association a relevé 47 % (n = 170) d'enfants HP dépressifs [32]. En effet, cette étude basée sur le questionnaire de dépression pour enfant (MDI-C), montre une prévalence très importante de dépression avérée chez ces enfants, avec un taux de risques suicidaires qui est de 21 %. L'auteur précise que ces enfants HP en dépression présentent un taux de troubles spécifiques d'apprentissage dans le domaine de la lecture, du calcul et de l'expression écrite, significativement plus élevé que les enfants HP sans dépression. Par conséquent, la dyssynchronie psychomotrice/intellectuelle/affective mérite d'être mieux examinée avant d'en faire une caractéristique générale des enfants HP.

Pour expliquer nos résultats sur la précocité du développement neuropsychomoteur chez les enfants HP, nous confirmons l'hypothèse d'une maturation cérébrale précoce attestée par une avance du développement psychomoteur et une avance de développement des habiletés motrices volontaires. Nos résultats sont donc en accord avec des études précédentes [10,13,16] montrant une maturation neurologique spécifique des enfants HP depuis leur naissance dans le domaine sensorimoteur et neuromoteur engendrant une émergence précoce des capacités de coordination posturo-locomotrices et visuo-manuelle au même titre que les processus cognitifs très développés chez ces enfants. Toutefois, si l'hypothèse de caractéristiques physiologiques et neurobiologiques souligne une maturation cérébrale précoce permettant un développement neuropsychomoteur et intellectuel précoce, des facteurs environnementaux, un contexte stimulant à l'école et au sein de la famille, l'expérience individuelle et les ressources motivationnelles, ainsi que les facteurs éducatifs auraient une influence positive sur l'expression de cette avance développementale et inversement [10,16,17,58-61].

En effet, certaines études [10,13,62] suggèrent que l'avance de développement neuropsychomoteur peut s'expliquer par une maturation neurologique précoce de la myélinisation et, par conséquent, une propagation plus rapide et plus précoce de la conduction dans le cerveau. L'hypothèse sous-jacente en accord avec les études précédentes [10,13,16] serait qu'il existe des particularités

neurologiques et cellulaires cérébrales propres à ces enfants, en particulier au niveau de la gaine de myéline, les cellules gliales (astrocytes fournissant de l'énergie aux neurones à travers le glucose), les canaux ioniques et les axones avec des constructions protéiques différentes. En effet, ces structures ont un rôle primordial dans la conduction nerveuse, accélérant l'influx nerveux le long des fibres nerveuses nécessaires aux fonctions sensibles et motrices en lien avec le système nerveux central et périphérique [10]. Cela pourrait également corroborer les résultats de neuroimagerie issues des études en neurosciences qui ont mis en évidence une meilleure connectivité des synapses neuronales chez les enfants HP comparés aux enfants neurotypiques [63]. Nusbaum et al. [64] ont montré une meilleure connectivité du lobe frontal et du cortex cérébral impliquant de nombreuses régions fonctionnelles notamment la zone motrice primaire utilisée principalement pour les mouvements volontaires, l'aire prémotrice utilisée pour les activités motrices apprises ou automatiques, l'aire motrice supplémentaire qui coordonne différents mouvements, et la zone de Broca appelée également zone motrice de la parole, ce qui pourrait expliquer cette avance développementale à la fois au niveau moteur et verbal.

La présente étude est la seule dans la littérature, à notre connaissance, analysant des données longitudinales du développement de l'enfant HP comparées à l'enfant neurotypique et au regard du profil psychométrique (homogène/hétérogène). Bien que tous les stades du développement moteur soient corrélés au niveau de QI, cette avance développementale apparaît propre au HP et ne dépend pas du profil du QI. Cependant, il existe une différence significative entre les profils psychométriques homogènes et hétérogènes concernant certains stades : âge de l'habillage autonome (3 ans) et du babillage (4 mois) impliquant le développement précoce des compétences bucco-praxiques [13] en faveur d'un profil homogène. A contrario, il existe une fréquence élevée de développement précoce du langage (premières phrases autour de 18 mois) chez les HP et d'autant plus dans le profil hétérogène, soulignant de meilleures compétences linguistiques [65]. Ainsi, la distribution des indices semble cohérente avec ce résultat, car l'ICV était plus élevée dans le profil hétérogène, tandis que l'IVS, l'IRF, l'IMT et l'IVT étaient plus élevés dans le profil homogène. Dans la littérature, Liratni [66] souligne dans son étude que 77 % des participants issus d'un échantillon de 60 enfants HP présentaient également un ICV élevé par rapport aux autres indices, mais il précise que cela concernait la totalité du groupe dont 87 % des profils étaient hétérogènes. Néanmoins, son échantillon a été recruté sur la base d'une évaluation antérieure au WISC-III, sans préciser si c'était dans un cadre de consultation pour suspicion de trouble ou tout-venant, ce qui nous questionne

sur un éventuel biais d'échantillonnage. Par conséquent, ses résultats seraient plutôt le reflet d'un profil uniquement hétérogène épargnant l'enfant HP avec un profil homogène.

Par ailleurs, aucune corrélation significative n'a été démontrée entre le niveau du QI et l'hétérogénéité dans notre étude, cela va à l'encontre de la récente étude belge concluant sur un lien positif entre le QI et l'hétérogénéité chez les HP [67]. Cependant, cette étude ne s'est basée que sur 28 enfants ($QI \geq 125$) sans comparaison avec un groupe contrôle, sans analyse intragroupe, ni données supplémentaires sur la trajectoire du développement.

4.2. Analyse du profil du QI au regard des AVQ

Nous avons analysé, de façon approfondie, les habilités motrices dans les AVQ chez les enfants HP de notre échantillon. Les résultats montrent qu'« avoir des difficultés pour boutonner ses vêtements », « difficultés à mettre ses vêtements à l'endroit », « difficultés pour lacer ses chaussures » et « difficultés pour utiliser correctement un couteau » dépendent du profil psychométrique avec un taux élevé de difficultés chez les enfants HP ayant un profil hétérogène (respectivement 27 % contre 4 % dans le profil homogène ; 32 % contre 4 % ; 41 % contre 7 % ; 64 % contre 11 %). Ces difficultés liées aux habilités motrices de la vie quotidienne sont significativement et positivement corrélées avec « la maladresse ». De plus, en ce qui concerne les jeux, les loisirs, et les activités scolaires, il existe également une relation significative entre le profil hétérogène et les difficultés à « jouer à des puzzles » (23 % vs 7 % dans un profil homogène), à « jouer à des jeux de construction », (23 % vs 7 %) « difficultés d'autonomie » (23 % vs 4 %), « difficultés d'attention » (36 % vs 18 %), et « difficultés d'adaptation aux jeux collectifs » (23 % vs 7 %).

Ces résultats mettent en exergue les difficultés dans l'acquisition de la motricité coordonnée dans un profil hétérogène faisant écho aux critères du diagnostic de TDC dans le DSM-5 [54] dont le critère A : « L'acquisition et l'exécution de compétences motrices coordonnées sont nettement inférieures à ce qui est attendu pour l'âge chronologique de l'individu et de la possibilité d'apprentissage et d'utilisation des compétences. Les difficultés se manifestent par des maladresses (e.g. tomber ou heurter des objets) ainsi que par la lenteur et l'imprécision des performances motrices (e.g. attraper un objet, utiliser des ciseaux ou des couverts, écrire, faire du vélo ou faire du sport) ». Ainsi, les difficultés constatées issues de nos résultats ont un impact significatif et constant sur les activités de la vie quotidienne, les jeux, les loisirs, et les activités scolaires, ce qui correspond au critère B du DSM-5 [54]. De plus, l'apparition de ces difficultés s'avère dans la période de développement précoce répondant au critère C du DSM-5 [54], et cela n'est pas mieux expliqué par une déficience intellectuelle ou une déficience visuelle et ne sont pas attribuables à une affection neurologique affectant le mouvement (critère D du DSM-5 [54]). Par conséquent, au regard des critères du DSM-5, nous constatons que les enfants HP avec un profil du QI hétérogène répondent à tous les critères de diagnostic du TDC. Nous aurions pu négliger ces difficultés en ne considérant que le QI verbal élevé comme un indice typique du HP souvent relevé dans la littérature [47,51,68].

4.3. D'un développement précoce à une suspicion du TDC : quels sont les meilleurs indicateurs pour un diagnostic précoce ?

Dans la présente étude, le développement précoce des grandes étapes motrices a été mis en évidence chez les enfants HP quels que soient leurs profils du QI. En revanche, la qualité des compétences de coordination motrice s'avère être significativement liée à au profil psychométrique. Ces résultats confirment notre étude précédente [69] soulignant la similitude des caractéristiques cliniques du TDC chez les enfants HP par rapport aux enfants neurotypiques avec TDC. À savoir que chez ces derniers, il n'a pas été mis en

évidence de retard de la maturation motrice (station assise autonome, marche indépendante) pouvant expliquer le TDC, mais plutôt un retard au niveau de l'acquisition et l'exécution des gestes moteurs coordonnés en lien avec les AVQ, ce qui est en accord avec nos résultats. De plus, les études sur le TDC qui se sont intéressées au développement psychomoteur n'ont pas retrouvé de lien significatif entre développement moteur finalement peu affecté dans le TDC [70] et les difficultés praxiques ou de la coordination motrice. Ainsi, la présente étude affirme à nouveau [69] que les enfants HP peuvent masquer des troubles d'apprentissage avec un profil de QI très hétérogène, l'IVS et l'IVT étant plus affectés par le TDC. Ceci explique pourquoi un QIT inférieur à 130 (120-129) pourrait, dans certains cas, sous-diagnostiquer un HP. D'ailleurs, nos résultats montrent que le QIT du groupe hétérogène était inférieur au QIT du groupe homogène. Cela souligne la limite du critère considérant le HP avec un $QIT \geq 130$ [2,3] et montre la pertinence d'analyser le profil du QI au regard de l'anamnèse prenant en compte les AVQ plutôt que de se contenter de l'évocation du seul score de l'indice du QIT.

Nos résultats montrent que 41 % des profils hétérogènes chez le groupe d'enfant HP tout-venant présentent une suspicion de TDC, ce qui représente un taux élevé de la variance d'hétérogénéité totale dans le même groupe. Nous supposons que le profil pourrait être influencé différemment par les scores d'indices. Ainsi, nous avons démontré les liens entre les indices IMT, IVT, et IVS et les difficultés dans l'acquisition de la motricité coordonnée mentionnée ci-dessus, et ils sont significativement et négativement corrélés à la maladresse. Toutefois, il est important de préciser que le WISC-V rend essentiellement compte de l'intelligence fluide et cristallisée ainsi que des capacités visuospatiales, mais moins des capacités praxiques [3].

Dans la littérature, une étude [70] a montré que le TDC est souvent associée à une déficience visuospatiale et à des déficits de mémoire de travail à court terme, soulignant une influence sur l'indice IMT. Certaines études [69-72] sur les sous-types de TDC ont précisé que le TDC visuospatial/constructif est caractérisé par des altérations spécifiques dans l'intégration visuo-motrice, associés aux troubles de la poursuite lisse oculaire pouvant être liés à l'IVS et l'IVT, ces dernières souvent plus faibles dans le profil hétérogène chez ces enfants, soulignant des indices affectés par le TDC. En outre, une méta-analyse [73] basée sur 50 études a montré une atteinte significative dans le traitement visuel et spatial avec des déficiences dans le traitement kinesthésique dans le TDC. Cette méta-analyse met en évidence l'unanimité des études soutenant la présence de difficultés de perception visuelle associés aux difficultés de coordination motrice. En ce qui concerne l'IVT, une étude [74] a montré que les enfants atteints de TDC ont un profil cognitif hétérogène montrant des difficultés avec cet indice, un élément clé dans les tâches motrices. Une autre étude [75] a confirmé que les enfants atteints de TDC étaient significativement plus lents sur toutes les tâches, ce qui confirme un déficit de synchronisation temporel chez ces enfants. D'autres études récentes [76] ont démontré à partir de l'analyse d'un profil de QI d'une étude de cas, associé à d'autres évaluations multidimensionnelles (neuropsychomotrices, cognitives et neurovisuelles), qu'un profil psychométrique très hétérogène avec un score significativement élevé à l'ICV pourrait masquer des troubles neurodéveloppementaux (TDC, signes neurologiques mineurs, troubles dans le domaine visuospatial...) n'épargnant pas l'enfant HP.

Par ailleurs, il reste 59 % de la variance, que nous analyserons plus en détails dans un prochain article, et qui pourrait mettre en avant une suspicion précoce d'autres troubles neurodéveloppementaux tels que le TDAH [33,36,37,45], la dysgraphie [35] ou le TSA [34,40,42] chez les enfants HP avec un profil de QI très hétérogène. En ce qui concerne le domaine socio-émotionnel, certains travaux ont mis en évidence qu'un profil de QI très hétérogène avec des indices significativement plus faibles concernant l'IVS et

l'IVT chez les enfants HP pourrait masquer des difficultés et/ou des troubles sociocognitifs, voire psychopathologiques [34,40,41,53]. Kostogianni et Andronikof [77] montrent, dans leur étude sur un échantillon représentatif d'enfants HP, une faible estime de soi, une absence de traits narcissiques et avoir une tendance à éviter les activités de groupe, voire être négligé ou rejeté par les autres pairs. Néanmoins, les auteurs ne se sont pas intéressés à étudier ces traits psychologiques en fonction du profil du QI. Aucune relation significative directe n'a été montrée dans la présente étude entre le HP et la tendance à l'isolement ou les problèmes sociaux avec les pairs, ce qui est congruent avec l'étude de Pilarinos et Solomon [78]. En revanche, l'hétérogénéité du profil psychométrique s'avère significativement liée à des spécificités psychoaffectives notamment l'anxiété de séparation, avoir des difficultés de gestion émotionnelle, tendance à l'isolement, et avoir plus besoin de la présence des parents lors des devoirs et des jeux.

Par ailleurs, notre étude met en exergue certaines caractéristiques psychoaffectives significativement liées au profil psychométrique hétérogène des enfants HP, qui est lui-même est significativement corrélé aux symptômes du DSM-5 de TDC. Toutefois, aucune différence significative n'a été notée entre enfants neurotypiques et HP. L'existence de spécificités psychoaffectives, à savoir l'anxiété, besoin majeure de la présence des parents, réaction forte à la frustration, et difficultés d'interactions sociales, notamment l'introversité, et la tendance à l'isolement, ont été rapportés chez les patients avec TDC dans d'autres études [79]. Ces caractéristiques psychoaffectives sont à prendre en compte par les cliniciens particulièrement dans le pronostic. Différentes études montrent que la présence de ces comorbidités pédopsychiatriques aggrave la qualité de vie du patient et peuvent conduire à la dépression et à une tentative suicidaire [80]. Une étude récente [81], basée sur l'analyse factorielle, précise que les troubles d'habiletés motrices représentent un facteur de risque important particulièrement chez cette population d'enfants HP. Il est aussi démontré qu'un environnement familial soutenant l'enfant et favorisant les relations sociales soit un facteur protecteur de la dépression dans cette population. Ainsi, l'explication de la relation entre le TDC et les difficultés d'interactions sociales et psychoaffectives réside dans le fait que ces enfants avec TDC sont affectés psychologiquement par leurs mauvaises performances motrices, ce qui impacterait leurs apprentissages et leur développement psychosocial [81]. Une étude s'intéressant à la perspective clinique des TDC a déjà attiré l'attention des cliniciens sur l'importance de l'évaluation pluridisciplinaire et intégrative, engageant tout praticien à considérer la démarche diagnostique et le projet de prise en charge de l'enfant au regard de son fonctionnement global/singulier et de sa trajectoire développementale [82].

5. Conclusion

Cette étude sur un échantillon représentatif d'enfants HP met en exergue un développement moteur et langagier précoce (avec 2 mois d'avance en moyenne), quels que soient leurs profils du QI. Cependant, des difficultés d'habiletés de coordination motrice dans la vie quotidienne chez les enfants HP peuvent être relevées dans un profil du QI très hétérogène, suggérant un tableau clinique de TDC selon les critères du DSM-5 [54]. Les résultats soulignent un intérêt pour tout professionnel de santé ; psychologues, neuropsychologues, ergothérapeutes, psychomotriciens, et tout médecin prescripteur (pédiatre, neuropédiatre, pédopsychiatre), de mieux prendre en compte les AVQ dans la petite enfance comme repère d'un éventuel diagnostic du TDC [83].

L'analyse du profil psychométrique à l'âge scolaire, a montré que l'ICV est plus élevé dans le cas de profils hétérogènes, tandis que dans les profils homogènes, ce sont l'IVS, l'IRF, l'IMT et l'IVT qui

sont les plus élevés. Nous avons également montré qu'une partie importante de l'hétérogénéité et en cohérence avec cette distribution de scores d'indices, pouvant s'expliquer par une suspicion de TDC qui peut avoir un impact sur les activités de la vie quotidienne dont les jeux, les loisirs, et les performances académiques. Par conséquent, il apparaît un intérêt certain pour tout clinicien à ne pas considérer que le QIT, peut-être affaibli (entre 120 et 129), mais plutôt s'intéresser aux indices complémentaires notamment l'indice d'aptitude générale (IAG) et l'indice de compétences cognitives (ICC), étant très pertinents à prendre en compte en cas de troubles sous-jacents, pouvant être compensés et donc masqués par des stratégies compensatoires propres aux enfants HP, comme l'évocation langagière [35,69,84].

Il est également primordial d'analyser en profondeur le profil psychométrique, les indices et les subtests du QI au regard de l'anamnèse, plutôt que se contenter de considérer que certains subtests tels que « Matrices » souvent considéré par les psychologues comme le critère de l'intelligence supérieure. En effet, un score faible à ce subtest peut résulter de différentes causes notamment des fragilités ou troubles d'attention, de fonctions exécutives, de fonctions visuospatiales/constructives, oculomotrices, neurovisuelles, ou encore par une anxiété [85]. Ainsi, et surtout face un score supérieur au subtest « Similitudes », il est fortement recommandé de considérer l'ensemble des éléments indiqués ci-dessus pour éviter un diagnostic erroné. Devant le constat que la plupart des études sont très divergentes quant aux domaines d'évaluations complémentaires au QI, il serait intéressant d'approfondir la compréhension du profil d'un QI du HP avec des analyses multidimensionnelles (fonctions neuropsychologiques, neuropsychomotrices, neurovisuelles, oculomotrices, psychoaffectives et socio-cognitives). Comme complément au profil psychométrique du WISC-V chez les enfants (que ce soit HP ou non), il nous paraît en effet important d'une part, d'associer systématiquement les éléments d'anamnèse et l'évaluation de ces fonctions afin de mieux appréhender le fonctionnement de l'enfant. D'autre part, il apparaît aussi important de ne pas passer à côté d'une fragilité impactant la vie quotidienne de l'enfant, et de ne pas ignorer un trouble invisible comme le TDC, qui peut être d'autant plus compensé par un effet de langage élaboré comme dans la plupart des cas d'enfants HP.

L'étude présentée dans cet article apporte des résultats importants pour évaluer et comprendre le fonctionnement des enfants HP. Elle contribue à l'évolution de la recherche sur ce sujet et, par conséquent, à aider les praticiens dans leur analyse clinique. Cependant, certaines limites sont à noter. En effet, il conviendrait de reproduire cette étude avec un échantillon plus grand. De plus, il peut exister une part d'erreur concernant le recueil des données psychomotrices bien qu'elles aient été collectées à partir de questions simples, du carnet de santé et/ou de vidéos/photos. Enfin, cet article ne présente pas les données d'évaluations permettant de confirmer ou non le diagnostic de TDC, ce qui pourraient faire l'objet d'une prochaine publication.

Financement

Cette recherche a été soutenue par l'Institut Universitaire de France (IUF) « {Numéros de subventions L17P99, IUF004 }, la « Fondation pour la Recherche en Psychomotricité et Maladies de Civilisation (FRPMC) sous l'égide de la Fondation de France », et par « l'Association Nationale Recherche et Technologie (ANRT) Bourse CIFRE ». Les sources de financement ne sont en aucun cas impliquées dans la conception de l'étude, la collecte de données, l'analyse, l'interprétation des résultats, la rédaction du manuscrit, ni dans la décision de soumettre l'article pour publication.

Remerciements

Les auteurs remercient les enfants, leurs familles, toutes les écoles, les enseignants et les dirigeants impliqués dans cette étude, notamment Mme Nelly Dussausse et M. Philippe Person. Nous remercions également Dihia Alouache et Solène Pirault (stagiaires en Master de psychologie à l'Université de Nanterre) pour leur aide à la mise en forme de cet article.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Terman L. *Mental and physical traits of a thousand gifted children*. Stanford University Press; 1925.
- [2] Robert G, Kermarrec S, Guignard JH, Tordjman S. Signes d'appel et troubles associés chez les enfants à haut potentiel. *Archiv de Pediatr* 2010;17(9):1363-7, <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcped.2010.05.019>.
- [3] Wechsler D. *WISC-V : échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants : manuel technique et interprétatif*. Paris: ECPA; 2016.
- [4] Brown SW, Hwang MT, Baron M, Yakimowski ME. Factor analysis of responses to the WISC-R for gifted children. *Psychol Rep* 1991;69(1):99-107, <http://dx.doi.org/10.2466/pr0.1991.69.1.99>.
- [5] Bessou A, Montlahuc C, Louis J, Fournier P, Revol O. Profil psychométrique de 245 enfants intellectuellement précoces au WISC-III Multimodal Analysis of Profiles of Children with High Intelligence Quotient View project. *ANAE* 2005;81(1):23-8.
- [6] Revol O, Bléandou G. Enfants intellectuellement précoces : comment les dépister ? *Arch Pediatr* 2012;19(3):340-3, <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcped.2011.12.011>.
- [7] Charkaluk ML, Forhan A, Heude B, et al. Do developmental milestones at 4, 8, 12 and 24 months predict IQ at 5-6 years old? Results of the EDEN mother-child cohort. *Eur J Paediatr Neurol* 2017;21(1):272-9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.11.001>.
- [8] Seidenberg M, Giordani B, Berent S, Boll TJ. IQ level and performance on the Halstead-Reitan Neuropsychological Test Battery for Older Children. *J Consult Clin Psychol* 1983;51(3):406-13, <http://dx.doi.org/10.1037/0022-006X.51.3.406>.
- [9] Arffa S. The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Arch Clin Neuropsychol* 2007;22(8):969-78, <http://dx.doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.001>.
- [10] Vaivre-Douret L. Les caractéristiques développementales d'un échantillon d'enfants tout venant « à hautes potentialités » (surdoués) : suivi prophylactique. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2004;52(3):129-41, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurenf.2004.01.006>.
- [11] Vaivre-Douret L. *Livre-manuel Précis théorique et pratique du développement moteur du jeune enfant (DF-MOT)*. Paris: ECPA; 1999.
- [12] Brunet O, Lézine I. *Échelle de développement psychomoteur de la première enfance (BLR)*. Paris: ECPA; 2001.
- [13] Vaivre-Douret L. Developmental and cognitive characteristics of "High-Level Potentialities" (highly gifted) children. *Int J Pediatr* 2011;2011(1):1-14, <http://dx.doi.org/10.1155/2011/420297>.
- [14] Gross MUM. Small poppies: Highly gifted children in the early years. *Roeper Rev* 1999;21(1):207-14, <http://dx.doi.org/10.1080/02783199909553963>.
- [15] Winiesdorffer J, Vaivre-Douret L. Detection of the child with high potentialities (gifted child): contributions of a longitudinal retrospective study of 19 children over 18 years of exercise in rural areas. *Rev Prat* 2012;62(1):1205-11.
- [16] Vaivre-Douret L, Lalanne C, Charlemaïne C, et al. Relationship between growth status at birth and motor and cognitive development in a French sample of gifted children. *Eur Rev Appl Psychol* 2010;60(1):1-9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.erap.2009.10.004>.
- [17] Loureiro IS, Lowenthal F, Lefebvre L, Vaivre-Douret L. Étude des caractéristiques psychologiques et psychobiologiques des enfants à haut potentiel. *Enfance* 2010;1(1):27-44, <http://dx.doi.org/10.4074/S0013754510001047>.
- [18] Kincaid D. A study of highly gifted elementary pupils. *Gift Child Q* 1969;13(4):264-7.
- [19] Tucker B, Lu Haferstein N. Psychological intensities in young gifted children. *Gift Child Q* 1997;41(3):66-75, <http://dx.doi.org/10.1177/001698629704100302>.
- [20] Tolan SS. Psychomotor overexcitability in the gifted: an expanded perspective. *Adv Dev* 1994;6(1):77-86.
- [21] Stoeger H, Ziegler A, Martzog P. Deficits in fine motor skill as an important factor in the identification of gifted underachievers in primary school. *Psychol Sci* 2008;50(2):134-46.
- [22] Stoeger H, Ziegler A. Deficits in fine motor skills and their influence on persistence among gifted elementary school pupils. *Gift Educ Int* 2013;29(1):28-42, <http://dx.doi.org/10.1177/0261429412440649>.
- [23] Rinn AN, Mendaglio S, Moritz Rudasill K, et al. Examining the relationship between the overexcitabilities and self-concepts of gifted adolescents via multivariate cluster analysis. *Gift Child Q* 2010;54(1):3-17, <http://dx.doi.org/10.1177/0016986209352682>.
- [24] Bildiren A. Developmental characteristics of gifted children aged 0-6 years: parental observations. *Early Child Dev and Care* 2018;188(8):997-1011, <http://dx.doi.org/10.1080/03004430.2017.1389919>.
- [25] Wechsler D. *Manual for the WISC-R*. New York: Psychological Corporation; 1974.
- [26] Grégoire J. *Assess the child's intelligence*. Paris: Mardagua; 1998.
- [27] Labouret G, Grégoire J. La dispersion intra-Individuelle et le profil des scores dans les QI élevés. *ANAE* 2018;154(1):271-9.
- [28] Benbow CP, Minor LL. Cognitive profiles of verbally and mathematically precocious students: implications for identification of the gifted. *Gift Child Q* 1990;34(1):21-6, <http://dx.doi.org/10.1177/001698629003400105>.
- [29] Sweetland JD, Reina JM, Tatti AF. WISC-III verbal/performance discrepancies among a sample of gifted children. *Gift Child Q* 2006;50(1):7-10, <http://dx.doi.org/10.1177/001698620605000102>.
- [30] Flanagan DP, Alfonso VC. *Essentials of WISC-V assessment*. John Wiley & Sons; 2017.
- [31] Vaivre-Douret L. Les caractéristiques précoces des enfants à hautes potentialités. *JFP* 2003;1(1):33-5, <http://dx.doi.org/10.3917/jfp.018.0033>.
- [32] Vaivre-Douret L. Caractéristiques développementales de l'enfant à « hautes potentialités » et compréhension de trajectoires vers la dépression à l'âge scolaire en primaire et au collège. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2019;67(3):140-51, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.01.005>.
- [33] Loureiro IS, Lowenthal L, Lefebvre L, et al. Attention deficit disorder in high potential children: an exploratory study. *ANAE* 2009;101(1):317-22.
- [34] Vaivre-Douret L, Planche P. Homogeneous or heterogeneous IQ profile: some clinical characteristics to differentiate high intellectual potential and Asperger's syndrome in children. *J Psychiatry Psychiatr Disord* 2020;4(4):191-217, <http://dx.doi.org/10.26502/jppd.2572-519X0106>.
- [35] Hamdioui S, Vaivre-Douret L. Clinical markers of dysgraphia according to intellectual quotient in children with developmental coordination disorder. *J Psychiatry Psychiatr Disord* 2020;4(6):366-82, <http://dx.doi.org/10.26502/jppd.2572-519X0119>.
- [36] Tordjman S, Vaivre-Douret L, Chokron S, Kermarrec S. Les enfants à haut potentiel en difficulté : apports de la recherche clinique. *Encéphale* 2018;44(5):446-56, <http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2018.07.006>.
- [37] Tordjman S, Kermarrec S. Mythes et réalités sur les enfants à haut potentiel intellectuel en difficulté : les apports de la recherche. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2019;67(1):130-9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.02.003>.
- [38] Weismann-Arcache C. Hétérogénéité ou disharmonie ? Clinique du fonctionnement mental pour les enfants à haut potentiel. *Bull Psychol* 2006;5(1):481-9, <http://dx.doi.org/10.3917/bupsy.485.0481>.
- [39] Holocher-Ertl S, Seistock D. Relative weaknesses in visual-motor skills and visual-spatial perception as risk factors inhibiting the development of gifted children and adolescents: an analysis of AID 3 intelligence-test profiles for children with superior intelligence. *Psychol Test Assess Modeling* 2019;61(3):301-19.
- [40] Boschi A, Planche P, Hemimou C, et al. From high intellectual potential to Asperger syndrome: evidence for differences and a fundamental overlap - a systematic review. *Front Psychol* 2016;7(1):1605, <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01605>.
- [41] Guérolé F, Speranza M, Louis J, et al. Wechsler profiles in referred children with intellectual giftedness: associations with trait-anxiety, emotional dysregulation, and heterogeneity of Piaget-like reasoning processes. *Eur J Paediatr Neurol* 2015;19(4):402-10, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpn.2015.03.006>.
- [42] Chiang HM, Tsai LY, Cheung YK, et al. A meta-analysis of differences in IQ profiles between individuals with Asperger's disorder and high-functioning autism. *J Autism Dev Disord* 2014;44(7):1577-96, <http://dx.doi.org/10.1007/s10803-013-2025-2>.
- [43] Ghaziuddin M, Mountain-Kimchi K. Defining the intellectual profile of Asperger syndrome: comparison with high-functioning autism. *J Autism Dev Disord* 2004;34(3):279-84, <http://dx.doi.org/10.1023/B:JADD.0000029550.19098.77>.
- [44] Ozonoff S, South M, Miller JN. DSM-IV-defined Asperger syndrome: cognitive, behavioral and early history differentiation from high functioning autism. *Autism* 2000;4(1):29-46, <http://dx.doi.org/10.1177/1362361300041003>.
- [45] McCoach DB, Kehle TJ, Bray MA, et al. Best practices in the identification of gifted students with learning disabilities. *Psychol Sch* 2001;38(5):403-11, <http://dx.doi.org/10.1002/pits.1029>.
- [46] Brody LE, Mills CJ. Gifted children with learning disabilities: a review of the issues. *J Learn Disabil* 1997;30(3):282-96, <http://dx.doi.org/10.1177/002221949703000304>.
- [47] Pereira-Fradin M. Variabilité intra-individuelle chez les enfants à haut potentiel intellectuel. *Psychol Fr* 2004;49(1):253-66, <http://dx.doi.org/10.1016/j.psfr.2004.07.002>.
- [48] Jambaqué I. Contribution of developmental neuropsychology to the study of high potential subjects: a review of questions. *Psychol Fr* 2004;49(1):267-76.
- [49] Liratni M, Pry R. Psychométrie et WISC IV : quel avenir pour l'identification des enfants à haut potentiel intellectuel ? *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2007;55(1):214-9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurenf.2007.06.003>.
- [50] Alsop G. Asynchrony: intuitively valid and theoretically reliable. *Roeper Rev* 2003;25(3):118-27, <http://dx.doi.org/10.1080/02783190309554213>.

- [51] Mueller HH, Dash UN, Matheson DW, et al. WISC-R subtest patterning of below average, average, and above average IQ children: a metaanalysis. *Alberta J Educ Res* 1984;30(1):68-85.
- [52] Terrassier JC. Les enfants intellectuellement précoces. *Arch Pediatr* 2009;16(12):1603-6, <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcped.2009.07.019>.
- [53] De Lassalle CM, Lerens E, Mousset E, Kurzeja N, Poncin F, Charlier D, et al. Syndrome d'Asperger avec Haut Potentiel Intellectuel : le camouflage à l'origine des diagnostics tardifs ? *Evolution Psychiatr* 2021;86(1):167-79, <http://dx.doi.org/10.1016/j.evopsy.2020.06.012>.
- [54] American Psychiatric Association. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5*. 5th edn Washington, DC: American Psychiatric Publishing; 2013.
- [55] Wagner III WE. *Using IBM® SPSS® statistics for research methods and social science statistics*. 7th ed SAGE Publications; 2019.
- [56] Vaivre-Douret L. A new French scale for evaluating motor development in young children (0-4 years): benchmarks for clinical and research. *Devenir* 2003;15(2):179-89, <http://dx.doi.org/10.3917/dev.032.0179>.
- [57] Terriot K. De la définition théorique du haut potentiel intellectuel (HPI) aux conséquences pratiques. *ANAE* 30(154):265-270.
- [58] Schick H, Phillipson SN. Learning motivation and performance excellence in adolescents with high intellectual potential: what really matters? *High Abil Stud* 2009;20(1):15-37, <http://dx.doi.org/10.1080/13598130902879366>.
- [59] Simoes-Loureiro I, Lefebvre L, Vaivre-Douret L. Contribution of intellectual, psychological, developmental and socio-economical data to highlight specific profiles of highly gifted children. In: Kush JC, editor. *Intelligence quotient: testing, role of genetics and the environment a social outcomes*, 1. New-York: Nova publishers; 2013. p. 169-83 [(1)].
- [60] Thomas MS. A neurocomputational model of developmental trajectories of gifted children under a polygenic model: when are gifted children held back by poor environments? *Intelligence* 2018;69(1):200-12, <http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2018.06.008>.
- [61] Feinstein L. Inequality in the early cognitive development of British children in the 1970 cohort. *Econ* 2003;70(277):73-97, <http://dx.doi.org/10.1111/1468-0335.t01-1-00272>.
- [62] Reed TE, Jensen AR. Conduction velocity in a brain nerve pathway of normal adults correlates with intelligence level. *Intelligence* 1992;16(3-4):259-72, [http://dx.doi.org/10.1016/0160-2896\(92\)90009-G](http://dx.doi.org/10.1016/0160-2896(92)90009-G).
- [63] Navas-Sánchez FJ, Alemán-Gómez Y, Sánchez-Gonzalez J, et al. White matter microstructure correlates of mathematical giftedness and intelligence quotient. *Hum Brain Mapp* 2014;35(6):2619-31, <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.22355>.
- [64] Nusbaum F, Hannoun S, Koccevar G, et al. Hemispheric differences in white matter microstructure between two profiles of children with high intelligence quotient vs. controls: a tract-based spatial statistics study. *Front Neurosci* 2017;11(1):173, <http://dx.doi.org/10.3389/fnins.2017.00173>.
- [65] Martel K, Leroy-Collombel M. From chirping to the first word: role of preverbal skills in access to language. *Speech Ther* 2010;244(1):77-94.
- [66] Litrani M, Pry R. Profils psychométriques de 60 enfants à haut potentiel au WISC-IV. *Prat Psychol* 2012;18(1):63-74, <http://dx.doi.org/10.1016/j.prps.2011.01.006>.
- [67] Brasseur S, Goldschmidt I. WISC-V chez les jeunes à hauts potentiels intellectuels : constats, questions et usage clinique. *ANAE* 2020;169(1):693-701.
- [68] Silver SJ, Clampit MK. WISC-R profiles of high ability children: interpretation of verbal-performance discrepancies. *Gift Child Q* 1990;34(2):76-9, <http://dx.doi.org/10.1177/001698629003400205>.
- [69] Vaivre-Douret L, Hamdioui S, Cannafarina A. The Influence of IQ Levels on clinical features of developmental coordination disorder. *J Psychiatry Psychiatr Disord* 2020;4(4):218-34, <http://dx.doi.org/10.26502/jppd.2572-519X0107>.
- [70] Vaivre-Douret L, Lalanne C, Ingster-Moati I, et al. Subtypes of developmental dyspraxia and developmental coordination disorder (DCD): Research on their nature and etiology. *Dev Neuropsychol* 2013;36(1):614-43, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucli.2013.10.133>.
- [71] Alloway TP, Rajendran G, Archibald LMD. Working memory in children with developmental disorders. *J Learn Disabil* 2009;42(4):372-82, <http://dx.doi.org/10.1177/0022219409335214>.
- [72] Robert MP, Ingster-Moati I, Albuissou E, et al. Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children with developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2014;56(6):595-600, <http://dx.doi.org/10.1111/dmcn.12384>.
- [73] Wilson PH, McKenzie BE. Information processing deficits associated with developmental coordination disorder: a meta-analysis of research findings. *J Child Psychol Psychiatr* 1998;39(6):829-40, <http://dx.doi.org/10.1017/S0021963098002765>.
- [74] Sumner E, Pratt ML, Hill EL. Examining the cognitive profile of children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2016;56(1):10-7, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2016.05.012>.
- [75] Piek JP, Dyck MJ, Francis M, et al. Working memory, processing speed, and set-shifting in children with developmental coordination disorder and attention-deficit-hyperactivity disorder. *Dev Med Child Neurol* 2007;49(9):678-83, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00678.x>.
- [76] Vaivre-Douret L. Troubles moteurs sous-jacents au profil hétérogène du WISC-V chez l'enfant à haut potentiel : apports de l'évaluation neuropsychomotrice normée. *ANAE* 2020;169(1):683-92.
- [77] Kostogianni N, Andronikof A. Estime de soi et haut potentiel : une étude Rorschach système intégré. *Encephale* 2014;40(1):3-8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2013.01.001>.
- [78] Pilarinos V, Solomon CR. Parenting styles and adjustment in gifted children. *Gift Child Q* 2017;61(1):87-98, <http://dx.doi.org/10.1177/0016986216675351>.
- [79] Schoemaker MM, Kalverboer AF. Social and affective problems of children who are clumsy: how early do they begin? *Adapt Phys Activ Q* 1994;11(2):130-40.
- [80] Poulsen AA, Ziviani JM, Johnson H, Cuskelly M. Loneliness and life satisfaction of boys with developmental coordination disorder: the impact of leisure participation and perceived freedom in leisure. *Hum Mov Sci* 2008;27(2):325-43, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.004>.
- [81] Vaivre-Douret L, Hamdioui S. Understanding of the prevalence of depression in a sample of gifted children by identifying the developmental trajectory of risk and protective factors. *Eur Psychiatr* 2021;64(S1):S86-7, <http://dx.doi.org/10.1192/j.eurpsy.2021.257>.
- [82] Magnat J, Xavier J, Zammouri I, Cohen D. Troubles développementaux de la coordination (TDC) : perspective clinique et synthèse de l'état des connaissances. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2015;63(7):446-56, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurenf.2015.09.004>.
- [83] Vaivre-Douret L, Mazeau M, Jolly C, Huron C, Arnaud C, Gonzalez-Monge S, et al. L'expertise collective de l'INSERM sur le trouble développemental de la coordination (TDC) ou dyspraxie : état des principaux travaux et recommandations. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2021;69(6):311-30, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurenf.2021.07.002>.
- [84] Quartier V, Brodard F, Hanifi M, Stempfrel N, Roman P. L'évaluation clinique du TDAH : quelle place pour le WISC-V ? *ANAE* 2020;169(1):647-56.
- [85] Mazeau M, Glasel H. *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant*. Paris: Elsevier Masson; 2017.



Neurodevelopmental Disorder in a Child with High Intellectual Potential: Contribution of an Integrative Neuropsychomotor Standardized Assessment, Neuropsychological, and Eye-Tracking in a Single-Case Study

Soukaina Hamdioui^{1,2} · Matthieu P. Robert^{3,4,5} · Maxence Rateaux^{3,4,5} · Chantal Clourd^{2,6} · Laurence Vaivre-Douret^{2,7} 

Accepted: 28 December 2021

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature Switzerland AG 2022

Abstract

Objectives High intellectual potential (HIP) is not a protective factor neurodevelopmental disorder, particularly when the visuo-spatial (VSI) and possessing speed index (PSI) are significantly lower than verbal comprehension index (VCI) on WISC-V scale. We aimed to better understand the significance of the IQ profile heterogeneous in HIP, with the hypothesis that some neurodevelopmental disorders could explain this.

Methods In this observational analytical study, we present data from a single case of a girl aged 6 years and 3 months old, and assessed HIP with a heterogeneous profile on the WISC-V^{FR}. Pluridisciplinary investigations were used: neuropsychological, neuropsychomotor, neurovisual, and oculomotor assessments.

Results The WISC-V^{FR} scale showed a heterogeneous profile with 41 points of dissociation between high (VCI) and less scale (PSI), General Ability Index = 136. The selective auditory attention was normal, but selective visual attention was low (standard deviation = -1.15). Visual gnosis and discrimination were impaired for age. The mathematical abilities were impaired (SD = -2.25). Regarding neuromotor functions, we noted an axis tone hypotonia (-3.35 SD), with synkinesis and difficulties in dynamic balance (SD = -2.83), and in ideomotor praxis (SD = -3.02). Oculomotor recorded yielded the numerous micro-slides and micro-oscillations in fixation with a saccadic smooth pursuit.

Conclusions The findings showed that the HIP with a very heterogeneous IQ profile can conceal neurodevelopmental disorders with developmental coordination disorder (DCD) and different learning disabilities. The main brain implications were discussed. Moreover, our original clinical approach in the neuromotor field is to use a digital standardized developmental neuropsychomotor battery and eye-tracking, allowing clinicians to avoid scoring error bias and save considerable time for important clinical data.

Keywords High intellectual potential · Neurodevelopmental disorders · Heterogeneous IQ profile · Digital assessment of neuropsychomotor functions · Oculomotor functions

✉ Laurence Vaivre-Douret
laurence.vaivre-douret@inserm.fr

¹ Faculty of Society and Humanity, Department of Psychology, Université de Paris, Paris, France

² National Institute of Health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Faculty of Medicine, University of Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France

³ Department of Ophthalmology, Assistante Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker-Enfants Malades, Paris, France

⁴ Faculty of Health, Department of Medicine Paris Descartes, Université de Paris, Paris, France

⁵ Centre Borelli, UMR 9010, National Centre for Scientific Research (CNRS), Ecole Normale Supérieure (ENS Cachan), Army Health Service SSA, Université de Paris, Paris, France

⁶ Department of Child Psychiatry, Assistante Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker-Enfants Malades University Hospital, Paris, France

⁷ Faculty of Health, Department of Medicine Paris Descartes, Université de Paris, and Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France

High intellectual potential (HIP) was initially described by Terman (1925). There are many definitions in literature, but a consensus has been recommended by the World Health Organization (WHO, 1951) and based on the Wechsler psychometric scale ($IQ \geq 130$) (Wechsler, 2014). It is a standardized clinical test with five index scores, i.e., Verbal Comprehension Index (VCI), Visual Spatial Index (VSI), Fluid Reasoning Index (FRI), Working Memory Index (WMI), and Processing Speed Index (PSI), allowing to generate a Full-Scale Intelligence Quotient (FSIQ) representing general cognitive skills (Wechsler, 2014). Five ancillary index scores (Quantitative Reasoning Index “QRI,” the Auditory Working Memory Index “AWMI,” the Nonverbal Index “NVI,” the General Ability Index “GAI,” and the Cognitive Proficiency Index “CPI”) may be calculated to better understand the cognitive profile of children for special clinical purposes regarding comorbidity such as developmental language difficulties or developmental coordination disorder (DCD)/dyspraxia for example. Overall, the Wechsler scale is based on the evaluation of fluid and crystallized intelligence, but it is also made up of subtests using motor (block design, coding and symbols) and non-verbal abilities, in particular to perceive, analyze, and synthesize thought with visual material (in VSI and PSI). The 5th edition for children aged 6 to 16 years and 11 months (WISC-V), which was adapted in France in 2016 (WISC-V^{FR}), is the result of the evolution that has been imbued with recent studies in the neuroscience research field and asserts a stronger inclusion in the Cattell-Horn-Cattell (CHC) hierarchical theoretical model, based on the intellectual aptitudes (Grégoire, 2017).

The profile at WISC-V (Wechsler, 2016) is considered heterogeneous from 23 points when considering the maximum difference between the highest and the lowest index (Labouret & Grégoire, 2018). These authors explained that a difference of 23 points is only reached by 8 to 18% of the population, depending on the index scores. Nevertheless, when all the indices are taken into account, 52.8% of the population reach the 23-point difference. Thus, these authors defend the idea that the discrepancy in index scores on the WISC-V^{FR} population, without disorder, is common. However, this population had only been tested by the WISC-V^{FR} without any additional test that may attest to specific features or disorder. In HIP children, a significant dissociation between the index scores appears more frequently observed (Benbow & Minor, 1990). HIP children perform significantly better on all of the Wechsler intelligence scale subtests, but some of them show a significant dissociation between the verbal and other scores (Sweetland et al., 2006). However, the results of HIP children for the index scores (VCI, VSI, and FRI) are high with a lower WMI and PSI, although these last index scores are generally higher than neurotypical children without a HIP (Rowe et al., 2010; Wechsler, 2014).

Therefore, in HIP children, the current state of the literature does not reach consensus on the heterogeneity of the IQ profile. Certain authors (Alsop, 2003; Jambaqué, 2004; Liratni & Pry, 2007; Mueller et al., 1984; Pereira-Fradin, 2004) considered a heterogeneous IQ profile as a typical developmental characteristic specific to HIP. Gardner (1993) considered that heterogeneity of the IQ profile reflects different intelligences. Terrassier (2009) asserted a systematic psychomotor/intellectual disharmony in HIP children. Other authors showed that this heterogeneity could be explained by some overlooked neurodevelopmental disorders, such as DCD, dyslexia, dysgraphia, socio-cognitive, and psycho-affective difficulties, or neuromotor impairment (Boschi et al., 2016; Brody & Mills, 1997; De Lassalle et al., 2021; Guérolé et al., 2015; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020; Loureiro et al., 2009; Tordjman et al., 2018; Vaivre-Douret, 2004, 2020; Vaivre-Douret et al., 2011; Vaivre-Douret & Planche, 2020; Weismann-Arcache, 2006). Indeed, clinical research by the “Centre National d’Aide aux enfants et adolescents à Haut Potentiel (CNAHP)” (National Center for Helping Children and Adolescents with High Potential), in France, showed that academic difficulties are frequently found in a population of 611 HIP children in CNAHP (76.6%), of which the majority of children had a heterogeneous IQ profile, and represent the first reason for consultation (Tordjman & Kermarrec, 2019). In addition to studies based on a sample of HIP children, a few case studies have also shown that these children can have difficulties, especially in socio-emotional field impacting the learning abilities (Yaman & Sökmez, 2020). When we take a close look at the methodology of this study, we noted that it concerned a heterogeneous profile at WISC-IV scale with 128 in verbal, 147 in performance, and 141 in FSIQ (Yaman & Sökmez, 2020). Another case study demonstrated that HIP child with very heterogeneous IQ profile, with VCI higher than VSI and PSI, can have a comorbidity of a motor disorder never examined impacting learning abilities and therefore some index scores (Vaivre-Douret, 2020).

According to the DSM-5 (American Psychiatric Association: APA, 2013), learning disabilities are part of neurodevelopmental disorders, as are communication disorders, autism spectrum disorder, attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD), and developmental coordination disorder (DCD). They are a group of impairments that early begin during the developmental period and are characterized by developmental deficits that lead to impaired personal, social, academic, or professional functioning (APA, 2013). Due to their intelligence and their ability to compensate, particularly through a very high level of language, the functioning of a HIP child can hide other neurodevelopmental disorders, particularly DCD (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020; Vaivre-Douret et al., 2011; Vaivre-Douret et al., 2020), the VSI being more affected by DCD in HIP (Vaivre-Douret et al., 2020), the presence of a subtype of DCD decreasing the

IQ index scales and therefore also the FSIQ. This explains why HIP can be frequently overlooked. In this sense of the literature, Lecerf and Canivez (2018) already suggested a dominance of the general intelligence reflected by FSIQ and that psychologists should thus emphasize this factor to interpret the WISC-V^{FR}. Moreover, a recent WISC-V^{FR} factor analysis study found that the VSI and FRI scores are misleading because their analysis did not support the distinction between these two factors (Lecerf & Canivez, 2021). These authors specified that these results do not reject the theoretical distinction between FRI and VSI, but that such a distinction is not provided by WISC-V^{FR}. We can therefore deduce that if the VSI is more affected by DCD, the FRI is also affected and therefore the FSIQ which deserves an in-depth analysis in WISC-V^{FR} (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020; Lecerf & Canivez, 2018, 2021; Vaivre-Douret, 2020).

DCD is a non-verbal neuropsychological dysfunction, which can give rise to social, behavioral, and learning disabilities (Vaivre-Douret, 2002). Some studies have investigated the features of DCD, using the clustering method and multivariate analysis with strict inclusion criteria, and normative age-related data with a deep, standardized assessment including cognitive, neuromotor, and neurovisual tests, highlighting DCD subtypes with specific diagnostic markers (Lalanne et al., 2012; Vaivre-Douret, 2007; Vaivre-Douret et al., 2011; Vaivre-Douret et al., 2016, b). They identified two pure DCD subtypes—ideomotor-DCD (IM) (8%) and visuo-spatial/or visuo-constructional-DCD (VSC) (52%)—and a mixed subtype (MX) (40%). The authors showed that children with IM-DCD had significant alterations in manual praxis, digital perception, and imitation of gestures. The VSC subtype was characterized by impairments in visual spatial motor structuring and/or construction skills, and visual motor integration, while the MX subgroup shared impairments common with IM and VSC, with, in addition, poor manual dexterity, specific impairments in motor coordination of the lower and upper limbs, and neurological soft signs (NSS) suggesting synkinesis, adiadochokinesis, and other comorbidities (e.g., impaired executive function, impaired auditory memory).

These authors have recounted the impact of DCD on other learning fields, including logic/mathematics functions, reading, and handwriting. They have shown that all children in VSC and MX subtype had handwriting disorders. Vaivre-Douret et al. (2020) have identified a high rate of MX, low rate of IM, and VSC-DCD in HIP children compared to typical children with DCD, with 20% of mathematical difficulties (applying a calculation with a handwritten operation, geometry, problem to solve). Author studies confirmed that mathematics skills are particularly affected in DCD (Vaivre-Douret et al., 2011). DCD is also often associated with oculomotor specific abnormalities (Robert et al., 2014) and dyslexia, both being coordination difficulties; the former is a manifestation of articulatory control deficits and the latter is motor control disorder. According to Nicolson and

Fawcett (2011), these two disorders could well be due to a cerebellar dysfunction. O'Hare and Khalid (2002) confirmed that children with DCD may have phonological awareness difficulties involving cerebellar dysfunction and therefore confirmed that children with DCD should be evaluated for difficulties in phonological awareness.

From these elements of literature, we can quickly understand that it is essential to opt for an in-depth and multidisciplinary clinical evaluation with child consultants for learning disabilities. For example, authors have shown the importance of the developmental neuropsychomotor battery (NP-MOT) with age-related normative data (Vaivre-Douret, 2006) to detect soft neurological abnormalities, in particular cerebellar and corpus callosum abnormalities (Demily et al., 2019) or even temporal arachnoid cysts (Vaivre-Douret, Boschi, et al., 2016).

The argument being put forward is twofold: Firstly, that a significant discrepancy in index scores on the WISC-V can hinder the identification of HIP because one or two index scores in the average range brings down the FSIQ. Secondly, neurodevelopmental disorders in HIP children may be overlooked because a significant relative weakness in one index is masked by normative strengths in other index scores. This accounts for one of the limitations of the WISC-V, highlighting the importance of performing comprehensive assessments, especially when a child has significant dissociations on WISC-V index scores (Boschi et al. 2016; Brody & Mills, 1997; De Lassalle et al., 2021; Guénolet et al., 2015; Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020; Weismann-Arcache, 2006). In her case study, Vaivre-Douret (2020) highlighted the importance of carrying out comprehensive tests such as neuromotor and psycho-affective assessments, especially when a HIP child has significant discrepancies on WISC-V index scores. Indeed, the case study allows privileged access to rich data in real context, which contrasts with the experimental approach of the laboratory which focuses on the examination of a limited number of variables (Alexandre, 2013).

Thus, the aim of the current case study was to analyze IQ profile on the WISC-V^{FR} of a HIP child regarding neuropsychological, neuropsychomotor, and neurovisual assessments (as a complementary pluridisciplinary investigations), in order to better understand the significance of such discrepancy in index scores on the WISC-V with the hypothesis that some neurodevelopmental disorders could explain the heterogeneity.

Methods

Participant

A single case study of a girl aged 6 years 3 months old was employed and “Sarah” was used as a pseudonym to designate her. She was born by vaginal delivery with a weight of 4.78 kg and a height of 54 cm, her head circumference was

36 cm. Her APGAR score was 10 at 5 and 10 min. There was no complication at birth and in the perinatal period. In Sarah's medical history, we note a fall from the pram at the age of 2 months with a loss of consciousness of about 45 min; no neurological examination was carried out following this event. She had an ablation of tonsils and adenoids at age 5 years and a history of several rhinopharyngitis. She has no ophthalmological disorder. Steinert disease was noted in the family's clinical history. Tests show no difficulties related to sleep and feeding. From the psychomotor development point of view, she walked in the limits of the norm at 18 months without crawling and her mother reports that Sarah moved on her bottom before being able to stand up independently. She learned to ride bike without stabilizers at 4 years and 6 months, to dress at age 6, but she was described as a clumsy child having difficulties to tie her shoelaces and to button her coat. She learned to eat with a fork late at age 4, while still struggling to use all the cutlery and she tended to slump and changed position several times during homework according to her mother. Sarah was not keen on construction games, puzzles, drawing, cutting nor coloring; instead, she likes reading books.

Regarding communication and language, according to anamnestic data, during interaction, she has held steady eye contact since birth. Her spontaneous language is slightly disorganized. In the case of constrained language, she needs support to elaborate her discourse or ideas, which do not lack relevance. She understands quickly instructions during the assessment. Sarah speaks using informative syntactic structures correctly. Regarding behavior, she is comfortable with speaking with peers and understands humor. She is described as an easy-going person with a tendency to be hypersensitive. Regarding learning abilities, Sarah entered kindergarten at 3 years of age, where she learned to write in uppercase and cursive writing. Her teachers described her as a motivated and keen child who is learning to read despite confusing sounds. Understanding instructions if given to the whole classroom is difficult. She also presents issues with spatial and time awareness, mathematics, graphics, and manual work. Neuropsychological and neuropsychomotor assessments have been recommended for a suspicion of learning disabilities.

Procedure

To conduct this study, a number of pluridisciplinary investigations were used (neuropsychological, neuropsychomotor, neurovisual, and oculomotor assessments). Sarah was tested in three sessions: 2 h with a break for the first session, 1 h and 15 min for the second, and 40 min for the third session. The three sessions were playful and any moments of weariness were noted. She was motivated and involved during the three sessions.

Measures

Neuropsychological Assessment Sarah completed a standard measure of intelligence with the Wechsler Intelligence Scale for children, according to the age (WISC-V^{FR}) (Wechsler, 2016). The VCI, VSI, FRI, WMI, PSI, and FSIQ scores were expressed as standardized scores (mean 100, SD = 15). The test-retest reliability of the main indices on WISC-V^{FR} ranges from 0.87 to 0.93 and the internal consistency ranges from 0.80 to 0.91 (Wechsler, 2016). The selective auditory attention, recognition of the affects, and theory of mind were evaluated by the development neuropsychological assessment's subscale (NEPSY-II) (Korkman et al., 2003). The test-retest reliability is from 0.99 and the internal consistency is from 0.70 to 0.87 (Korkman et al., 2003). The scores were expressed as scaled scores (SS: <5 indicating deficit). The mental executive functions of planning were evaluated by the Porteus Labyrinth test (Korkman et al., 2003). The scores were expressed as an equivalent age. We evaluated the visual-spatial structuring by Rey's figure B (Wallon & Mesmin, 2009), a standardized and validated assessment with an adequate test-retest reliability and internal consistency from 0.91 to 0.98 (Wallon & Mesmin, 2009). The scores were expressed as a rank percentile (<10 percentile highlighting deficit). The visual motor integration was assessed by Motor VMI's subscale (Beery & Beery, 2010); the test-retest reliability is from 0.87 to 0.94 and the internal consistency is from 0.96 (Beery & Beery, 2010). The scores were expressed as standardized scores (< -2 standard deviation indicating deficit). The mathematical abilities were assessed by the standardized battery for evaluating number processing and arithmetic in children (ZAREKI-R) (Von Aster & Dellatolas, 2006) in order to explore number acquisition (verbal chain and counting), mental arithmetic, and transcoding (reading and writing of numbers), comparing numbers, operations, and problems. The test-retest reliability is from 0.5 and the internal consistency is from 0.76 to 0.88; the scores were expressed as standardized scores (Lafay & Cattini, 2018).

Auditory syntaxico-semantic understanding was evaluated by standardized test E.CO.S.SS.E (Lecocq, 1996) inspired by TROG (test for perception of grammar) (Bishop, 1983). Written language was evaluated by the EDA French adaptation scale of cognitive functions and learning (Billard & Touzin, 2012), to assess learning abilities of isolated letters, single syllables, complex vowels, familial words and logatoms, speed reading, and addressing procedures. Orthographic abilities of isolated letters, words, and syllables were evaluated by the same test. The test-retest reliability is from 0.5 and the internal consistency is from 0.43 to 0.88; the scores were expressed as standardized scores (Lafay & Cattini, 2018).

Handwriting abilities were assessed by the BHK French adaptation scale (Charles et al., 2003), including an

assessment of quality and writing speed, based on regular scoring (standard deviation: < 2 SD highlights the dysgraphia); the test-retest reliability is from 0.80 and the internal consistency with the dysgraphia scale of Ajuriaguerra et al. (1964) is from 0.68 (Charles et al., 2003).

Neuropsychomotor Function Assessment We completed the psychometric assessments through an investigation of neuropsychomotor functions using the developmental neuropsychomotor battery (NP-MOT) with age-related normative data (Vaivre-Douret, 2006) and generating the profile from the digital assessment with the “Neuralix Editions-Web application in medicine and neurosciences”® (Vaivre-Douret, 2021). It is applicable to children from age 4 years. It is a standardized and validated assessment and it has been found to have adequate test-retest reliability and internal consistency. Correlation coefficients of the NP-MOT with the Bruininks-Oseretsky Test Motor Proficiency (BOTMP) (Bruininks, 1978) range from 0.72 to 0.84, for motor coordination and balance (Vaivre-Douret et al., 2016, b). It allows physical standardized assessment of passive/active muscular tone of limbs and axial tone, highlighting NSS such as synkinesis, the presence of a pyramidal tract dysfunction (pyramidal stretch reflex: PSR), bodily spatial integration, basic motor function, control and regulation in gross motor tasks (gait, balance, coordination), laterality, manual dexterity, manual praxis, digital perception, rhythm, and auditory attention tasks, completed by imitation of gestures (Vaivre-Douret & Lalanne, 2019) for a synopsis of NP-MOT battery tasks. NP-MOT battery appears as a must-have tool completing the Wechsler IQ assessment (Vaivre-Douret, 2020).

Oculomotor and Neurovisual Assessment Quantified oculomotor function assessment was performed using Ober consulting eye-Tracker Eyefant® (Jazz Novo, 2018). The device records binocularly in the two planes: horizontal and vertical. The sampling frequency is 1000 Hz, the spatial resolution 0.1°. The linearity range is $\pm 35^\circ$ horizontally and $\pm 20^\circ$ vertically. The transmission of the data to the computer is Bluetooth-based, allowing for a very quick setup. Target and

stimuli were presented on a 19" computer screen placed 50 cm (19.6 inches) in front of the patient. Optokinetic nystagmus (OKN) (monocular and binocular) was assessed by presenting a paradigm composed of different-sized white spots on a black background screen. These targets were moving successively to the right and to the left to evaluate the horizontal OKN. For the other eye movements, a unique orange cat head was displayed on the screen and the patient was asked to keep her gaze straight on it. For the pursuit assessment, this target was moving sinusoidal (speed $15^\circ/s$) in the horizontal and the vertical planes (respectively 40° and 30°). Saccades of small and large amplitudes (respectively 15° and 30° horizontally and 10 and 20° vertically) were evaluated by the presentation of the target successively in the different gaze positions. Then, the quality of the fixation was assessed by displaying the target in the nine main positions of gaze (primary position, 20° left and right gaze, 15° up- and downgaze, and 25° eccentricity for the last positions “left and right up- and downgaze”).

Data visualization was performed by using the software JazzManager® V3.12 (Jazz Novo, 2018). The visual perception and the motor integration were evaluated by the Beery-VMI test (Beery & Beery, 2010). Visual gnosis was assessed by the shape recognition's subscale of the Kaufman Assessment Battery for Children (Kaufman & Kaufman, 1993). Visual discrimination and perception were assessed with tangled lines and naming of animals seen in outline from the rear and outlines of mud fruits (standardized and normed tests) (Vaivre-Douret et al., 2011).

Results

The psychometric assessment showed a heterogeneous profile on WISC-V with 41 points of dissociation between high (VCI) and less scale (PSI), $GAI = 136$ (Table 1). In fact, scoring was higher in VCI and FRI, implying above-average cognitive abilities, and elaborate and quick thinking. Table 2 shows the scaled scores (SS) of the main subtests. On “Block

Table 1 Sarah's scale scores on Wechsler psychometric scale (WISC-V FR: Wechsler, 2016)

Indices	Index score	Percentile rank	Confidence interval 95%
Verbal Comprehension Index (VCI)	130	98	117–135
Visual Spatial Index (VSI)	116	86	105–123
Fluid Reasoning Index (FRI)	144	99.8	134–148
Working Memory Index (WMI)	127	96	115–133
Processing Speed Index (PSI)	89	23	81–100
Full IQ (FIQ)	129	97	121–134
General Ability Index (GAI)	136	99	128–140

Table 2 Sarah's scaled scores on the main subtests of Wechsler psychometric scale (WISC-V FR: Wechsler, 2016)

Subtests	Scaled scores
Block design	12
Similarities	17
Matrix reasoning	17
Digit span	15
Coding	6
Vocabulary	14
Figure weights	18
Visual puzzles	14
Picture span	15
Symbol	10

Design,” “Visual Puzzles,” “Matrix Reasoning,” and Figure Weights” subtests, Sarah used a planification and an analogical and hypothetico-deductive reasoning through evocation by internal language.

Table 3 shows the results of complementary neuropsychological assessments. We noticed that Sarah used planification through evocation by internal language on visual constructive tests. Her planning abilities were superior for age (equivalent age: 7 years old). Regarding language abilities, the results showed that phonology and metaphonology (locating syllables and manipulation) related to internal representations and predictor for reading acquisition were very efficient ($SD = +2$). However, reading sentences and text on EDA test was marked by visual errors

and difficulties to follow the line and pass to the next one. Access to meaning is possible with a significant increased time. The task is expensive on an attentional level. The activity was effortful, with a high cognitive cost regarding speed and addressing procedures of reading.

Figure 1 shows the results of the profile with neuropsychomotor function assessment from “Neuralix Editions-Web application in medicine and neurosciences”:

Physical Assessment and Passive-Active Muscular Tone Head circumference was within the norm and there was no anomaly regarding cranial sutures and squamous. We did not find any dysmorphic features of the face, including the palate. Spine was normal on sagittal and frontal levels. No anomaly of the feet (no varus, splayfoot, metatarsus) and knees (tragopodia, genu varum, back knee, uneven length) was noticed. Examining passive muscular tone, the extensibility of popliteal angles (110°) and adductors (130°) were within the norm. However, the extensibility of the angle between ear and heel was limited for her age (80°), being $+1.67$ SD lower than the average. Foot's extensibility during dorsiflexion showed the average results (right foot = 75° , left foot = 70°) without the pyramidal distal disorder. Examining passive-muscular tone, on the upper limbs, there was no braking when dangling arms. On lower limbs, we highlighted stiffness during passive mobilization (paratonia). We found a similar big amplitude between extension and flexion of the trunk, but an axis hypotonia was noted, resulting in a significantly lower score than other children of her age ($SS = 2/4^*$). Besides, knee jerk reflex, left and right, were

Table 3 Results of complementary neuropsychological assessments in Sarah's profile

Abilities	Test	Standard scores of percentile rank
Visual motor integration	Beery VMI	+0.60
Visual-spatial structuring	Rey's figure B:	+0.01
Auditory syntaxico-semantic understanding and auditory-verbal memory	E.CO.S.SS.E	+2
Selective auditory attention	NEPSY-II	-1.15
Learning performances	EDA	+0.3
Speed and addressing procedures of reading	EDA	-1.4
Orthographic abilities of isolated letters, words, and syllables	EDA	+0.7
Handwriting abilities	BHK	+0.13
Speed handwriting	BHK	-0.32
Mathematical abilities on visuospatial support	ZAREKI-R	-2.25
Mathematical abilities on verbal support	ZAREKI-R	+2
Theory of mind	NEPSY-II	51-75
Abilities of recognition of affects	NEPSY-II	51-75

E.CO.S.SS.E: auditory syntaxico-semantic understanding test; EDA: written language scale; ZAREKI-R: standardized battery for evaluating number processing and arithmetic in children; NEPSY-II: neuropsychological assessment's subscale; VMI: visual motor integration subscale test; BHK: child handwriting rapid assessment scale (french adaptation)

below average (right leg = -4.44 SD; left leg = -3.74 SD). Moreover, sitting tone and push control was impaired on the fourth push (-3.35 SD). Regarding active muscular tone, Sarah showed synkinesis with a predominance on her right hemibody (adiadochokinesia: -1.3 SD; $SS = 1/4^*$) to the unilateral prono-supination subscale.

Laterality (Upper-Lower, Tonic, Functional, Psychosocial, Spontaneous Gesture, and Visual) Manual tonic laterality was based on the passive muscular tone (dangling, extensibility). Sarah was right-handed on a tonic laterality level, but unassertive on the right side due to the tonic distal non-differentiation of upper limbs (resistance equivalent to extensibility on the shoulder). However, her profile of spontaneous gesture manual laterality favors dextrality; psychosocial laterality was asserted on the right side, her functional laterality was also focused on the right side. This highlights a homogeneous right-handed profile of laterality. Concerning lower limbs, she displayed a pedestrian tonic laterality asserted on the right side, which is abnormal as this laterality is usually crossed. The pedestrian functional laterality was also asserted on the right side, fitting a right-handed profile. The preferential eye was the left one.

Control and Regulation in Gross Motor Tasks Dynamic balance (walking on a line) ($SD = -2.83$) was challenging for Sarah without global coordination disorder. Her score at static balance was low for her age ($SD = -0.93$). Regarding rhythmic tasks, we found regular results regarding spontaneous tempo despite slowness ($SD = +0.43$). The adaptation to the visual-kinesthetic rhythms is regular for her age ($SD = +0.91$). However, the adaptation to the auditory-perceptive-motor rhythms was difficult for her ($SD = -1.1$; $SS = 1/4^*$). She shows a slowness regarding synchronization of hit and the walk to auditory-perceptive-motor rhythms.

Praxis, Gnosopraxies, and Hand-Eye Abilities Bimanual symmetric and asymmetric pronation-supination were impaired with asynchronized movements; such moves were difficult for Sarah, who showed a motor control still proximal ($SD = -2.4$). However, gnosopraxies imitating hand and finger gestures are within the norm for her age (hand: $SS = 3/4^*$; $SD = +0.42$; finger: $SS = 2/5^*$; $SD = -0.43$). Tongue and facial praxis were also average. Digital praxis of her right hand were impaired for her age ($SD = -3.02$), her left-hand praxis was 1 SD below the average. The thumb-index touch subscale was compromised for both hands (right-hand $SD = -2.34$; left hand $SD = -2.64$). The thumb-finger opposition tasks showed regular results for both hands (right hand: $SS = 1/4^*$; $SD = -0.6$; left hand: $SS = 2/4^*$; $SD = -0.61$). Mimes' representational gestures were also average ($SD = +0.49$). Her hand-eye abilities were within the norm for the right hand ($SD = -0.2$) showing good gestures without difficulty grasping objects along with a good hand-eye coordination. Sarah

had a lower average score for her age with some slowness ($SD = -0.87$). Her dominance index is $+0.14$, showing dextrality.

Bodily Spatial Orientation Sarah had good fundamentals of spatial knowledges for her age (e.g., inside/outside). She showed a good orientation related to herself ($SD = +0.46$). She integrates normally the spatial orientation on the others ($SD = -0.5$); her spatial orientation related to objects was very good for age (for two objects: $SD = +8 > 2SD$. Three objects; $SD = +0.64$). She managed to reproduce the three postures at the proprioception subscale. Finally, the auditory attention task showed that her maintained and selective auditory attentions were disturbed ($SD = -0.82$).

Oculomotor recordings yielded a stable and good binocular fixation despite numerous micro-slides, micro-oscillations, and micro-saccades (Fig. 2). OKN was within normal limits for age about both eyes (Ingster-Moati et al., 2009). The majority of horizontal and vertical saccades were precise with normal morphology, but sometimes they can be hypo- or hypermetric. Horizontal and vertical smooth pursuits were moderately saccadic, within the normal limits for age (Ingster-Moati et al., 2009). Regarding neurovisual abilities, the visual perception and the motor integration results at the Beery-VMI test were average (Beery & Beery, 2010). Visual gnosis were impaired for her age, according to the results of the Kaufman Assessment Battery for Children (K-ABC: shape recognition; $SS = 4$) (Kaufman & Kaufman, 1993). She also had issues to recognize the tangled fruits ($SD = -1.22$) and the animal silhouettes ($SD = -3.55$) standardized visual discrimination subscales, the overall score ($SD = -3.04$).

Discussion

In this case study, a 6-year-old child referred HIP with a heterogeneous profile on the WISC-V^{FR} scale with 41 points of dissociation between the highest (VCI) and the lowest index (PSI). This led us to assess the complementary GAI, which showed a score of 136 objectifying a HIP with some neurodevelopmental disorders. Sarah had an excellent level of analogical and hypothetico-deductive reasoning, and categorical and verbal abstraction reasoning, as well as good executive functions and working memory (Korkman et al., 2003; Wechsler, 2016). VSI is one of the lower index scores in Sarah's profile, but FRI is higher despite its visuospatial difficulties. Indeed, she used an analogical and hypothetico-deductive reasoning through evocation by internal language capacities in this subtest allowing a very effective cognitive treatment despite its visuospatial and mathematical difficulties. Thus, Sarah used a very good compensation strategy.

The NP-MOT assessment (Vaivre-Douret, 2006) showed that she did not present a motor dysfunction of the pyramidal

		ZScore	-2σ	-1σ	M	+1σ	+2σ	Score	
PHYSICAL OBSERVATIONS	Head circumference	*						-	
	Height	*						-	
	Weight	*						-	
	Squamous cranial sutures		Right : Normal, Left : Normal						
PASSIVE MUSCULAR TONE	Dangling of wrist (Resistance R>L)	0.49						3/3	
	Dangling of foot (Resistance R>L)	0.38						3/3	
	Shoulder extensibility (Resistance R=L)	-2.27*						1/3*	
	Wrist extensibility (Resistance R>L) (R: 100°; L: 110°)	0.62						3/3	
	Popliteal angles (R: 110°; L: 110°)	0.38						3/3	
	Adductors angles (130°)	0.51						3/3	
	Heel-ear angle (80°)	-1.67						1/3*	
	Extensibility of foot dorsi-flexion angle (Stretch reflex) (R>L)	0.63						3/3	
	Stretch reflex (R: 75°; L: 70°) Right foot Left foot								
	Spasticity No No								
	Phasic spasticity : No No								
	Tonic spasticity : No No								
Trunk extensibility (Hypotonia)	-0.32							2/4*	
Passive mobilization	-0.52							2/3*	
ACTIVE MUSCULAR TONE : SYNKINESIS	Synkinesis (3 tests)	-1.38						1/4*	
	Synkinesis right hemibody	-1.3						1/4*	
	Synkinesis left hemibody	-1.08						1/3*	
SITTING TONE	Four pushes (Fail : Right, Left, Behind)	-3.35*						1/3*	
STANDING TONE	Foot contraction (R>L)	0.32						2/2	
PATELLAR REFLEXES	Right leg Reflex hard to determine or impaired	-4.44*						1/3*	
	Left leg Reflex hard to determine or impaired	-3.74*						1/3*	
TONIC LATERALITY	Manual (Not affirmed tonic dextrality)	-0.3						-	
	Pedestrian (Affirmed dextrality)	0.8						-	
	Laterality homogeneity between upper and lower limbs		Homogenous						
FUNCTIONAL LATERALITY	3 manual lateralities (asserted right-handed)	0.13						-	
	Gestual : R>L; Usual : R>L; Psychosocial : R>L								
	Pedestrian (R>L)	0.44						-	
	Director eye dominant (L>R)	0.63						-	
GROSS MOTOR	Upper and lower limbs coordination	0.62						3/3	
	Jump of 20cm high : Coordination between limbs = Symmetry (back to front), Posture = stable stop, both feet								
	Dynamic balance (steps)	-2.83*						1/5*	
	Static balance	-0.93						2/3*	
MANUAL PRAXIS	Bimanual symmetrical pronation-supination	-2.4*						1/3*	
	Bimanual asymmetrical pronation-supination	-1.09						1/4*	
	Successive touching thumb to fingertips right	-2.34*						1/4*	
	Successive touching thumb to fingertips left	-2.64*						1/4*	
	Index finger-thumb right	-0.61						1/4*	
	Index finger-thumb left	-0.61						2/4*	
	Representational gestures	0.49						-	
	Hands gnosispraxis	0.42						3/4*	
	Fingers gnosispraxis	-0.43						2/5*	
GNOSIS	Digital tactile stimuli right	-3.02*						1/3*	
	Digital tactile stimuli left	-1						2/3*	
OCCULO-MANUAL SKILLS	Right hand oculo-manual performances	-0.2						2/4*	
	Left hand oculo-manual performances	-0.87						2/4*	
	Dominance index (Dextrality)	0.14						-	
BODILY SPATIAL INTEGRATION	On self	0.46						3/4*	
	On other	-0.5						3/4*	
	2 objects	8						3/3	
	3 objects	0.64						3/4*	
	Map direction	-0.49						2/5*	
RHYTHMIC TASKS	Spontaneous rate of regular hand taps	0.43						3/4*	
	Auditory-visual-kinesthetic adaptation task via imitation of examiner tapping pattern	0.91						3/3	
	Auditory-perceptual-motor rhythmic adaptation with metronome speed at 90, 60 and 120	-1.1						1/4*	
AUDITORY-ATTENTION-TASK	Series of taps in go/no-go	-0.82						2/4*	

Fig. 1 Sarah’s profile of neuropsychomotor functions assessment from “Neuralix Editions-Web application in medicine and neurosciences” © (Vaivre-Douret, 2021)

tract (absence of PSR) nor dysgraphia, but it revealed IM-DCD, exhibiting significant diagnosis markers with deficits in manual praxis, digital perception, and imitation of gestures (Lalanne et al., 2012; Vaivre-Douret, 2007; Vaivre-Douret et al., 2011; Vaivre-Douret et al., 2016, b). In the literature, Vaivre-Douret et al. (2020) identified 5% of IM, 37% of VSC DCD, and 58% of MX in HIP children compared to typical children with DCD (11% of IM, 68% of VSC, and 21% of MX). The IM-DCD hinders the planning and programming of the movement, which partly explains this heterogeneity in Sarah’s cognitive profile in terms of her slowness, fatigability, and the reduced processing speed. She also

exhibited impairment of weak knee jerk reflex related to her distal and axial hypotonia shown at the muscle tone examination of the NP-MOT battery, and to her sitting tone control that was failed on the fourth pushes. This is to be linked to the attentional fluctuations due to her tendency to slump and change position several times during homework for example, generating fatigue in containing oneself. Bodensteiner (2008) stated that lesions of the median cerebellum may be mainly related to axial hypotonia. Indeed, the cerebellum is known to participate in the regulation of the muscle tone. Moreover, certain soft lesions of the motor unit of the muscles can affect either the afferent or the efferent limb of the reflex arc, or the muscle itself. These lesions almost always result in the loss of the myotatic reflex (Bodensteiner, 2008) as we have found in Sarah. She also presented an interhemispheric coordination disorder evidenced by global dynamic

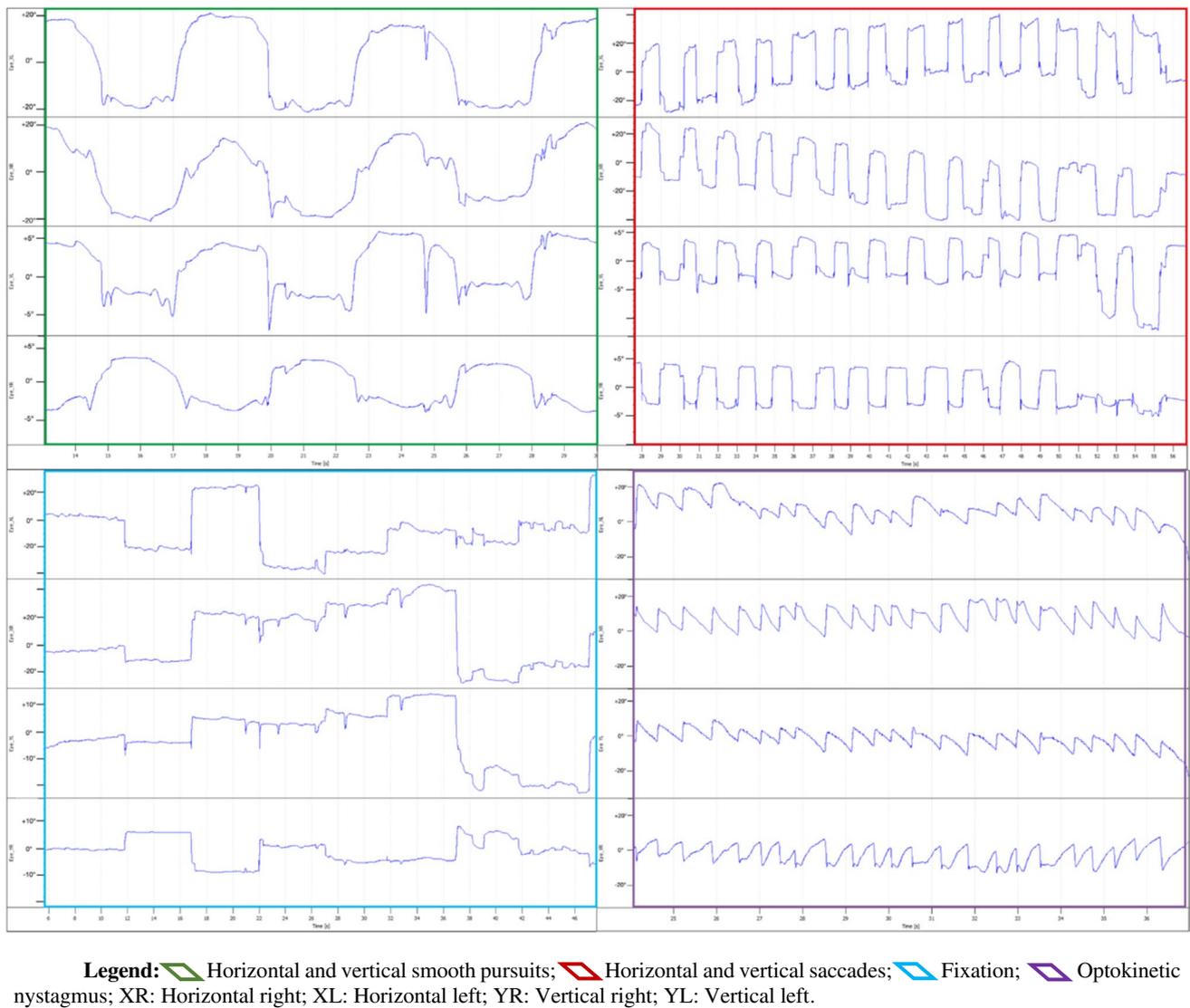


Fig. 2 Sarah’s profile of oculomotor recordings from eye-tracker Eyefant® (Jazz Novo, 2018)

balance and rhythm disorders. In addition, her active muscular tone was impaired with numerous synkinesis on the unilateral pronosupination subscale at the NP-MOT. Vaivre-Douret et al. (2011) asserted that dynamic balance disorder in IM-DCD is often related to an impairment of postural control and axial hypotonia. Thus, all this semiology leads us to hypothesize the involvement of regions that have traditionally been understood as essential for the control and expression of movement, tonic regulation, and balance, involving the basal ganglia and the cerebellum (Kozioł & Barker, 2013) as demonstrated in IM-DCD (Lundy-Ekman et al., 1991; Vaivre-Douret et al., 2011), although synkinesis has been reported in learning disabilities (Neeper & Greenwood, 1987), and they appear more present in HIP children with DCD children (84%) than in neurotypical children with DCD (37%) (Vaivre-Douret et al., 2020). This finding is in accordance with the well-known high incidence of neurological soft signs in HIP children (Lopez et al., 2017) suggesting probably more involvement of cerebellum functioning in these children.

Moreover, the cerebellum is also involved in oculomotor control (Manto et al., 2012) which is consistent with Sarah's clinical profile with neurovisual and oculomotor abnormalities (Ingster-Moati et al., 2009; Kaufman & Kaufman, 1993). On one hand, she had difficulties turning abstract stimuli into real objects, implying diminished gnosis abilities and visual occlusion, although she had a good access to vocabulary. This points to an impairment in visual discrimination and mental representation (Kaufman & Kaufman, 1993; Vaivre-Douret et al., 2020). Milner and Goodale (2008) proposed a model based on the two cortical pathways providing "vision for action" and "vision for perception"; the latter would be involved in the visual gnosis and visual discrimination impairments in Sarah in link with her mental representation difficulties. On the other hand, she showed numerous microdrifts, micro-oscillations, and micro-saccades on binocular fixation, a combination of hypo- and hypermetric saccades, a horizontal and vertical smooth pursuit moderately saccadic, in addition to an OKN which was within normal limits for age about the both eyes (Ingster-Moati et al., 2009). Eye movement control in optimizing by a complex neural network conjugated around the cerebellum (Kheradmand & Zee, 2011). Previous studies reported that specific anomalies can be associated with discrete lesions of cerebellum, such as the caudal fastigial nuclei involved in the pursuit disorders or saccadic dysmetria (Bourrelly et al., 2018). OKN corresponding to the response of the optokinetic system and the smooth-pursuit system, within the normal waveform, can be explained by a dysfunction of the pursuit control involved by the cerebellum (Leigh & Zee, 2015).

However, some studies have demonstrated neurovisual and oculomotor impairments in DCD children with a deficit in maintaining engagement in smooth pursuit and fixation

compared to controls (Katschmarsky et al., 2001; Robert et al., 2014), although Ferraro and Castelnovo (2015) specified that some oculomotor abnormalities on oculo-graphy (like in inflammation of the central nervous system) indicating lesions are not visible on cerebral magnetic resonance imaging (MRI). Takagi et al. (2000) have confirmed that the cerebellar vermis plays a critical role both in adaptive control of pursuit as for saccades. They specified that saccadic dysmetria would be a characteristic sign of lesions since the dorsal vermis and the underlying posterior fastigial nuclei calibrate the amplitude of the saccades and the initiation of the pursuit (Takagi et al., 2000). Goulème et al. (2018) also evoked a deficient integration of motor and sensory information in the cerebellum, which may explain both disorders of muscular tone and postural control as of oculomotor functions in children with learning disabilities, as in Sarah's case.

These neurovisual impairments involve Sarah's learning disabilities, including mathematical difficulties, the field in which she had better verbal performances, having an excellent auditory syntaxico-semantic understanding, an evocation through internal language evocation, and an excellent auditory-verbal memory, while results in the other subtests requiring visuospatial abilities were significantly lower. This is in accordance with the literature; recent studies showed the impact of DCD and comorbidity with neurovisual disorders on learning abilities, particularly in the field of mathematics (calculation with a handwritten operation, geometry, problem to solve) (Vaivre-Douret et al., 2020). However, Sarah had an excellent score in "Figure Weights" subtest of the WISC-V^{FR}, requiring quantitative reasoning. Indeed, she used an analogical and hypothetico-deductive reasoning through evocation by internal language capacities, allowing a good compensation strategy with a very effective treatment despite its visuospatial and mathematical difficulties.

Mathematics is a complex activity that requires a contribution of general and specific abilities: fluid intelligence, executive functions, working memory. These three would be the main predictors of mathematical development and achievement (Geary et al., 2009). Logico-mathematical function disorders are often linked to other cognitive disorders located upstream and seem to be at the origin of learning disorders, in particular symptoms of DCD, ADHD, and executive function disorders according to the DSM-5 (APA, 2013). Thus, a visuo-attentional or visuo-spatial disorder would be responsible for the spatial dyscalculia often associated with a DCD and/or dysgraphia, while a linguistic skill disorder would be at the origin of linguistic dyscalculia, often associated with dyslexia (Bosse et al., 2007; Habib, 2020; Lobier et al., 2012). According to Mazeau (2005), there are four forms of logical-mathematical function disorders, and we can distinguish the visuo-practo-spatial dyscalculia affecting the visual, praxis, or temporal-spatial aspect of mathematical processing. This is congruent with Sarah's

profile, having difficulties in perceptual visual evaluation of length, in counting activities, when writing/reading large numbers, to perform mathematical operations, to construct and use double entry tables, and to build coordinated diagrams. Moreover, previous studies described two components of working memory: the phonological one contributes to the encoding of numeral and number words and to some aspects in understanding of problems. The visual-spatial one is involved to visualize and represent mentally some qualities of the number line. Recent evidence suggested that children with developmental dyscalculia (or specific impairment of mathematical ability) have deficits in visual-spatial working memory (Morsanyi & Szűcs, 2014). In the current case study, we explored part of counting skills, addition and subtraction operations, and numerical estimation. The results raise the hypothesis of the role of the perceptual factor and visuospatial working memory here called upon in the task of estimating quantities and subsequently in the acquisition of numerical facts. In this case study, only the setting of operations was deficient while arithmetic resolution was normal for age.

Furthermore, in the acquisition of numbers, researchers are interested in a procedure for visual estimation of quantities (Approximate Number System, ANS), an innate ability of the baby that evolves and asserts itself under the influence of age and school learning (Mazeau & Pouhet, 2014). This skill is perceptive: subitizing is a capacity of seeing at once a quantity in a single ocular fixation without using counting. It would be based on a general perceptual mechanism allowing an analog mental representation of quantities and giving access to a figurative representation. According to De Hevia et al. (2008), the mental representation of space is the support of the organization of numbers. This could explain the link between the difficulties of mental representation related to the neurovisual disorders of Sarah and her difficulties in mathematics.

Otherwise, her reading and language performances were normative for age, but the speed and addressing procedures of reading were low, probably due to slowing down of neurovisual processing. Her phonology and metaphonology performances were very efficient but we noted specific visual errors and slowness. This delay in acquisition procedures would be in relation to neurovisual and oculomotor disorders causing a visual attentional difficulty and not with phonological abilities. This fine interpretation seems to be consistent with the literature (Valdois et al., 2011). Reading is a complex task involving skills in phonological awareness, in short-term phonological memory (temporary storage of verbal information) and in visual input of information (organization of gaze, rapid movements and displacements, eye jerks, and fixation) (Bradley & Bryant, 1978). Phonological awareness and short-term memory would be the predictors of learning. Deficits are often long lasting. Children with

DCD or with specific reading delays perform poorly in these areas. Valdois et al. (2003) suggested a dissociation between phonological disorders and visual-attentional disorders, with some children showing failures in visual-attentional tasks (in the detection of targets with a low visual span) associated with oculomotor disorders. The visual-attention span (VAS) allowing the capture of each word in a text would be a decisive factor to be able to perform the cognitive processing of the identification of the orthographic form of the word (Bosse et al., 2007). Children acquire visual-attention skills underlying acquisitions around 7–8 years of age, and it does not solely depend to poor reading experience (Lobier & Valdois, 2015). Otherwise, oculomotor abnormalities due to maturation deficits have been reported in children with DCD (Ingster-Moati et al., 2009; Yang & McConkie, 2001), as well as visual-attentional abnormalities of rapid processing of successive stimuli and abnormal distribution of visual attention. This would better support the findings of Sarah's profile.

According to the initial medical purpose for the Sarah's investigation, we could have thought of an overall cognitive disability. Once assessed on the WISC-V, we could have been deceived by her FSIQ and GAI (= 136), with good scores on all index scores except PSI (= 89). However, there is a significant dissociation of 41 points of difference between the highest (VCI = 130) and the lowest index (PSI) underlining a notable weakness in the PSI index even if the latter remains in the norm. The two subtests that make up the PSI were coding (SS = 6) and symbols (SS = 10). The first was in the low average and the second was in the average, which appear to be offset by Sarah's working memory and attention planning abilities, which could go unnoticed by the visual and oculomotor motor components, underlying clinical markers of DCD and neurovisual disorder. The risk of comorbidity in DCD is well established (Antshel, et al., 2007; Brody & Mills, 1997; Hartnett et al., 2004; Gomez et al., 2019); it is important not to neglect comorbidity's influence on IQ scores for high IQ children as it might lower the FSIQ (120–129) (Hamdioui & Vaivre-Douret, 2020; Loureiro et al., 2009; Tordjman et al., 2018; Tordjman & Kermarrec, 2019; Vaivre-Douret, 2004).

From the psycho-affective and psycho-social point of view, Sarah was a hypersensitive child with good theory of mind abilities for her age, good emotional intelligence, and good ability to represent other's thoughts, having access to other beliefs outside her knowledge and her immediate perception of the rest of the world. She can easily understand false beliefs of the second order. Moreover, this child makes a lot of efforts to adapt to environmental expectations and requirements, particularly parental and schooling, but there is a cost to this compensation investment that can have consequences on the psycho-affective development. Vaivre-Douret (2019) warned about

specific learning disabilities that could be overlooked and result in symptoms of proven depression, with a high rate of these features in HIP children.

In view of the anamnestic data, the family history (the presence of Steinert Disease in the family's clinical history), all clinical atypical findings about neuromotor and praxis (hypotonia, IM-DCD, NSS), and electrophysiological abnormalities (oculomotor and neurovisual), the repercussion on Sarah's daily life and learning, we recommended a genetic consultation and MRI 3D with fiber tracking, and a follow-up throughout Sarah's development initiating a prophylactic approach. Rehabilitation in speech therapy and logical-mathematic have been prescribed. Moreover, physiotherapy care is scheduled to strengthen muscle tone in order to prevent possible osteomuscular deformities. A school adaptation allowing to express her HIP as an asset while taking into account her disabilities was also carried out.

The high IQ is not a protective factor for neurodevelopmental disorders because they may be present as well as in children with typical development, particularly when the VSI and PSI are significantly lower than VCI in HIP child (Vaivre-Douret, 2004; Tordjman et al., 2018). Thus, it appears relevant to investigate in deep all the cerebral functions including standardized neuropsychomotor and oculomotor functions to avoid misdiagnosis. These findings question the theories of intelligence attributing multiple intelligences with specific abilities such as linguistic, spatial, or logico-mathematical intelligence (Gardner, 1993), and to consider the heterogeneous IQ profile as normative in HIP child (Grégoire, 2012; Jambaqué, 2004; Liratni & Pry, 2007; Mueller et al., 1984; Pereira-Fradin, 2004; Terrassier, 2009). Our investigations in the motor field used automatized scoring with qualitative and quantitative neurodevelopmental measures (digital NP-MOT battery, Eye-tracking) that have allowed no bias of scoring error and a saving of time for the clinicians. These fine digital scorings are the results of new robust tools useful in clinical decision-making processes for diagnosis and remediation rather than settle for only global measures of performance such as IQ (Wechsler, 2016) or the Movement Assessment Battery (M-ABC-2) (Henderson et al., 2007) involving a better understanding of the etiology. Indeed, more often, a global motor scale of performance is used without consideration of the developmental qualitative and quantitative features in the score as in NP-MOT.

Furthermore, although this in-depth assessment protocol holds great promise for understanding the profile of the HIP children, it may also help to better understand the functioning of other neurotypical children with neurodevelopmental disorders if the WISC scale is also significantly heterogeneous. Moreover, our clinical approach is very useful for the early diagnosis of asymptomatic pathologies such as arachnoid cysts (Vaivre-Douret, Boschi, et al., 2016) or in

genetics. This is an original clinical phenotyping approach with interesting perspectives that can help to a better understanding of the children's neuropsychological profiles and of the disease mechanisms such as in neonatal diabetes mellitus, which has led to a better understanding of genotyping thanks to the clinical phenotypes (Busiah et al., 2013) or in Charge syndrome (Lasserre et al., 2013), ARID-1B mutations (Demily et al., 2019).

This study presents a pluridisciplinary approach promising results for assessing and understanding the functioning of children with HIP, and does contribute to the existing research on this topic and to help practitioners in their clinical analysis. However, some limits could be noted; given that the investigation is multidisciplinary, it requires a number of standardized assessments which may seem tiring for the child. Indeed, the evaluations must be pleasant, playful because of variations between a cognitive and a motor implication, and spent in several sessions. Generally, the children enjoyed our multidisciplinary approach. They can also be shared between a neuropsychologist, an orthoptist or ophthalmologist, an occupational therapist/psychomotor therapist, a pediatrician, a child psychiatrist, etc. It would be relevant to replicate this study on a sample of HIP children in order to highlight the clinical phenotype.

Acknowledgements We are grateful to the child Sarah and her family who took part in the study and have allowed to publish the case study.

Author Contribution S. H. conceived the study, analyzed and interpreted the data, wrote the manuscript, revised and approved the final editing of the paper. M. P. R. collaborated with the interpretation of results and in the revision of the manuscript. M. R. collaborated with the interpretation of eye-tracking results. C. C. collaborated with the design and the analysis of the data, and in the revised manuscript. L. V. D. collaborated with the design of the study, the analysis of results, and the writing of the manuscript, and approved the final editing of the manuscript.

Funding This research was supported by the "Institut Universitaire de France (IUF)" (grant numbers L17P99, IUF004) and by the "Fondation pour la Recherche en Psychomotricité et Maladies de Civilisation (FRPMC) of the Fondation de France," and the "Association Nationale Recherche et Technologie (ANRT)."

Declarations

Ethical Approval The Institutional Ethic Committee of Université de Paris approved the study (CER-PD 2019-93).

Informed Consent The participant provided written informed consent before starting the study, signed by a parent and the child before enrollment in the study.

Conflict of Interest The authors declare no competing interests.

Disclaimer The funding sources were not involved in the study design, the collections, analysis, and interpretation of data, the report writing, or the decision to submit the article for publication.

References

- Ajuriaguerra, J., Auzias, M., Coumes, L., Lavondes-Monod, V., Perron, M., & Stambak, M. (1964). *L'écriture de l'enfant : L'évolution de l'écriture et ses difficultés [Children's Writing : The evolution of writing and its difficulties]*. Delachaux et Nestlé.
- Alexandre, M. (2013). La rigueur scientifique du dispositif méthodologique d'une étude de cas multiple [The scientific rigor of the methodological device of a multiple case study]. *Recherches Qualitatives*, 32(1), 26–56. <http://www.recherche-qualitative.qc.ca/Revue.html>.
- Alsop, G. (2003). Asynchrony: Intuitively valid and theoretically reliable. *Roeper Review*, 25(3), 118–127. <https://doi.org/10.1080/02783190309554213>.
- American Psychiatric Association. (2013). *DSM-5. 5ème édition : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux [DSM-5. 5th edition: Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders]* (Crocq, M.-A & Guelfi, J. D., Trad 5e éd). Masson.
- Antshel, K. M., Faraone, S. V., Stallone, K., Nave, A., Kaufmann, F. A., Doyle, A., Fried, R., Seidman, L., & Biederman, J. (2007). Is attention deficit hyperactivity disorder a valid diagnosis in the presence of high IQ? Results from the MGH Longitudinal Family Studies of ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(7), 687–694. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2007.01735.x>.
- Beery, K. E., & Beery, N. A. (2010). *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-motor Integration (Beery VMI): With supplemental developmental tests of visual perception and motor coordination and stepping stones age norms from birth to age six: administration, scoring, and teaching manual* (6th ed.). Pearson.
- Benbow, C. P., & Minor, L. L. (1990). Cognitive profiles of verbally and mathematically precocious students: Implications for identification of the gifted. *The Gifted Child Quarterly*, 34(1), 21–26. <https://doi.org/10.1177/001698629003400105>.
- Billard, C., & Touzin, M. (2012). *L'EDA: Évaluation des fonctions cognitives et apprentissages [assessment of cognitive functions and learning]*. Ortho Éditions.
- Bishop, D. V. M. (1983). Comprehension of English syntax by profoundly deaf children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 24(3), 415–434. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1983.tb00118.x>.
- Bodensteiner, J. B. (2008). The evaluation of the hypotonic infant. *Seminars in Pediatric Neurology*, 15(1), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.spen.2008.01.003>.
- Boschi, A., Planche, P., Hemimou, C., Demily, C., & Vaivre-Douret, L. (2016). From high intellectual potential to Asperger syndrome: Evidence for differences and a fundamental overlap—a systematic review. *Frontiers in Psychology*, 7, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01605>.
- Bosse, M. L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198–230. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.009>.
- Bourrelly, C., Quinet, J., & Goffart, L. (2018). Pursuit disorder and saccade dysmetria after caudal fastigial inactivation in the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 120(4), 1640–1654. <https://doi.org/10.1152/jn.00278.2018>.
- Bradley, L., & Bryant, P. (1978). Difficulties in auditory organisation as a possible cause of reading backwardness. *Nature*, 271(5647), 746–747. <https://doi.org/10.1038/271746a0>.
- 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>.
- Bruininks, O. (1978). *Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency*. American Guidance Service.
- Busiah, K., Vaivre-Douret, L., Yachi, C., Cavé, H., & Polak, M. (2013). Diabète sucré du très jeune enfant [Early onset diabetes mellitus]. *Archives de Pédiatrie*, 20(4), 117–S126. [https://doi.org/10.1016/S0929-693X\(13\)71425-8](https://doi.org/10.1016/S0929-693X(13)71425-8).
- Charles, M., Soppelsa, R., & Albaret, J.-M. (2003). *BHK - Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant [Child Writing fast Assessment Scale]*. Editions et Applications Psychologiques.
- De Hevia, M. D., Girelli, L., Bricolo, E., & Vallar, G. (2008). The representational space of numerical magnitude: Illusions of length. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(10), 1496–1514. <https://doi.org/10.1080/17470210701560674>.
- De Lassalle, C. M., Lerens, E., Mousset, E., Kurzeja, N., Poncin, F., Charlier, D., & Wintgens, A. (2021). Syndrome d'Asperger avec Haut Potentiel Intellectuel : le camouflage à l'origine des diagnostics tardifs ? [Asperger's Syndrome with High Intellectual Potential: the cover-up behind late diagnosis?]. *L'Évolution Psychiatrique*, 86(1), 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.evopsy.2020.06.012>.
- Demily, C., Duwime, C., Lopez, C., Heminou, C., Poisson, A., Plasse, J., Robert, P. M., Dénier, C., Rossi, M., Franck, N., Besmond, C., Barcia, G., Boddaert, N., Munnich, A., & Vaivre-Douret, L. (2019). Corpus callosum metrics predict severity of visuo-spatial and neuromotor dysfunction in ARID1B mutations with Coffin-Siris syndrome. *Psychiatric Genetics*, 29(6), 237–242. <https://doi.org/10.1097/YPG.0000000000000225>.
- Ferraro, A., & Castelnovo, G. (2015). Étude des troubles oculomoteurs infracliniques par vidéo-oculographie dans les syndromes cliniquement isolés [Study of subclinical oculomotor disorders by video-oculography in clinically isolated syndromes]. *Revue Neurologique*, 171(1), 68. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2015.01.150>.
- Gardner, H. (1993). *Multiple intelligences: The theory in practice*. Basic books.
- Geary, D. C., Bailey, D. H., Littlefield, A., Wood, P., Hoard, M. K., & Nugent, L. (2009). First-grade predictors of mathematical learning disability: A latent class trajectory analysis. *Cognitive Development*, 24(4), 411–429. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2009.10.001>.
- Gomez, R., Stavropoulos, V., Vance, A., & Griffiths, M. D. (2019). Gifted children with ADHD: How are they different from non-gifted children with ADHD? *International Journal of Mental Health and Addiction*, 18(6), 1467–1481. <https://doi.org/10.1007/s11469-019-00125-x>.
- Goulème, N., Debue, M., Spruyt, K., Vanderveken, C., De Siati, R. D., Ortega-Solis, J., Petrossi, J., Wiener-Vacher, S., Bucci, M. P., Lonescu, E., Thai-Van, H., & Deggouj, N. (2018). Changes of spatial and temporal characteristics of dynamic postural control in children with typical neurodevelopment with age: Results of a multicenter pediatric study. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 113, 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.08.005>.
- Grégoire, J. (2012). Les défis de l'identification des enfants à haut potentiel [The challenges of identifying High Potential children]. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 119, 419–424. <http://www.psyris.be/wp-content/uploads/2019/12/Gregoire2012.pdf>.
- Grégoire, J. (2017). Comment interpréter les indices du WISC-V ? [How to interpret the WISC-V index scores?]. *Le Journal des Psychologues*, 1, 24–29. <https://doi.org/10.3917/jdp.343.0024>.
- Guénoles, F., Speranza, M., Louis, J., Fournernet, P., Revol, O., & Baleyte, J. M. (2015). Wechsler profiles in referred children with intellectual giftedness: Associations with trait-anxiety, emotional dysregulation, and heterogeneity of Piaget-like reasoning processes. *European Journal of Paediatric Neurology*, 19(4), 402–410. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2015.03.006>.
- Habib, M. (2020). Developmental dyslexia: A new look at clinical features and brain mechanisms. *Handbook of Clinical Neurology*,

- 174, 47–59. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64148-9.00004-1>.
- Hamdioui, S., & Vaivre-Douret, L. (2020). Clinical markers of dysgraphia according to intellectual quotient in children with developmental coordination disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders*, 4(6), 366–382. <https://doi.org/10.26502/jppd.2572-519X0119>.
- Hartnett, D. N., Nelson, J. M., & Rinn, A. N. (2004). Gifted or ADHD: The possibilities of misdiagnosis. *Roepers Review*, 26(2), 73–76. <https://doi.org/10.1080/02783190409554245>.
- Henderson, S. E., Sugden, D. A., & Barnett, A. L. (2007). *Movement assessment battery for children-2 second edition [Movement ABC-2]*. The Psychological Corporation.
- Ingster-Moati, I., Vaivre-Douret, L., Bui-Quoc, E. B., Albuissou, E., Dufier, J. L., & Golse, B. (2009). Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children: A neuro-developmental study. *European Journal of Paediatric Neurology*, 13(4), 362–366. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2008.07.003>.
- Jambaqué, I. (2004). Contribution de la neuropsychologie développementale à l'étude des sujets à haut potentiel : une revue de questions [Contribution of developmental neuropsychology to the study of high potential subjects: a review of questions]. *Psychologie Française*, 49(3), 267–267. <https://doi.org/10.1016/j.psf.2004.05.003>.
- Jazz Novo Ober Consulting. (2018). Ober Consulting Homepage@. <http://www.ober-consulting.com/9/lang/1/>.
- Katschmarsky, S., Cairney, S., Maruff, P., Wilson, P. H., & Currie, J. (2001). The ability to execute saccades on the basis of efference copy: Impairments in double-step saccade performance in children with developmental co-ordination disorder. *Experimental Brain Research*, 136(1), 73–78. <https://doi.org/10.1007/s002210000535>.
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (1993). *Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant [Battery of psychological assessment of child]*. Les Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Kheradmand, A., & Zee, D. S. (2011). Cerebellum and ocular motor control. *Frontiers in Neurology*, 2, 53. <https://doi.org/10.3389/fneur.2011.00053>.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2003). *Developmental neuropsychological assessment manual*. Les Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Koziol, L. F., & Barker, L. A. (2013). Hypotonia, jaundice, and Chiari malformations: Relationships to executive functions. *Applied Neuropsychology: Child*, 2(2), 141–149. <https://doi.org/10.1080/21622965.2013.748390>.
- Labouret, G., & Grégoire, J. (2018). La dispersion intra-individuelle et le profil des scores dans les QI élevés [Intra-individual discrepancy and the profile of high IQ scores]. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 154, 271–279. <https://www.researchgate.net/profile/Ghislaine-Labouret-2/publication/326231396>.
- Lafay, A., & Cattini, J. (2018). Analyse psychométrique des outils d'évaluation mathématique utilisés auprès des enfants francophones [Psychometric analysis of mathematical assessment tools used with French-speaking children]. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology & Audiology*, 42(2), 127–160. <https://www.researchgate.net/publication/329871510>.
- Lalanne, C., Falissard, B., Golse, B., & Vaivre-Douret, L. (2012). Refining developmental coordination disorder subtyping with multivariate statistical methods. *BMC Medical Research Methodology*, 12(1), 107–107. <https://bmcmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2288-12-107>.
- Lasserre, E., Vaivre-Douret, L., & Abadie, V. (2013). Psychomotor and cognitive impairments of children with CHARGE syndrome: Common and variable features. *Child Neuropsychology*, 19(5), 449–465. <https://doi.org/10.1080/09297049.2012.690372>.
- Lecerf, T., & Canivez, G. L. (2018). Complementary exploratory and confirmatory factor analyses of the French WISC–V: Analyses based on the standardization sample. *Psychological Assessment*, 30(6), 793. <https://doi.org/10.1037/pas0000526>.
- Lecerf, T., & Canivez, G. L. (2021). Exploratory factor analyses of the French WISC-V (WISC-V FR) for five age groups: Analyses based on the standardization sample. *Assessment*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1177/10731911211005170>.
- Lecocq, P. (1996). *L'E.CO.S.SE. Une épreuve de compréhension syntaxico-sémantique [The E.CO.S.SE. A syntaxico-semantic comprehension test]*. Presses Universitaires du Septentrion.
- Leigh, R. J., & Zee, D. S. (2015). *The neural basis for conjugate eye movements. The neurology of eye movements* (5th ed.). Oxford University Press.
- Liratni, M., & Pry, R. (2007). Psychométrie et WISC IV : quel avenir pour l'identification des enfants à haut potentiel intellectuel? [Psychometrics and WISC IV: what future for the identification of children with high intellectual potential?]. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 55(4), 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2007.06.003>.
- Lobier, M., & Valdois, S. (2015). Visual attention deficits in developmental dyslexia cannot be ascribed solely to poor reading experience. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(4), 225–225. <https://doi.org/10.1038/nrn3836-c1>.
- Lobier, M., Zoubrinetzky, R., & Valdois, S. (2012). The visual attention span deficit in dyslexia is visual and not verbal. *Cortex*, 48(6), 768–773. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.09.003>.
- Lopez, C., Hemimou, C., & Vaivre-Douret, L. (2017). Handwriting disorders in children with developmental coordination disorder (DCD): Exploratory study. *European Psychiatry*, 41(S), S456. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2017.01.494>.
- Loureiro, I. S., Lowenthal, L., Lefebvre, L., & Vaivre-Douret, L. (2009). Le trouble déficitaire de l'attention chez l'enfant à haut potentiel : étude exploratoire [Attention deficit disorder in high potential children : an exploratory study]. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 101, 317–322. <https://www.researchgate.net/profile/Laurent-Lefebvre-2/publication/236168481>.
- Lundy-Ekman, L., Ivry, R. B., Keele, S., & Woollacott, M. (1991). Timing and force control deficits in clumsy children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3(4), 367–376. <https://doi.org/10.1162/jocn.1991.3.4.367>.
- Manto, M., Bower, J. M., Conforto, A. B., Delgado-García, J. M., Da Guarda, S. N. F., Gerwig, M., Habas, C., Hagura, N., Ivry, R. B., Marien, P., Molinari, M., Naito, E., Nowak, D., Taib, O. B., & N., Pelisson, D., Tesche, C. D., Tilikete, C., & Timmann, D. (2012). Consensus paper: Roles of the cerebellum in motor control—The diversity of ideas on cerebellar involvement in movement. *The Cerebellum*, 11(2), 457–487. <https://doi.org/10.1007/s12311-011-0331-9>.
- Mazeau, M. (2005). Troubles cognitifs, Déficience Mentale, Troubles Spécifiques des Apprentissages : Un mot peut en cacher un autre [Cognitive Disorders, Mental Impairment, Specific Learning Disorders : One word can hide another]. *Contraste*, 1(1), 187–207. <https://doi.org/10.3917/cont.022.0187>.
- Mazeau, M., & Pouhet, A. (2014). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant (2^{ème} édition) [Neuropsychology and learning disorders in children (2th edition)]*. Elsevier Masson.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems reviewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774–785. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005>.
- Morsanyi, K., & Szűcs, D. (2014). The link between mathematics and logical reasoning. Implications for research and education. In *The Routledge International Handbook of Dyscalculia and Mathematical Learning Difficulties* (pp. 101–114). Routledge International Handbooks of Education.

- Mueller, H. H., Dash, U. N., Matheson, D. W., & Short, R. H. (1984). WISC-R subtest patterning of below average, average, and above average IQ children: A meta-analysis. *Alberta Journal of Educational Research*, 30, 68–85. <https://doi.org/10.1080/02783190309554213>.
- Neeper, R., & Greenwood, R. S. (1987). On the psychiatric importance of neurological soft signs. *Advances in Clinical Child Psychology*, 217–258. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9826-4_6.
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2011). Dyslexia, dysgraphia, procedural learning and the cerebellum. *Cortex*, 47(1), 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.08.016>.
- O'Hare, A., & Khalid, S. (2002). The association of abnormal cerebellar function in children with developmental coordination disorder and reading difficulties. *Dyslexia*, 8(4), 234–248. <https://doi.org/10.1002/dys.230>.
- Pereira-Fradin, M. (2004). La variabilité intra-individuelle chez les enfants à haut potentiel intellectuel [Intra-individual variability in children with high intellectual potential]. *Psychologie Française*, 49(3), 253–266. <https://doi.org/10.1016/j.psf.2004.07.002>.
- Robert, M. P., Ingster-Moati, I., Albuissou, E., Cabrol, D., Golse, B., & Vaivre-Douret, L. (2014). Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children with developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 56(6), 595–600. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12384>.
- Rowe, E. W., Kingsley, J. M., & Thompson, D. F. (2010). Predictive ability of the general ability index (GAI) versus the full scale IQ among gifted referrals. *School Psychology Quarterly*, 25(2), 119–128. <https://doi.org/10.1037/a0020148>.
- Sweetland, J. D., Reina, J. M., & Tatti, A. F. (2006). WISC–III verbal/performance discrepancies among a sample of gifted children. *The Gifted Child Quarterly*, 50(1), 7–10. <https://doi.org/10.1177/001698620605000102>.
- Takagi, M., Zee, D. S., & Tamargo, R. J. (2000). Effects of lesions of the oculomotor cerebellar vermis on eye movements in primate: Smooth pursuit. *Journal of Neurophysiology*, 83(4), 2047–2062. <https://doi.org/10.1152/jn.2000.83.4.2047>.
- Terman, L. M. (1925). *Genetic studies of genius: Mental and physical traits of a thousand gifted children*. Stanford University Press.
- Terrassier, J. C. (2009). Early intellectually children. *Archives de Pédiatrie*, 16(12), 1603–1606. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2009.07.019>.
- Tordjman, S., & Kermarrec, S. (2019). Mythes et réalités sur les enfants à haut potentiel intellectuel en difficulté : les apports de la recherche [Myths and realities about children with high intellectual potential in difficulty: the contributions of research]. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 67(3), 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.02.003>.
- Tordjman, S., Vaivre-Douret, L., Chokron, S., & Kermarrec, S. (2018). Les enfants à haut potentiel en difficulté: apports de la recherche Clinique [High-potential children in difficulty: contributions from clinical research]. *L'Encéphale*, 44(5), 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2018.07.006>.
- Vaivre-Douret, L. (2002). A more robust predictor of ideomotor dyspraxia: Study on an alternative scoring method of the Bergès-Lézine's Imitation of Gestures test. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 17(1), 37–48. <https://doi.org/10.1093/arclin/17.1.37>.
- Vaivre-Douret, L. (2004). Les caractéristiques développementales d'un échantillon d'enfants tout venant « à hautes potentialités » (surdoués): suivi prophylactique [The developmental characteristics of children's sample with high potentialities (gifted children): preventive follow-up]. *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. (2006). *Batterie d'évaluation des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT) [Tests Battery of developmental neuropsychomotor functions in children (NP-MOT)]*. Les Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Vaivre-Douret, L. (2007). Troubles d'apprentissage nonverbal : les dyspraxies développementales [Nonverbal learning disabilities : developmental dyspraxia]. *Archives de Pédiatrie*, 14(11), 1341–1349. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2007.06.034>.
- Vaivre-Douret, L. (2019). Caractéristiques développementales de l'enfant à « hautes potentialités » et compréhension de trajectoires vers la dépression à l'âge scolaire en primaire et au collège [Developmental characteristics of the child with “high-level potentialities” and understanding of trajectories to depression at school age in elementary and in high school]. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 67(3), 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.01.005>.
- Vaivre-Douret, L. (2020). Troubles moteurs sous-jacents au profil hétérogène du WISC-V chez l'enfant à Haut Potential : apports de l'évaluation neuro-psychomotrice normée (NP-MOT) [Motor disorders underlying the heterogeneous profile of WISC-V in children with high Intellectual potential : contributions of the standardized neuropsychomotor assessment (NP-MOT)]. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 169, 683–692.
- Vaivre-Douret, L. (2021). Outil numérique de notation et cotation normées de l'évaluation développementale standardisée des fonctions Neuro-Psychomotrices de l'enfant, NP-MOT jusqu'à 12 ans et plus [Digital scoring tool and standardized scoring of the developmental standardized assessment of the neuro-psychomotor functions of the child, NP-MOT up to 12 years and older]. In *Vaivre-Douret, L. (Digital Ed)®, Battery of child Neuro-Psychomotor. Éditions Neuralix*. <https://neuralix-editions.com/>.
- Vaivre-Douret, L., Boschi, A., Cuny, M. L., Clouard, C., Mosser, A., Golse, B., Philippe, A., Bourgeois, M., Boddaert, N., & Puget, S. (2016). Kyste arachnoïdien temporal gauche et troubles spécifiques des apprentissages associés à un trouble envahissant du développement non spécifié (TED-NoS) : apports d'une approche intégrative neuro-psychomotrice neuropsychologique, psychopathologique et neurochirurgicale à propos d'une observation chez un enfant (le cas François). [Left temporal arachnoid cyst and specific learning disorders associated with an unspecified pervasive developmental disorder (PDD-NoS): contributions of an integrative neuropsychomotor, neuropsychological, psychopathological and neurosurgical approach in relation to an observation in a child (François case)]. *L'Encéphale*, 42(6), 582–588. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2016.07.001>.
- Vaivre-Douret, L., Hamdioui, S., & Cannafarina, A. (2020). The influence of IQ levels on clinical features of developmental coordination disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders*, 4(4), 218–234. <https://doi.org/10.26502/jppd.2572-519X0107>.
- Vaivre-Douret, L., & Lalanne, C. (2019). Specific impairments and predictive markers for developmental coordination disorder subtypes in children: The importance of multidimensional developmental assessments in cluster analysis. *Journal of Translational Science*, 6(2), 1–13. <https://doi.org/10.15761/JTS.1000337>.
- 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, 502. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00502>.
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Ingster-Moati, I., Boddaert, N., Cabrol, D., Dufier, J. L., Golse, B., & Falissard, B. (2011). Subtypes of developmental dyspraxia and developmental coordination disorder (DCD): Research on their nature and etiology. *Developmental Neuropsychology*, 36(5), 614–643. <https://doi.org/10.1080/87565641.2011.560696>.
- Vaivre-Douret, L., & Planche, P. (2020). Homogeneous or heterogeneous IQ 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. <https://doi.org/10.26502/jppd.2572-519X0106>.

- Valdois, S., Bidet-Ildei, C., Lassus-Sangosse, D., Reilhac, C., N'Guyen-Morel, M. A., Guinet, E., & Orliaguet, J.-P. (2011). A visual processing but no phonological disorder in a child with mixed dyslexia. *Cortex*, 47(10), 1197–1218. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.05.011>.
- Valdois, S., Bosse, M. L., Ans, B., Zorman, M., Carbonnel, S., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits are dissociated in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing*, 16(6), 543–572. <https://doi.org/10.1023/A:1025501406971>.
- Von Aster, M., & Dellatolas, G. (2006). *ZAREKI-R - Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant [Battery for assessing the number processing and arithmetic in children]*. Les Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Wallon, P., & Mesmin, C. (2009). *Test de la figure complexe de Rey [Rey's figure test]*. Les Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Wechsler, D. (2014). *Wechsler intelligence scale for children®—fifth edition*. Pearson.
- Wechsler, D. (2016). *WISC-V: Échelle d'Intelligence de Wechsler Pour Enfants: WISC-V: Manuel d'Administration et de Cotation, 5th Edition [Wechsler Intelligence Scale for Children Administration and Scoring manual]*. Les Éditions Centre de Psychologie Appliquée.
- Weismann-Arcache, C. (2006). Hétérogénéité ou dysharmonie? Clinique du fonctionnement mental des enfants à haut potentiel [Heterogeneity or disharmony? Mental Functioning Clinic for High Potential Children]. *Bulletin de Psychologie*, 5, 481–489. <https://doi.org/10.3917/bupsy.485.0481>.
- World Health Organization (WHO). (1951). *Expert Committee on Mental Health: report on the second session, Geneva, 11-16 September 1950*. World Health Organization.
- Yaman, D. Y., & Sökmez, A. B. (2020). A case study on social-emotional problems in gifted children. *Ilkogretim Online*, 19(3), 1768–1780. <https://doi.org/10.17051/ilkonline.2020.735156>.
- Yang, S. N., & McConkie, G. W. (2001). Eye movements during reading: A theory of saccade initiation times. *Vision Research*, 41(25), 3567–3585. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00025-6).

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Research Article

Do Children with High Intellectual Potential have an Early Motor Development and What is the Impact on IQ Profile?

Soukaina Hamdioui^{1,2}, Adriano Cannafarina², Laurence Vaivre-Douret^{1,3,4,5,6*}

¹Faculty of Society and Humanity, Division of Psychology, Université de Paris, France

²National Institute of Health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Faculty of Medicine, University of Paris-Saclay, Villejuif, France

³Faculty of Health, Division of Medicine Paris Descartes, Université de Paris, France

⁴University Institute of France, Paris, France

⁵Department of Child Psychiatry, Assistante Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker Enfants Malades University hospital, Paris, France

⁶Department of Endocrinology, IMAGINE Institute, Necker-Enfants Malades Université de Paris, France

* **Corresponding Author:** Laurence Vaivre-Douret, Department of Child Psychiatry, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, INSERM UMR 1018-CESP, Carré Necker Porte N4,149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France, Tel: +33 (0) 1.44.49.40.14

Received: 16 March 2021; **Accepted:** 22 March 2021; **Published:** 26 March 2021

Citation: Soukaina Hamdioui, Adriano Cannafarina, Laurence Vaivre-Douret. Do Children with High Intellectual Potential have an Early Motor Development and What is the Impact on IQ Profile?. Journal of Pediatrics, Perinatology and Child Health 5 (2021): 052-071.

Abstract

Objective: The neuropsychomotor development in children with high intellectual potential (HIP, $IQ \geq 130$) remains poorly studied. We aimed to explore their developmental trajectory of motor milestones and anamnestic data regarding their IQ profile.

Methods: Wechsler Intelligence Scale for children (WISC-V), health record, and anamnestic questionnaires

were analyzed in 68 healthy children (50 HIP/18 neurotypical), aged 6-13 years-old (mean 10y; SD 2.2). Fifty HIP-children were involved in intra-group analysis. Two groups were matched: 18 neurotypical ($90 \leq IQ \leq 110$) and 18 HIP ($IQ \geq 130$) random children.

Results: Significant-negative correlations were shown in the whole sample between full IQ and sitting (7 months) ($r = -0.32$, $p = 0.01$, [95% CI = -0.52 to -0.09]), walking (12

J Pediatr Perinatol Child Health 2021; 5 (1): 052-071 months) ($r=-0.30$, $p=0.03$, [95%CI=-0.51 to-0.01], and the first sentences (18 months) ($r=-0.60$, $p<0.001$, [95%CI= -0.71 to-0.39]); with significant high rate of earlier development in HIP compared to neurotypical-children. Verbal-Comprehension-Index (VCI) was significantly higher in heterogenous profile while Visual-Spatial-Index (VSI), Fluid-Reasoning-Index (FRI), Working-Memory-Index (WMI), Processing-Speed-Index (PSI), were significantly higher in homogenous profile. Significant correlations ($p<0.05$) were shown between VSI, WMI, PSI and clumsiness in daily life activities, games and scholar abilities explaining 41% of the variance in the heterogenous profile of HIP-children.

Conclusion: An early motor development was found in HIP compared to neurotypical-children. We displayed an important part of the heterogeneous profile, highlighting the DSM-5 criteria of a developmental coordination-disorder which is early tracked down with significant difficulties impacting on daily life activities, games and scholar abilities. The findings underline the importance that clinicians analyze the variability of the index scores in the IQ profile at school-age in relation with the anamnestic data.

Keywords: Gifted children; High Intellectual Quotient; High Intellectual Potential; Motor development; Daily life abilities; Developmental coordination disorder; Homogeneous/Heterogeneous IQ profile; IQ indexes

Abbreviations: HIP-High Intellectual Potential; IQ-Intellectual Quotient; VCI-Verbal Comprehension Index; VSI-Visual Spatial Index; FRI-Fluid Reasoning Index; WMI-Working Memory Index; PSI-Processing Speed Index; FIQ- Full IQ; DCD-Developmental Coordination Disorder; PIQ-Performance Intelligence Quotient; VIQ-Verbal Intelligence Quotient; DSM-Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5th edition, WHO-World Health Organization.

1. Introduction

The intelligence of children with a high intellectual potential (HIP) "gifted children" keeps on authors' interest for three centuries [1-4]. The unanimous definition is based on the Wechsler psychometric scale as recommended by World Health Organization (WHO) [5]: $FIQ \geq 130$, two standard deviations from the mean according to the Gaussian curve (2.2% of the population) [4, 5]. Many studies have focused on analyzing cognitive functioning at school age to illuminate these children's profiles. The verbal field confirms better linguistic skills in HIP children than in neurotypical children [6-8].

Recent studies showed that early language skills are the cognitive field that best predicts IQ [9]. It does not provide information on the grouping of the data placement to judge the motor field's representativeness without subjectivity (absence of factor analysis or another statistical test for this). Vaivre-Douret [8-10] looked retrospectively at the developmental trajectory before four-years-old of a HIP children sample assessed at school age with homogenous IQ profile. She obtained cognitive-developmental norms in a french sample of HIP children by comparing french psychomotor developmental scales as Brunet-Lézine norms [11] and developmental motor scales DF-MOT [12]. She highlighted in accordance with the literature the advance of the language acquisitions: babbling around four months, imitation of animal noises around 22 months, the association of two words in order to express the "first sentence" is around 18 months. Other authors have noted motor development advance in HIP child but this field remains less deeply investigated in the literature [8, 10, 13-23]. Arffa [14] has particularly explored executive functions at school age and he showed a positive correlation between high FIQ and these functions, including working memory, resistance to interference during attention tasks, planning, and mental flexibility.

Some studies [8, 10, 17, 22] underlined an early emergence of neuro-postural and locomotor acquisitions in HIP children following an early axial cephalocaudal and proximodistal maturation. Another study on 561 HIP children also confirmed advanced development of independent walking compared to neurotypical children [13]. The retrospective studies of a sample [8, 22] have established motor development norms in a french sample of HIP children in comparison with the typical norms of the Brunet-Lezine scale of psychomotor development of early childhood [11] and DF-MOT motor scale [12, 10, 24-27]. They have specified an advance around two months, two standard deviations above the mean: holds head in the axis at one month (m) + 1 week (w) versus three months in neurotypical children, voluntary grasp at 3 m + 1w versus 4 m, turning overresponse around 4 m + 4 w versus 8 m, sitting without support at 6 m + 3 w versus 10 m, sits up alone around 7 m + 3 w versus 10 m, takes a bead between thumbs and forefinger 8 m + 2 w versus 9 m, independent walking 12 m + 4 w versus 14 m, start eating with a spoon on his own 12 m + 2 w versus 17 m, climbs stairs 15 m + 2 w versus 17 m + 1 m, comes down stairs with help without alternating feet 16 m + 3 w versus 19 m + 1 m, climbs stairs alone without support alternating feet 24 m + 1 w versus 34 m + 2 m, puts slippers on without help 24 m + 3 w versus 30 m + 1 m, rides a bike with stabilizers 24 m + 3 w versus 36 m + 1 m.

Likewise, it showed that preterm HIP children ($IQ \geq 130$) can present a developmental motor advance without significant difference from the HIP children born at term. Analysis of retrospective anthropometric data (Head Circumference, Height, Weight) has significantly revealed more neonatal hypertrophia (≥ 90 percentile) in these preterm children identified as HIP at school age and with a favorable environment [28, 21]. Moreover, the only longitudinal studies [10, 22] specified that the motor development advance's results had concerned HIP

children with a homogeneous IQ profile (no more than 12 points between the indexes VIQ and PIQ). A good level of PIQ similar to VIQ would be protective of disorders [10]. Thus, what about HIP children with a heterogeneous IQ profile? Is developmental advance a general phenomenon of HIP children? Why individual HIP children diagnosed at school age would not have this motor development precocity? Could inter and intra-individual variability in development be explained by some environmental conditions or by some abnormalities?

In the literature, IQ (WISC-III and WISC-IV) is considered heterogeneous with 15 points of difference between the highest and lowest index, often between PIQ and VIQ [29]. Grégoire [30] considers 12 points as a dispersion threshold that remains a frequent phenomenon (40% of the general population) against a third of the general population with a difference of 15 points. A difference of 20 points is rare since it appears for only one-sixth of the population. Concerning the WISC-V [4], the profile is considered heterogenous from 23 points when considering the maximum difference between the highest and lowest index [31]. A difference of 23 points is only reached by 8% to 18% of the population, depending on the indexes. Nevertheless, when all the indexes are taken into account, 52.8% of the population reach the 23 points difference [32].

In HIP children, a significant dissociation between the indexes appears more frequently observed. Hence, certain authors [33-37] consider a heterogeneous IQ profile a typical developmental characteristic specific to this population. According to these authors, HIP children have more irregular and heterogeneous profiles than neurotypical children. Other authors showed that this heterogeneity could be the origin of some neurodevelopmental disorders or abnormalities as learning disabilities (e.g., developmental coordination

J Pediatr Perinatol Child Health 2021; 5 (1): 052-071
disorder (DCD)/dyspraxia, dyslexia, dysgraphia) or neuromotor impairment never examined [25, 10, 38-44]. Moreover, specific cognitive or socio-cognitive, psycho-affective difficulties could also explain a part of the heterogeneity [38, 40, 45-52]. Terrassier [53] suggested dyssynchrony or, as he calls it, "psychomotor/intellectual disharmony" as a developmental fact in HIP children, psychomotor development following the typically developing child. Vaivre-Douret [8, 10] underlines that psychomotor disharmony, described by Terrassier, appears more likely to impair abilities similar to neurotypical children than as a fundamental characteristic of HIP children.

Boschi et al.'s study [46] pointed out that the homogeneous HIP children had better memory and motor skills at school age than the heterogeneous HIP children. Vaivre-Douret [38] asserts that advanced neurophysiological maturation in HIP children with a homogeneous IQ allows the early emergence of postural-locomotors, visual-manual coordination as well as language and cognitive processes. It appears a methodological bias in studies confirming a heterogeneous IQ profile as a developmental characteristic of HIP children. Most of the authors recruited their samples only in clinical consultations with the bias to find mainly heterogeneous IQ profiles. Thus, it appears evident that these children are more at risk of having a disorder. It appears essential to better understand these children's developmental trajectories and to analyze the data regarding IQ indexes.

The current study aimed to analyze the IQ profile of high intellectual potential and neuropsychomotor development data in HIP children compared to neurotypical children. The first hypothesis suggests a relationship between early neuropsychomotor development reported in anamnestic data and high IQ collected at school age. The second explores the neuropsychomotor development regarding

DOI: 10.26502/jppch.74050063

IQ profile to determine and understand the links between homogeneous versus heterogeneous HIP children's profiles.

2. Material and Methods

2.1 Population

The current study is transversal and retrospective, focusing respectively on psychometric assessment and anamnestic data. The study population included 68 children aged 6 to 13 years old (mean=10 years four months; SD=2.2) recruited in different schools in Paris, France. Into some of these schools, there are particular cursus for HIP enabling the inclusion of 50 HIP children identified with the Wechsler intelligence scale [4]. Eighteen neurotypical children (NTC) are the focus in our previous study.

Regarding data analysis in intra-group, we used the whole HIP sample (n=50). To compare HIP to neurotypical children, we selected two matched groups following the Gaussian curve of the Wechsler intelligence scale [4]: 18 neurotypical random children ($90 \leq IQ \leq 110$) and 18 HIP random children ($IQ \geq 130$). The two groups are matched according to age and sample size. Inclusion criteria were strict: children with a sensory deficit, several visual abnormalities (e.g., strabismus, nystagmus, amblyopia), a diagnosis of severe language disorder, genetic disorder, psychiatric abnormalities (according to DSM-5 criteria) [54], or general medical abnormalities, and traumatic brain injury are not included. Nor was any child born premature (< 37 weeks) and no physical therapy neither medication.

The Institutional ethic committee of Paris Descartes University, Sorbonne Paris city, approved the study (CER-PD 2019-93). Participants provided written informed consent before starting the study, signed by a parent or legal representative, and children before enrollment in the study.

Anamnestic data were obtained through the personal child health record, a semi-directive interview, and a retrospective anamnestic questionnaire filled by the parents. The questionnaire was about pregnancy, delivery mode, family, and medical history. In addition to developmental history (childcare from birth to 6 years-old), psychomotor development (e.g., sitting alone, walking), daily life (dressing, cutlery use, tying shoelaces, riding a bicycle, swimming) and response to the milestone about clumsiness, school activities (cutting, drawing according to a model, coloring), and hobbies (especially difficulties with constructional play such as puzzle and Lego following a model). We also asked about language and communication (e.g., babbling, first sentences). Answers could be either quantitative (age, grades at school, for example) or dichotomic ("yes" coded as 1 or "no," coded as 0 for questions such as "Did he/she like to draw?").

All HIP children completed a standard measure of intelligence with Wechsler Intelligence Scale for children according to the age (WISC-V) [4]. Verbal Comprehension Index (VCI), Visual-Spatial Index (VSI), Fluid Reasoning Index (FRI), Working Memory Index (WMI), Processing Speed Index (PSI), and Full IQ (FIQ) scores were expressed as standardized scores (mean 100, SD=15).

2.3 Statistical procedures

We used SPSS software [55] for statistical treatment. Data analysis according to the intention-to-treat principle.

We used a p-value of 0.05 to indicate statistical significance. We also applied the Bonferroni method to adjust for multiple comparisons. To analyze the statistical difference between HIP and neurotypical children, we used two-group comparisons of scale scores through Student T-test (t) for quantitative data and a Chi-square test (χ^2) for dichotomic data. A Pearson's correlation test (r) for continuous numeric variables and Spearman's ρ test (ρ) for non-parametric correlations were used. To analyze retrospective neuropsychomotor development data regarding IQ profile (homogeneous/heterogeneous) in HIP children, we used 23 points as dispersion threshold [32] between the highest and lowest index.

3. Results

3.1 Sample descriptive analyzes

Table 1 showed comparisons between IQ index scores in our HIP children group and the french psychometric characteristics in HIP children [4]. The findings confirmed our sample's representativeness compared to the national average for HIP children, with significantly higher VCI, FRI, WMI, and FIQ scores. Table 2 showed sociodemographic, anthropometric, and psychometric characteristics of the whole sample compared to the two matched groups (18 HIP vs. 18 neurotypical children group). Only IQ scores were identified as differentiation criterion of both groups (t= -12.85, df=34, p<0.001, [95% CI= -38.03 to -27.64]). The findings showed no statistical difference between both groups concerning delivery mode, substance use during pregnancy, APGAR at 5 and 10 minutes, pregnancy complications, neither anthropometric data.

IQ indexes	Sample of HIP children (n=50)	WISC-V norms for HIP (n=95)	t-test score	p-value	df	95% CI
VCI (mean, SD)	138.66 (11.22)	127.7	6.91	<0.001*	49	7.77 to 14.15
VSI (mean, SD)	124.26 (12.22)	121.2	1.77	0.08	49	-0.41 to 6.53
FRI (mean, SD)	126.72 (10.84)	120.3	4.19	<0.001*	49	3.34 to 9.5
WMI (mean, SD)	123.48 (13.5)	117.9	2.92	0.005*	49	1.74 to 9.42
PSI (mean, SD)	113.34 (13.39)	112.9	0.232	0.81	49	-3.36 to 4.24
FIQ (mean, SD)	133.68 (7.54)	127.5	5.79	<0.001*	49	4.04 to 8.32

Note. HIP: High intellectual potential; WISC-V: Wechsler Intelligence Scale for Children 5th edition; SD = Standard deviation. FIQ = Full Intellectual Quotient. VCI = Verbal Comprehension Index. VSI = Visual Spatial Index. FRI = Fluid Reasoning Index. WMI = Working Memory Index. PSI = Processing Speed Index.

Table 1: Comparison between IQ indexes in the HIP children sample and the french characteristics psychometric of HIP children [4].

Sociodemographic, psychometric, and anthropometric data	HIP sample n=50	Matched groups n=36		χ² (1) or t-test (df=34) HIP/NTC		
		HIP children group (n=18)	NTC children group (n=18)	Value	p-value	95% CI
Gender (%):						
Male	64	61.11	66.67	0.04	1	1 to 1
Female	36	38.89	33.33	0.07	1	1 to 1
Age (mean, SD)	130.06 (19.13)	112.94 (15.31)	110.33 (34.63)	-0.3	0.77	-21.05 to 15.83
FIQ (mean, SD)	133.68 (7.54)	133.17 (8.51)	100.33 (6.72)	-12.85	<0.001*	-38.03 to -27.64
Delivery mode:						
Vaginal (%)	31	18	15	0.27	0.73	0.72 to 0.74
Caesarean (%)	19	0	3	1.8	0.37	0.36 to 0.38
Substance use during pregnancy (%):						
Alcohol	14	6	6	0	1	1 to 1
Tobacco	12	3	3	0	1	1 to 1
Pregnancy complications (%):						
Hypertension	0	0	0	0	1	1 to 1
Preeclampsia/toxemia	2	0	0	0	1	1 to 1
Diabetes	0	0	0	0	1	1 to 1
Placenta previa	2	0	0	0	1	1 to 1
Contractions	2	0	5.56	0.33	1	1 to 1
Hemorrhage	0	0	0	0	1	1 to 1
Oligoamnios	0	0	0	0	1	1 to 1

Twin pregnancies	0	0	0	0	1	1 to 1
MAP	2	5.56	0	0.33	1	1 to 1
Weight (Kg) at birth (mean, SD)	3.49 (0.57)	3.49 (0.57)	3.36 (0.29)	-1.37	0.18	-0.58 to 0.12
Height (cm) at birth (mean, SD)	50.26 (3.2)	50.26 (3.19)	49.77 (2.17)	0.1	0.92	-2.23 to 2.47
Head circumference at birth (mean, SD)	35 (1.35)	35 (1.35)	35.23 (1.86)	0.47	0.63	-0.85 to 1.37
APGAR (mean, SD):						
5 minutes	9.56 (0.84)	9.56 (0.84)	10	-0.6	0.55	-0.57 to 0.31
10 minutes	10 (0)	10 (0)	10	0	1	1 to 1

Note. HIP: High intellectual potential; NTC: Neurotypical children; FIQ: Full Intellectual Quotient; MAP: Mean Arterial Pressure

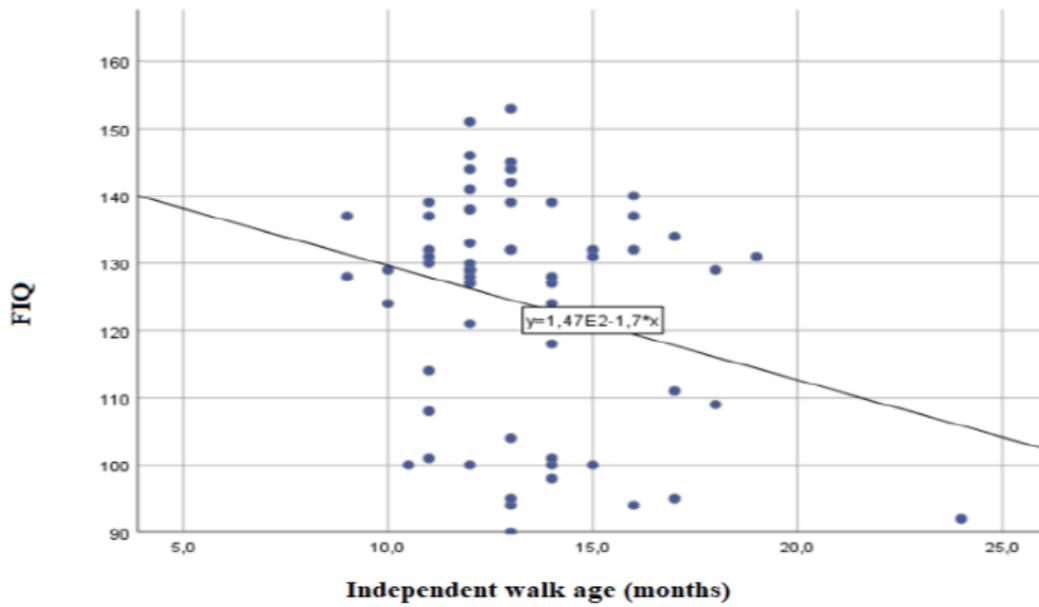
Table 2: Sample characteristics with sociodemographic, psychometric, and anthropometric data in HIP and neurotypical children (NTC).

3.2 Relationship between IQ and neuropsychomotor development

In the whole sample, there are significant and negative correlations between FIQ and sitting without support (around 7 months on average) ($r=-0.32$, $p=0.01$, [95% CI= -0.52 to -0.09]), independent walking (around 12 months on average) ($r=-0.30$, $p=0.03$, [95% CI=-0.51 to -0.01]) (Figure 1), and the first sentences (around 18 months on average) ($r=-0.60$, $p<0.001$, [95% CI= -0.71 to -0.39]) (Figure 2). These correlations showed that children with high FIQ have an early development (two months advance on average) of sitting, walking, and language according to the developmental norms of Brunet-Lézine [11] and DF-MOT motor scale [12]. We identified high rate of earlier development of sitting, walking, and language in HIP children compared to neurotypical children group (Figure 3). The comparison of the two groups, showed that sitting without support ($t= 2.23$, $df=34$, $p=0.03$, [95% CI= -1.7 to -0.08]), independent walking ($t= 3.42$, $df=34$, $p=0.001$, [95%

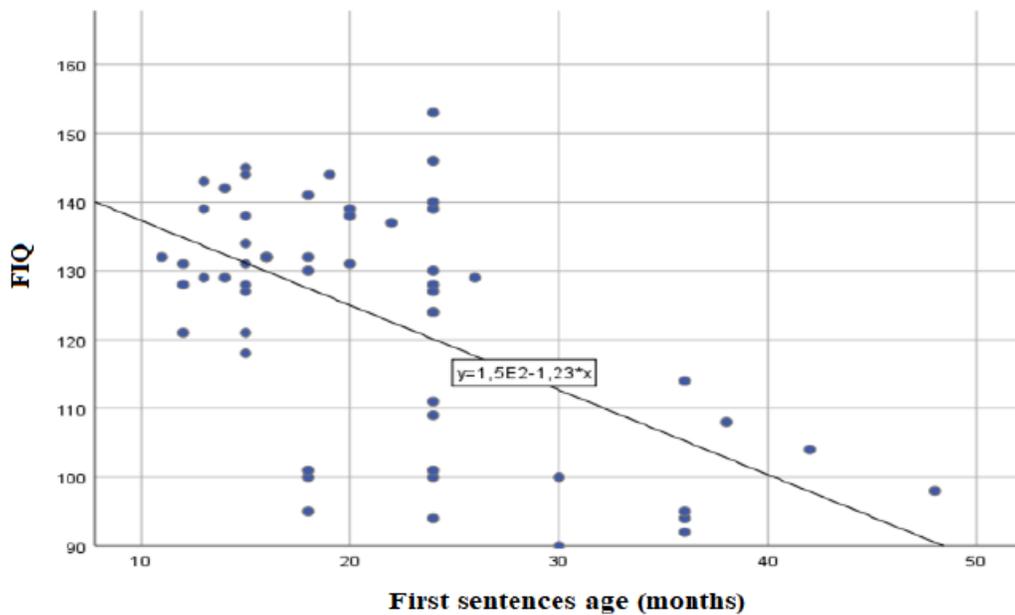
CI=4.43 to -1.13]), and expression of first sentences ($t= 5.23$, $df=34$, $p<0.001$, [95% CI=17.05 to -7.51]) were significantly early developed in HIP children compared to the neurotypical children.

Regarding IQ profile in HIP children, the results showed a significant difference between homogenous and heterogeneous profiles for babbling (4 months on average) ($t=-1.99$, $df=49$, $p=0.05$, [95% CI= -26.51 to 0.20]) and independent dressing age (3 years old on average) ($t= 2.09$, $df=49$, $p=0.04$, [95% CI= -3.47 to -0.02]). These data underlined the direct link between the homogeneous profile and the early ability to dress and babble. We showed a high rate of advanced motor development in HIP children with homogenous IQ profiles compared to heterogeneous IQ profiles. On the contrary, we identified a high language development rate (first sentences around 18 months) in HIP children with heterogeneous compared to homogenous IQ profile (Figure 4).



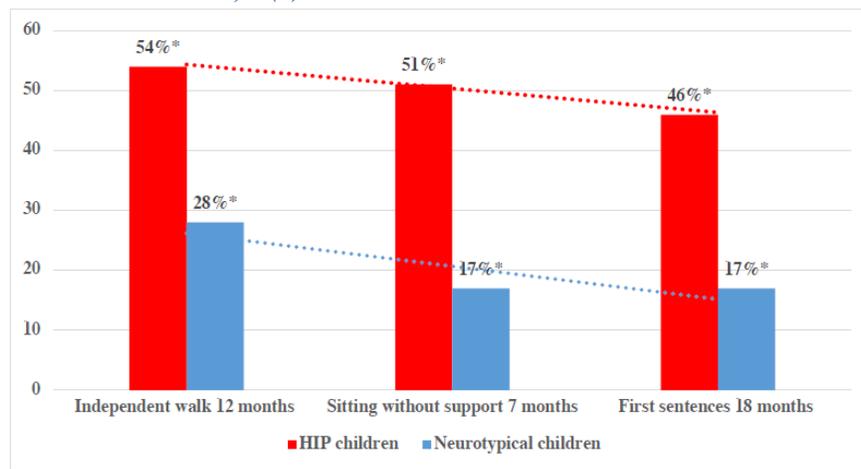
Note. FIQ: Full Intellectual Quotient

Figure 1: Significant and negative correlation between FIQ and independent walk age in the whole sample (n=68).



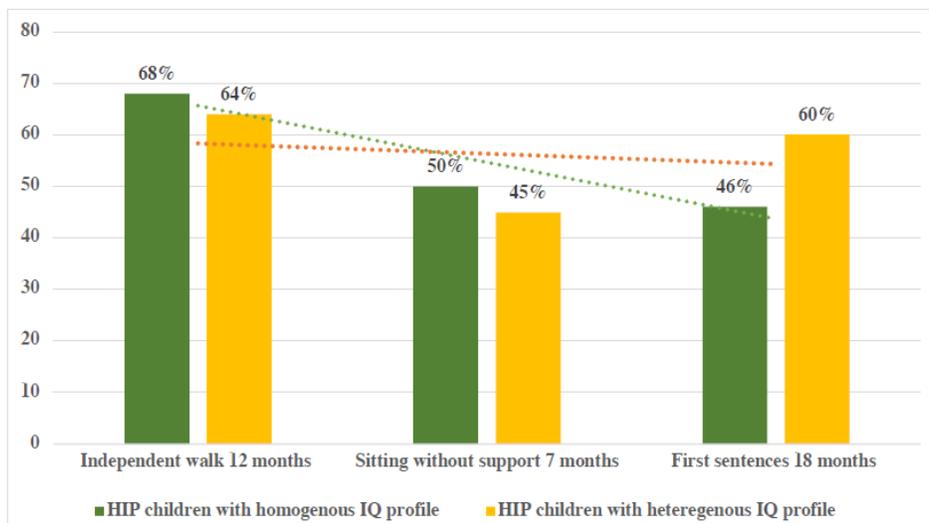
Note. FIQ: Full Intellectual Quotient

Figure 2: Significant and negative correlation between FIQ and first sentences age in the whole sample (n=68).



Note. *: Significant difference $p < 0.05$; HIP: High intellectual potential

Figure 3: Percentages of advanced motor development and language between HIP children compared to neurotypical group according to the french developmental norms [11-12].



Note. HIP: High intellectual potential; IQ: Intelligence Quotient

Figure 4: Percentages of advanced motor development and language between HIP children with homogenous and heterogenous IQ profile according to the developmental norms [11-12].

3.3 Relationship between daily life abilities and IQ profiles (homogenous/heterogeneous)

Table 3 showed the average of IQ indexes in homogenous compared to heterogeneous profile concerning HIP children. The finding highlighted that VCI was higher in heterogenous profile while VSI, FRI, WMI, and PSI were higher in homogenous profile. A

statistical difference between both groups regarding VCI (in favor of heterogenous profile), WMI, and PSI (in favor of homogenous profile) was shown. In whole sample of HIP children, the findings showed significant correlations between IQ indexes and neuropsychomotor development milestones on daily life abilities: "Struggling to put on his/her clothes correctly" was

J Pediatr Perinatol Child Health 2021; 5 (1): 052-071
 negatively significantly correlated with WMI ($r = -0.30$, $p = 0.02$, [95% CI = -0.51 to -0.03]). "Struggling to button his/her coat" was significantly and negatively correlated with VSI ($r = -0.33$, $p = 0.01$, [95% CI = -0.50 to -0.14]), WMI ($r = -0.30$, $p = 0.03$, [95% CI = -0.5 to -0.01]) and FIQ [$r = -0.30$, $p = 0.02$, [95% CI = -0.5 to -0.09]). "Using a knife correctly" was significantly and positively correlated with WMI [$r = 0.27$, $p = 0.04$, [95% CI = -0.03 to 0.5]) and PSI ($r = 0.26$, $p = 0.05$, [95% CI = -0.01 to 0.51]). "Struggling using a fork" was significantly positively correlated with FRI ($r = 0.35$, $p = 0.01$, [95% CI = 0.15 to 0.52]). "Clumsiness milestone" was significantly and negatively correlated with VSI ($r = -0.3$, $p = 0.02$, [CI 95% = -0.5 to 0.07]), WMI ($r = -0.31$, $p = 0.02$, [CI 95% = -0.50 to -0.08]), PSI ($r = -0.75$, $p = 0.04$, [CI 95% = -0.50 to -0.02]).

Regarding IQ profile, we showed a significant correlation between homogenous/heterogeneous profile and "struggling to put clothes correctly, "difficulties putting clothes on the right side," "difficulties tying shoelaces," and "correct use of a knife" (Table 4). These daily life abilities were significantly and positively correlated with "Clumsiness milestone": "difficulties putting clothes on the right side" ($r = 0.30$, $p = 0.005$), "difficulties tying shoelaces" ($r = 0.44$, $p = 0.005$), "correct use of knife" ($r = -0.55$, $p = 0.001$). We identified 41% of HIP children with

DOI: 10.26502/jppch.74050063

heterogenous IQ profile (vs. 7% in homogenous IQ profile), which presents difficulties in at least two filed of these daily life abilities. In HIP children with heterogenous profile, we identified VCI (mean=148) and RFI (mean=124) as highest indexes, the lower were PSI (mean=107), WMI (Mean=119), and VSI (mean=122). These three indexes were significantly and negatively correlated to "clumsiness milestone" (respectively $p = 0.02$; $r = -0.30$, $p = 0.04$; $r = -0.30$, $p = 0.03$; $r = -0.31$).

3.4 Relationship between games-scholar abilities and IQ profiles (homogenous/heterogeneous)

Regarding games and scholar abilities in HIP children, we showed a significant correlation between homogenous/heterogeneous profile and "play puzzles without difficulty," "play construction games without difficulties," "autonomy difficulties," "attention difficulties," and "adaptability in collective games" (Table 5). We identified 14% of HIP children with heterogenous IQ profile (vs. 7% in homogenous IQ profile), which presented difficulties in at least two filed of this scholar's abilities. In addition, we identified high percentage of difficulties of handwriting, drawing copy, and coloring abilities in heterogenous IQ profile compared to homogenous one (respectively 64%, 62%, 67% vs 34%, 34%, 41%). While no reading difficulties were noted in either of the two profiles.

IQ indexes	Heterogeneous HIP children (n=28)	Homogeneous HIP children (n=22)	t-test score	p-value	df	95% CI
VCI (mean, SD)	147.09 (6.87)	132.04 (9.41)	-6.3	<0.01*	48	-19.86 to -10.25
VSI (mean, SD)	121.64 (14.69)	126.32 (9.65)	1.36	0.18	48	-2.26 to 11.63
FRI (mean, SD)	123.91 (10.97)	128.93 (10.41)	1.65	0.1	48	-1.08 to 11.12
WMI (mean, SD)	117.95 (12.53)	127.82 (12.8)	2.73	0.01*	48	2.6 to 17.13
PSI (mean, SD)	106.55 (10.5)	118.68 (13.13)	3.53	<0.01*	48	5.23 to 19.03
FIQ (mean, SD)	132.73 (7.55)	134.43 (7.59)	0.7	0.43	48	-2.64 to 6.04

Note. HIP: High intellectual potential. SD = Standard deviation. FIQ = Full Intellectual Quotient. VCI = Verbal Comprehension Index. VSI = Visual Spatial Index. FRI = Fluid Reasoning Index. WMI = Working Memory Index. PSI = Processing Speed Index.

Table 3: Comparison between IQ indexes in homogeneous and heterogeneous HIP children (n=50).
Journal of Pediatrics, Perinatology and Child Health

Daily life abilities		HIP children (n=50)		Spearman's ρ test (ρ)	
		Heterogeneous (n=22)	Homogeneous (n=28)	value	p-value
Struggling to put clothes correctly	Yes	6 (27.27%)	1 (3.57%)	0.356	0.022*
	No	16 (72.73%)	27 (96.43%)		
Difficulties putting clothes on the right side	Yes	7 (31.82%)	1 (3.57%)	-0.412	0.008*
	No	15 (68.18%)	27 (96.43%)		
Difficulties tying shoelaces	Yes	9 (40.91%)	2 (7.14%)	-0.397	0.011*
	No	13 (59.09%)	26 (92.86%)		
Correct use of knife	Yes	8 (36.36%)	25 (89.29%)	0.341	0.029*
	No	14 (63.64%)	3 (10.71%)		

Note. HIP: High intellectual potential

Table 4: Daily life abilities regarding IQ profiles (homogenous/heterogenous) in HIP children group.

Scholar abilities		HIP children (n=50)		Spearman's ρ test (ρ)	
		Heterogeneous (n=22)	Homogeneous (n=28)	value	p-value
Play puzzles without difficulties	Yes	17 (77.27%)	26 (92.86%)	-0.325	0.035*
	No	5 (22.73%)	2 (7.14%)		
Play construction games without difficulties	Yes	17 (77.27%)	26 (92.86%)	-0.278	0.072*
	No	5 (22.73%)	2 (7.14%)		
Autonomy difficulties	Yes	5 (22.73%)	1 (03.57%)	0.371	0.016*
	No	17 (77.27%)	27 (96.43%)		
Attention difficulties	Yes	8 (36.36%)	5 (17.76%)	0.28	0.069*
	No	14 (63.64%)	23 (82.14%)		
Adaptability in collective games	Yes	17 (77.27%)	26 (92.86%)	0.325	0.035*
	No	5 (22.73%)	2 (7.14%)		

Note. HIP: High intellectual potential

Table 5: Scholar abilities and games regarding IQ profiles (homoenous/heterogenous) in HIP children group.

4. Discussion

The current study displayed an advance of neuropsychomotor and language development in HIP children with an advance of two months on average compared to neurotypical children. Sitting without support (around seven months), independent walking (12 months), and language (first sentences around 18 months) were significantly early developed, about 2 months, in

HIP children (IQ \geq 130). The french scale norms rather showed than these acquisitions emerged at ten months, 14 months, and 21 months in neurotypical children [10-12]. These results are following the literature; Vaivre-Douret [25, 26, 8, 10] confirmed advanced neuropsychomotor development in HIP children from birth (longitudinally collected), especially about the data collected in our current study concerning sitting without

J Pediatr Perinatol Child Health 2021; 5 (1): 052-071
support (around six months + 3 week), independent walking (12 months) as well as language (first sentences at 21 months old). These data have been collected retrospectively, it would have been complex and biased to require more effort to remember the dates of several milestones. Thus, we collected these data from the personal child health record. Vaivre-Douret has confirmed in their different studies cited above about HIP children's neonatal characteristics, a maturation developmental specific to HIP children at different levels, neurosensory and neuromotor maturation, and dynamic tone allowing the early emergences of posturo-locomotor acquisitions and visual-manual coordination, language, and cognitive processes.

However, she specified that these characteristics do not prejudice the future of these functions at school age. Indeed, if the physiological and neurobiological characteristics show early cerebral maturity allowing early neuropsychomotor and intellectual development, environmental factors with good health, a stimulating context at school and within the family, individual experience, and the educational factors would have a positive influence on the expression of this developmental advance and vice towards that. This advance was evidenced by previous researches [10, 21, 28, 56-58].

One of the oldest studies [13] on a large sample of HIP children (n=561) also confirmed an advanced development of independent walking compared to neurotypical children. Bildiren [23] showed with a retrospective and qualitative study using the interview questionnaires, that parents mainly recognize precocious walking and talking in HIP children between 0 and 2 years-old, as well as early reading skills between 4 and 6 years-old. In their longitudinal study on 19 HIP children over 18 years, Winisdorffer & Vaivre-Douret [22] highlighted in their longitudinal study a statistically

DOI: 10.26502/jppch.74050063

advanced development in postural and locomotor acquisitions as well as cognitive and linguistic skills. Indeed, the synchronicity between intellectual development and neuropsychomotor development at an early age has already been confirmed in literature by different authors [8, 10, 13-17, 22, 23, 25]. However, certain studies contrast with these findings showing that HIP children seem to be not in advance in the neuropsychomotor field despite their high intellectual development [53, 59]. These conclusions were obtained through a population reached in the "National Association for Children with High Intellectual Potential," which can bias the sample. Children who contact this association are asking for assistance. Hence, the sample is not representative of HIP children's general population as the results of the other studies cited above. To explain our results confirming this advanced neuropsychomotor development in HIP children, we hypothesize an early cerebral maturation of the motor pyramidal pathway allowing earlier voluntary motor skills. Moreover, our findings could corroborate the neuroimaging results from the neurosciences studies that highlighted a better neuronal synapses connectivity in HIP children than in neurotypical children [60]. Nusbaum et al. [61] have demonstrated better connectivity of the frontal lobe and cerebral cortex involving many functional regions, including the primary motor area used for voluntary movements of the skeletal muscles. The premotor area is used for learned or automatic motor activities, and the additional motor area coordinates different movements and the motor area of speech (Broca's area), which could explain this developmental advance both at the motor and verbal level.

Other studies [8, 10, 62] suggest that advanced neuropsychomotor development can be explained by an early maturation of myelination and, therefore, faster and earlier propagation of signals in the brain related to the sheath's width. Therefore, there would be cerebral

neurological properties specific to these children, especially in the myelin sheath. Vaivre-Douret [10, 38] has discussed the particularity of myelin sheath, glial cells (astrocytes provide energy to neurons with glucose and oligodendrocytes make the myelin sheath), ion channels, and axons, in particular in protein constructs. They have a primordial role in the conduction, accelerating the nerve impulse along the nerve channels necessary for sensitive and motor functions in the central and peripheral nervous system.

The present study is the only one in the literature which analyzed developmental data regarding the IQ profile (homogeneous/heterogeneous). Although motor milestones (sitting without support, independent walking) are correlated to IQ level, they are not dependent on IQ profile but hence specific to HIP. However, there is a significant difference between homogenous and heterogeneous profiles regarding certain milestones: age of independent dressing (3 years old) and babbling (4 months) involving the bucco-praxis skills [8] in favor of homogenous IQ profile. There is a high rate of advanced language development (first sentences around 18 months) in HIP and all the more in heterogenous IQ profile, pointing out linguistic skills [63]. The HIP children with this heterogeneous profile probably compensate the motor abilities by the language. Thus, the indexes' distribution appears coherent with this finding as the VCI was higher in heterogenous profile while VSI, FRI, WMI, and PSI were higher in homogenous profile. This is in accordance with literature [42, 64, 65].

Any statistical correlation was shown with the IQ level and heterogeneity in our study. This is in opposition with the recent Brasseur and Goldschmidt's Belgium study [66] finding that the more the IQ increases, the more the dispersion between indexes appears. This study is only based on 28 children ($IQ \geq 125$) and without comparison with neurotypical children, without intra-group analysis,

neither supplemental data such as developmental trajectory.

Besides, we have thoroughly explored the development of other motor activities of daily life in our sample. We showed that "struggling to put clothes correctly," "difficulties putting clothes on the right side," "difficulties tying shoelaces," and "correct use of a knife" was depended on IQ profile with a high rate of difficulties in HIP children in the heterogeneous profile group (respectively 27% vs. 4% in homogenous profile; 32% vs. 4%; 41% vs. 7%; 64% vs. 11%). These difficulties of daily life abilities were significantly and positively correlated with "Clumsiness milestone". In addition, regarding games and scholar abilities, there is also a significant relationship between heterogeneous profile and difficulties to "play puzzles" (23% vs 7% in homogenous profile), to "play construction games", (23% vs 7%) "autonomy difficulties" (23% vs 4%), "attention difficulties" (36% vs 18%), and "difficulties in adaptability to collective games" (23% vs 7%).

These findings highlight the difficulties in the acquisition of coordinated motor skills in heterogeneous profile concerning criterion A of the developmental coordination disorder diagnosis (DCD) in DSM-5 [54]: "The acquisition and execution of coordinated motor skills are substantially below that expected given the individual's chronological age and opportunity for skill learning and use. Difficulties are manifested as clumsiness (e.g., dropping or bumping into objects) as well as slowness and inaccuracy of performance of motor skills (e.g., catching an object, using scissors or cutlery, handwriting, riding a bike or participating in sports)". Thus, the finding confirmed a significant and consistent impact on daily life activities, hobbies, games, and scholarly abilities. There is also under Criterion B of DSM-5: "The motor skills deficit in criterion A significantly and persistently interferes with activities of daily living

J Pediatr Perinatol Child Health 2021; 5 (1): 052-071
appropriate to chronological age (e.g., self-care and self-maintenance) and affects academic/school productivity, prevocational and vocational activities, leisure and play." When we check the DSM-5 criteria, we find that our heterogeneous HIP sample meets all the diagnosis criteria (A and B) of the DCD and criterion C, "Onset of symptoms is in the early developmental period." Moreover, criterion D: "The motor skills deficits are not better explained by intellectual disability (intellectual developmental disorder) or visual impairment and are not attributable to a neurologic condition affecting movement (e.g., cerebral palsy, muscular dystrophy, degenerative disorder)."

The early neuromotor milestones development in HIP children was highlighted in the current study because it followed the specific advance of maturation process. The quality of motor coordination skills which are linked to a motor learning skill depends on IQ profile in our sample of heterogeneous profile and from early childhood. This is congruent with literature that showed that motor milestones are not systematically delayed by a DCD [8, 67, 68], but the acquisition of coordinated motor skills remains below chronological age as DSM-5 criteria [54]. This DCD diagnosis is undoubtedly overlooked in the HIP population because the high level of language is often dominant, and most psychologists taking only into account the superior verbal level in IQ even if the other indexes are in average. Our relevant findings confirm our previous study [69], pointing out the similarity of clinical features DCD in HIP children compared to neurotypical children with DCD. Thus, we can again assert that HIP children can mask learning disabilities with a heterogeneous IQ profile, VSI being more affected by DCD. This questions why a lower FIQ (120-129) may emphasize a misdiagnosis of the HIP. Moreover, in our present study, we noted that the FIQ of the heterogeneous group was lower than the FIQ of the homogeneous group. This could highlight the limit of the WHO criterion

DOI: 10.26502/jppch.74050063
considering HIP (FIQ \geq 130) [4-5]. The current study shows that 41% of heterogeneous profiles present suspicion of DCD, which is a high rate of the total heterogeneity variance. We suppose that the profile could be differently influenced by index scores.

We demonstrated the links between WMI, PSI, VSI indexes and the difficulties in acquiring coordinated motor skills mentioned above. Also, in HIP children with heterogeneous profiles, we identified the same indexes as lower scores, and they are significantly and negatively correlated to the clumsiness milestone. In the literature, a study [70] showed that DCD is associated with visuospatial impairment and deficits in short-term working memory, underlining an influence on the WMI index. Certain studies [67, 69,71] about subtypes DCD have specified that Visio-Spatial/Constructive DCD is characterized by specific disorders in visuomotor integration and visuospatial motor construction, associated with ocular pursuit disorders which could be related to the low VSI index in these children attesting that the VSI index could be affected by DCD. Also, a meta-analysis [72] based on 50 studies showed a significant gap in visual-spatial processing with impairments in kinesthetic and intermodal processing in DCD. This meta-analysis highlights the unanimity of studies supporting visual perception problems associated with motor coordination difficulties.

Regarding the PSI index, a study [73] showed that children with DCD have a heterogeneous cognitive profile showing difficulties with the processing speed index (PSI), a key element in motor tasks. Another study [74] confirmed that children with DCD were significantly slower on all tasks, especially WMI and PSI, supporting past evidence of a timing deficit in these children. The latest study of Vaivre-Douret [75] demonstrated from an IQ profile of a case study that the significant decrease of indexes related to the high score of verbal indexes was

J Pediatr Perinatol Child Health 2021; 5 (1): 052-071
linked to neurodevelopmental disorders (mainly motor function and DCD) not sparing the HIP child. Furthermore, there are 59% of the variance that could explain other disorders in HIP children with heterogeneous IQ profile as they have already shown in studies as attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD), psycho-socio-affective disorders, learning disabilities [40-44].

5. Conclusion

This study highlights in a representative sample a relevant early motor development similarly to the language advance for HIP children compared to neurotypical children; around 2 months on average. The findings about difficulties with daily life abilities in HIP suggest a great interest to assess early motor coordination skills to identify future DCD relative to DSM-5 criteria. The analysis of HIP IQ profile at school age showed that VCI was higher in heterogenous profile while VSI, FRI, WMI, and PSI were higher in homogenous profile outlining protective factors.

In addition, we displayed that an important part of the heterogeneity (41%) could be explained by a suspicion of DCD which be early tracked down with significant difficulties impacting on daily life activities, games and scholar abilities. VSI being more affected by DCD, children may have lower FIQ (120-129) which may emphasize a misdiagnosis of HIP at school age pointing out the importance that clinicians analyze in depth the variability of the index scores in the IQ profile. Thus, these motor developmental features may be useful measure as a following outcome of HIP to take into account by pediatrics and psychomotor therapists. However, it is important to assess with standardized normative developmental scale. These findings have significant implications for research and clinical practices. The first limitations of the present study suggest to confirm the data in a larger sample size, and to

DOI: 10.26502/jppch.74050063

use the similar anamnestic data for neurotypical children because it was obtained from our previous study. Secondly, there are possible relative errors linked to parents' responses regarding retrospectives data. Thirdly, further analyzes of the rest of the variance may provide other factors to understand heterogeneity of the IQ profile.

Acknowledgments

We are grateful to the children, their families, all the schools, teachers and leaders involved in this study, especially Mrs. Nelly Dussausse and Mr. Philippe Person. We also thank for his precious help to have revised the English of this paper, Mr. Malcolm Buxton (Research Analyst at Harvard University). This research was supported by the "Institut Universitaire de France (IUF)" {Grants numbers L17P99, IUF004}, the "Fondation pour la Recherche en Psychomotricité et Maladies de Civilisation (FRPMC) of the France Foundation, and the "Association Nationale Recherche et Technologie (ANRT)". The funding sources were not involved in the study design, the collections, analysis, and interpretation of data, the report's writing, or the decision to submit the article for publication.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationship that might be perceived as posing a conflict or bias could influence the work reported in this paper.

References

1. Lombroso C. The Man of Genius. London: Walter Scott (1891).
2. Terman LM. Mental and Physical Traits of a Thousand Gifted Children: Genetic Studies of Genius. California: Stanford University Press (1925).
3. Spearman CE. "General intelligence" objectively

- determined and measured. *American Journal of Psychology* 5 (1904): 201-293.
4. Wechsler D. *WISC-V: Wechsler Intelligence Scale for Children: technical and interpretive manual*. Paris: Centre de Psychologie Appliquée-Pearson (2016).
 5. World Health Organization (WHO). *Expert Committee on Mental Health: report on the second session, Geneva, 11-16 September 1950*. World Health Organization (1951).
 6. Brown SW, Hwang MT. Factor analysis of Responses to the WISC-R for gifted children. *Psychological reports* 69 (1991): 99-107.
 7. Bessou A, Montlahuc C, Louis J, et al. Psychometric profile of 245 intellectually precocious children at WISC III. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant* 81 (2005): 23-28.
 8. Vaivre-Douret L. Developmental and cognitive characteristics of "high-level potentialities" (highly gifted) children. *International Journal of Pediatrics* (2011).
 9. Charkaluk ML, Forhan A, Heude B, et al. 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 (2017): 272-279.
 10. Vaivre-Douret L. Les The developmental characteristics of children's sample with high potentialities (gifted children): preventive follow-up. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence* 52 (2004): 29-141.
 11. Brunet-Lézine. *Revised Scale of Psychomotor Development of Infancy*. Paris: Centre de Psychologie Appliquée-Pearson (2001).
 12. Vaivre-Douret L. *Precise Theoretical and Practical of Motor Development, DF-MOT*. Paris: Centre de Psychologie Appliquée-Pearson (2004).
 13. Kincaid D. A study of highly gifted elementary pupils. *Gifted Child Quarterly* 13 (1969): 264-267.
 14. Arffa S. 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 (2007): 96978.
 15. Tucker B, Lu Haferstein N. Psychological intensities in young gifted children. *Gifted Child Quarterly* 41 (1997): 66-75.
 16. Tolan SS. Psychomotor overexcitability in the gifted: An expanded perspective. *Advanced Development* 6 (1994): 77-86.
 17. Gross MUM. Small poppies: Highly gifted children in the early years. *Roeper Review* 21 (1999): 207-214.
 18. Stoeger H, Ziegler A, Martzog P. Deficits in fine motor skill as an important factor in the identification of gifted underachievers in primary school. *Psychology Science* 50 (2008): 134-146.
 19. Stoeger H, Ziegler A. Deficits in fine motor skills and their influence on persistence among gifted elementary school pupils. *Gifted Education International* 29 (2013): 28-42.
 20. Rinn AN, Mendaglio S, Moritz Rudasill K, et al. Examining the relationship between the overexcitabilities and self-concepts of gifted adolescents via multivariate cluster analysis. *Gifted Child Quarterly* 54 (2010): 3-17.
 21. Loureiro IS, Lowenthal F, Lefebvre L, et al. Study of the psychological and psychobiological characteristics of children with high potential. *Enfance* 1 (2010): 27-44.
 22. Winisdorffer J, Vaivre-Douret L. Detection of the child with high potentialities (gifted child): contributions of a longitudinal retrospective study of 19 children over 18 years of exercise in rural areas. *La revue du praticien* 62 (2012): 1205-

23. Bildiren A. Developmental characteristics of gifted children aged 0–6 years: parental observations. *Early Child Development and Care* 188 (2018): 997-1011.
24. Vaivre-Douret L, Burnod Y. Development of a global motor rating scale for young children (0–4 years) including eye–hand grip coordination. *Child: care, health and development* 27 (2001): 515-534.
25. Vaivre-Douret L. The early features of children with high potential. *Journal français de psychiatrie* 1 (2003): 33-35.
26. Vaivre-Douret L. A new French scale for evaluating motor development in young children (0-4 years): benchmarks for clinical and research. *Devenir* 15 (2003): 179-189.
27. Legros L, Zaczek S, Vaivre-Douret L, et al. Concurrent and predictive validity of the Motor Functional Development Scale for Young Children in preterm infants. *Early Human Development* 151 (2020): 105240.
28. Vaivre-Douret L, Lalanne C, Charlemaïne C, et al. Relationship between growth status at birth and motor and cognitive development in a French sample of gifted children. *European review of applied psychology* 60 (2010): 1-9.
29. Wechsler D. *Manual for the WISC-R*. New York: Psychological Corporation (1974).
30. Grégoire J. *Assess the child's intelligence*. Paris: Mardagua (1998).
31. Carroll JB. *Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies*. New York: Cambridge University Press (1993).
32. Labouret G, Grégoire J. Intra-individual dispersion and the profile of high IQ scores. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant* 154 (2018): 271-279.
33. Pereira-Fradin M. Intra-individual variability in children with high intellectual potential. *Psychologie française* 49 (2004): 253-266.
34. Jambaqué I. Contribution of developmental neuropsychology to the study of high potential subjects: a review of questions. *Psychologie française* 49 (2004): 267-267.
35. Liratni M, Pry R. Psychometrics and WISC IV: what future for the identification of children with high intellectual potential?. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence* 55 (2007): 214-219.
36. Alsop G. Asynchrony: Intuitively valid and theoretically reliable. *Roeper Review* 25 (2003): 118-127.
37. Mueller HH, Dash UN, Matheson DW, et al. WISC-R subtest patterning of below average, average, and above average IQ children: A meta-analysis. *Alberta Journal of Educational Research* 30 (1984): 68-85.
38. Vaivre-Douret L. Developmental characteristics of the child with “high-level potentialities” and understanding of trajectories to depression at school age in elementary and in high school. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence* 67 (2019): 140-151.
39. Loureiro IS, Lowenthal L, Lefebvre L, et al. Attention deficit disorder in high potential children: an exploratory study. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant* 101 (2009): 317-322.
40. Vaivre-Douret L, Planche P. Homogeneous or Heterogeneous IQ Profile: Some Clinical Characteristics to Differentiate High Intellectual Potential and Asperger's Syndrome in Children. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders* 4 (2020): 191-217.
41. Hamdioui S, Vaivre-Douret L. Clinical Markers of Dysgraphia According to Intellectual Quotient in Children with Developmental Coordination

- Disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders* 4 (2020): 366-382.
42. Tordjman S, Vaivre-Douret L, Chokron S, et al. High-potential children in difficulty: contributions from clinical research. *L'Encéphale* 44 (2018): 446-456.
43. Tordjman S, Kermarrec S. Myths and realities about children with high intellectual potential in difficulty: the contributions of research. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence* 67 (2019): 130-139.
44. Weismann-Arcache C. Heterogeneity or disharmony? Mental Functioning Clinic for High Potential Children. *Bulletin de psychologie* 5 (2006): 481-489.
45. Holocher-Ertl S, Seistock D. Relative weaknesses in visual-motor skills und visual-spatial perception as risk factors inhibiting the development of gifted children and adolescents: an analysis of AID 3 intelligence-test profiles for children with superior intelligence. *Psychological Test and Assessment Modeling* 61 (2019): 301-319.
46. Boschi A, Planche P, Hemimou C, et al. From high intellectual potential to Asperger syndrome: evidence for differences and a fundamental overlap - a systematic review. *Frontiers in psychology* 7 (2016): 1605.
47. Guénolé F, Speranza M, Louis J, et al. Wechsler profiles in referred children with intellectual giftedness: associations with trait-anxiety, emotional dysregulation, and heterogeneity of Piaget-like reasoning processes. *European journal of paediatric neurology* 19 (2015): 402-410.
48. Chiang HM, Tsai LY, Cheung YK, et al. A meta-analysis of differences in IQ profiles between individuals with Asperger's disorder and high-functioning autism. *Journal of autism and developmental disorders* 44 (2014): 1577-1596.
49. Ghaziuddin M, Mountain-Kimchi K. Defining the intellectual profile of Asperger syndrome: Comparison with high-functioning autism. *Journal of autism and developmental disorders* 34 (2004): 279-284.
50. Ozonoff S, South M, Miller JN. DSM-IV-defined Asperger syndrome: Cognitive, behavioral and early history differentiation from high-functioning autism. *Autism* 4 (2000): 29-46.
51. McCoach DB, Kehle TJ, Bray MA, et al. Best practices in the identification of gifted students with learning disabilities. *Psychology in the Schools* 38 (2001): 403-411.
52. Brody LE, Mills CJ. Gifted children with learning disabilities: A review of the issues. *Journal of learning disabilities* 30 (1997): 282-296.
53. Terrassier JC. Early intellectually children. *Archives de Pédiatrie* 16 (2009): 1603-1606.
54. American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders: DSM-5*. 5th edn. Washington, DC: American Psychiatric Publishing (2013).
55. Wagner III WE. *Using IBM® SPSS® Statistics for Research Methods and Social Science Statistics*. 7th ed. SAGE Publications (2019).
56. Simoes-Loureiro I, Lefebvre L, Vaivre-Douret L. Contribution of intellectual, psychological, developmental and socio-economical data to highlight specific profiles of highly gifted children. In: J. C. Kush (dir.), *Intelligence Quotient: testing, role of genetics and the environment a social outcomes*. New-York: Nova publishers (2013): 169-183.
57. Thomas MS. A neurocomputational model of developmental trajectories of gifted children under a polygenic model: When are gifted children held back by poor environments?. *Intelligence* 69 (2018): 200-212.

58. Feinstein L. Inequality in the early cognitive development of British children in the 1970 cohort. *Economica* 70 (2003): 73-97.
59. Terrassier JC. The dyssynchrony syndrome. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence* 27 (1979): 445-450.
60. Navas-Sánchez FJ, Alemán-Gómez Y, Sánchez-Gonzalez J, et al. White matter microstructure correlates of mathematical giftedness and intelligence quotient. *Human Brain Mapping* 35 (2014): 2619-2631.
61. Nusbaum F, Hannoun S, Kocevar G, et al. Hemispheric Differences in White Matter Microstructure between Two Profiles of Children with High Intelligence Quotient vs. Controls: A Tract-Based Spatial Statistics Study. *Frontier in Neuroscience* 11 (2017): 173
62. Reed TE, Jensen AR. Conduction velocity in a brain nerve pathway of normal adults correlates with intelligence level. *Intelligence* 16 (1992): 259-272.
63. Martel K, Leroy-Collombel M. From chirping to the first word: role of preverbal skills in access to language. *Speech therapy* 244 (2010): 77-94.
64. Quartier V, Losa I, Brodard F, et al. Relevance and implications of the normative threshold for the identification of children with high intellectual potential. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant* 161 (2019): 541-546.
65. Litrani M, Pry R. Psychometric profile of 60 high potential children at WISC-IV. *Pratiques psychologiques* 18 (2012): 63-74.
66. Brasseur S, Goldschmidt I. WISC-V in young people with high intellectual potential: findings, questions and clinical use. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant* 169 (2020): 693-701.
67. Vaivre-Douret L, Lalanne C, Ingster-Moati I, et al. Subtypes of developmental dyspraxia and developmental coordination disorder (DCD): Research on their nature and etiology. *Developmental Neuropsychology* 36 (2013): 614-643.
68. Vaivre-Douret L, Lalanne C, Golse B. Developmental Coordination Disorder, An Umbrella Term for Motor Impairments in Children: Nature and Co-Morbid Disorders. *Frontiers in Psychology* 7 (2016).
69. Vaivre-Douret L, Hamdioui S, Cannafarina A. The Influence of IQ Levels on clinical features of developmental coordination disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders* 4 (2020): 218-234.
70. Alloway TP, Rajendran G, Archibald LMD. Working Memory in Children with Developmental Disorders. *Journal of Learning Disabilities* 42 (2009): 372-382.
71. Robert MP, Ingster-Moati I, Albuissou E, et al. Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children with developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology* 56 (2014): 595-600.
72. Wilson PH, McKenzie BE. Information processing deficits associated with developmental coordination disorder: A meta-analysis of research findings. *Journal of child psychology and psychiatry* 39 (1998): 829-840.
73. Sumner E, Pratt ML, Hill EL. Examining the cognitive profile of children with developmental coordination disorder. *Research in developmental disabilities* 56 (2016): 10-17.
74. Piek JP, Dyck MJ, Francis M, et al. Working memory, processing speed, and set-shifting in children with developmental coordination disorder and attention-deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology* 49 (2007): 678-683.

75. Vaivre-Douret L. Motor disorders underlying the heterogeneous profile of WISC-V in children with high potential: contributions of the

standardized neuropsychomotor assessment (NP-MOT). *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant* 169 (2020).



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution \(CC-BY\) license 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Clinical Markers of Dysgraphia According to Intellectual Quotient in Children with Developmental Coordination Disorder

Soukaina Hamdioui^{1,2}, Laurence Vaivre-Douret^{2,3,4,5,6*}

¹Faculty of Society and Humanity, Division of Psychology, Université de Paris, France

²National Institute of health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Faculty of Medicine, University of Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France

³Faculty of Health, Division of Medicine Paris Descartes, Université de Paris, France

⁴University Institute of France (Institut Universitaire de France, IUF), Paris, France

⁵Department of Child Psychiatry, Assistante Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker-Enfants Malades University hospital, Paris, France

⁶Department of Endocrinology, IMAGINE Institute, Necker-Enfants Malades Université de Paris, France

***Corresponding Author:** Prof. Laurence Vaivre-Douret, PhD, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, INSERM UMR 1018-CESP, Carré Necker Porte N4,149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France, Tel : +33 (0) 1.44.49.40.14; E-mail: laurence.vaivre-douret@inserm.fr

Received: 18 September 2020; **Accepted:** 25 September 2020; **Published:** 09 November 2020

Abstract

Objective: Handwriting difficulties are commonly observed in children with high intellectual quotient (HIQ) and generally associated to developmental coordination disorder (DCD) but remain poorly understood. The aim of our study is to refine the specific clinical features of handwriting disorders in children with DCD regarding their IQ level.

Method: Neurovisual, neuroimaging, neuropsychological, neuropsychomotor functions, and handwriting performances of 38 children (6-to-12 years-old: mean 9y, SD 2.7), diagnosed with DCD (DSM-5 criteria), were analyzed. Among them, two matched groups were studied according to the Full IQ (FIQ) level: 19 typical-children (FIQ=90-110) and 19 HIQ children (FIQ \geq 120).

Results: Handwriting difficulties were present in both groups without statistical difference. Dysgraphia was significantly related to pyramidal-tract-dysfunction ($p=0.01$) and electroretinogram abnormalities ($p=0.03$) in both groups. In HIQ children, a specific marker was identified: visual gnosis impairment associated to deficit of visual-spatial memory.

Conclusions: Dysgraphia is a severe diagnosis involving the central nervous system, affecting the motor and neurovisual pathways and it rather appears as a comorbidity to DCD. Neurological-soft-signs and electroretinogram abnormalities can be considered as interesting clinical markers of dysgraphia in children with DCD. Children having $FIQ \geq 120$ display visual gnosis disorder as a specific clinical marker of dysgraphia.

Keywords: Handwriting disorders; Dysgraphia; Developmental coordination disorder; High intellectual quotient; Neurological soft signs; Developmental assessment

Abbreviations

ADHD = Attention Deficit-Hyperactivity Disorder

DCD = Developmental Coordination Disorder

ERG = Electroretinogram

FIQ = Full Intellectual Quotient

HIQ = High Intellectual Quotient

IM = Ideomotor

MANOVA = Multivariate Analysis of Variance

MX = Mixed subtype

NP-MOT = Developmental neuropsychomotor battery

NSS = Neurological Soft Signs

PSR = Phasic Stretch Reflex

VCI = Verbal Comprehension Index

VEP = Patterns of Visual Evoked Potential

VSC = Visuo-Spatial/ or Constructional

VSI = Visual Spatial Index

1. Introduction

Handwriting is a complex developmental process requiring perceptual, motor cognitive, and emotional capacities [1, 2]. A literature review highlights the different terms used to describe handwriting disorder: poor writing [3], handwriting dysfunction [4], dysgraphia [5] or learning disability handwriting (including poor handwriting and dysgraphia) [6]. Other authors defined “motor dysgraphia” as a disorder in fine motor coordination, proprioception,

and visual perception, characterized by slowing only in writhing activity [7]. However, there is still no consensus in the literature regarding the definition of handwriting disorder and their etiology remaining poorly understood. Lopez et al. [8, 9] differentiated dysgraphia from poor handwriting identifying six specific handwriting criteria (Table 1). In the current study, we dissociated between dysgraphia and poor handwriting, considering dysgraphia to be a marked degree of handwriting impairment.

Criteria	Details
Criterion 1: Irregular handwriting	Irregular spaces between letters, words and lines, irregularity in letter size.
Criterion 2: Immaturity of handwriting gesture	Gestural developmental organization of the upper limb (according to a joint repository of gestural organization shoulder-elbow-wrist-fingers) allowing the child to perform the fine motor gestures required to form letters.
Criterion 3: Excessive pressure of the open on the paper	Pen pressure on the paper.
Criterion 4: Neuro-vegetative responses	Sweating, pain, respiratory breaks.
Criterion 5: Trembling	Handshake when writing.
Criterion 6: Slow handwriting velocity	Scores based on interquartile range ($\leq Q3$).

Table 1: Handwriting qualitative criteria identified in the study of Lopez et al. (2016).

The international DSM-5 classifications “Impairment in written expression” [10] and DSM-4 “disorder of writing expression” [11] does not include “handwriting difficulties”. However, DSM-4-TR page 56 states a disorder in spelling or handwriting alone, in the absence of other difficulties of written expression, generally does not qualify for a diagnosis of disorder of written expression. If poor handwriting is due to impairment in motor coordination, a diagnosis of Developmental Coordination Disorder (DCD) should be considered [12]. Handwriting difficulties are often linked to learning disabilities (e.g. dyslexia, dysorthographia, attention deficit-hyperactivity disorder (ADHD), DCD). It is a public health issue often alerting clinicians whatever the level of intelligence quotient (IQ), but it is often noted in children with high IQ (HIQ). Certain authors putatively explained this by a dysynchrony between intellectual and motor performances as a developmental fact in these children, because they think faster than they write, causing a poor handwriting [13-15]. According to the normal distribution and mainly to the Gaussian curve of the Wechsler intelligence scale [16], a Full IQ (FIQ) from 120 to 129 (6.7% of the general population) is considered as superior. Very superior FIQ beginning at 130 (2.5%), two standard deviations from the mean, qualified as high intellectual potential. Thus, are children with a high FIQ really characterized systematically and significantly by handwriting difficulties compared to children with an average FIQ? To answer this question, it is interesting to study

the clinical features of handwriting disorders in a group of children with high FIQ compared to a matched group with average FIQ. Handwriting disorders are often assessed with a single test based on writing product only, without deep analyze of other functions involved in handwriting: primarily the Concise Children's Handwriting Rating Scale (BHK) [17] or Scale for rapid assessment of children's writing [18], the Children's Handwriting Assessment Tool (ETCH) [19], the Minnesota Handwriting Assessment (MHA) [20], the Detailed Assessment of Writing Speed (DASH) [21].

Children with DCD are particularly affected by handwriting disorders (87-88%) [22, 23] but no study has analyzed these difficulties in children with DCD regarding their IQ in inclusion criteria. The study of handwriting disorders in DCD is all the more complex because, despite the consensus of terminology and diagnosis reached by international researchers [24], DCD remains poorly understood and studies do not use the same tools to identify their groups of children with DCD. Certain studies shed light on the features of DCD, using clustering method and normative age-related data with a deep standardized assessment including cognitive, neuromotor and neurovisual tests, highlighting DCD subtypes with specific diagnostic markers [23, 25-27]. They identified two mainly pure DCD subtypes: ideomotor-DCD (MI) (8%), visuo-spatial/or visuo-constructional-DCD (VSC) (52%) and a mixed subtype (MX) (40%). Children with IM-DCD had as diagnostic markers significant alterations in manual practice, digital perception, and imitation of gestures. The VSC subtype was characterized by impairments in visual spatial motor structuring and/or construction skills visual motor integration, while the MX subgroup shared impairments common to IM and VSC, with in addition poor manual dexterity, specific impairments in motor coordination of the lower and upper limbs, and neurological soft signs (NSS) suggesting synkinesis, adiadochokinesis, and other comorbidities (e.g. impaired executive function, impaired auditory memory). All children in VSC and MX subtype had handwriting disorders. It thus appears very interesting to specify the clinical features of handwriting disorders according to DCD subtypes which could be useful for clinical decision-making processes (diagnosis and remediations).

The purpose of the current study was to analyze neuropsychological, neuropsychomotor, neuroimaging and neurovisual characteristics, to refine the specific features of handwriting disorders (dysgraphia/poor handwriting) in children with DCD, regarding their IQ. The first hypothesis explores if dysgraphia appears such as a developmental fact in children with DCD comparing a group with high FIQ and another with an average FIQ. The second explores if there are specific clinical features of dysgraphia in both groups, using neuroimaging, standardized developmental assessment of neuropsychological, neurovisual and neuropsychomotor functions, including neurological soft signs evaluation.

2. Methods

2.1 Ethical approval

The Intuitional ethic committee of Paris Descartes University approved our study (CER-PD 2019-49; CER-PD 2019-93). Participants provided written informed consent before the start of the study, signed by a parent or legal representative and children before enrolment in the study.

2.2 Participants

Data from 38 DCD children aged 6 to 12 years-old (mean 9y, SD 2.7) were recruited in the outpatient consultation of child psychiatry departments at Necker Hospital University in Paris, France. All of them met the DCD criteria DSM-5 [10] to be included. Inclusion criteria were strict: Children with sensory and severe visual abnormalities (e.g. strabismus, amblyopia, nystagmus), a diagnosis of severe language disorders, genetic disorder, traumatic brain injury, general medical abnormalities, or ADHD, autism spectrum disorder, psychiatric abnormalities (according to DSM-5 criteria) were not included. Nor was any child born premature (<37 weeks) and no physical therapy neither medication. Children who met inclusion criteria were assigned to the three DCD subtypes validated in a previous study and described above [23, 25, 28]: IM, VSC, and MX-DCDs. Among the 38 children, we dissociated two matched groups in accordance with Gaussian curve of Wechsler intelligence scale [16]: 19 typical children (FIQ=90-110) with DCD and 19 HIQ children (≥ 120) with DCD. Within this last group, we distinguished superior FIQ starting at +1.33 SD (FIQ=120-129), and very superior FIQ at +2 SD (FIQ ≥ 130) who are identified as gifted children by the Wechsler intelligence scale [16]. The two groups were matched according to sociodemographic data, age, language disorder, and ophthalmological abnormalities.

All children underwent extensive neuropsychological, brain Magnetic Resonance Imaging (MRI) scans, handwriting assessment, neurovisual, anamnestic form, and developmental neuropsychomotor assessment.

2.3 Measures

2.3.1. Neuropsychological and Handwriting assessment: All children completed a standard measure of intelligence, the Wechsler Intelligence Scale for children (WISC-4) according to the age [16]. Verbal Comprehension Index (VCI), Visual Spatial Index (VSI), and FIQ scores were expressed as standardized scores (mean 100, SD=15). Auditory memory and working memory were also analyzed in addition to visual spatial structuring with Kho's cubes, and mental executive functions of planning with the Porteus Labyrinth test and Tower of London test [29]. Visual spatial organization and memory were evaluated with copying and memorization of a complex geometric figure [30], and the visual motor integration by Beery-VMI test [31]. Visual perception was assessed with tangled lines and naming of animals seen in outline from the rear and outlines of muddled fruits (standardized and normed tests) [23]. Kinesthetic perception was assessed with a "status test", in which the child's arm and finger are positioned in a posture that he must remember and repeat with eyes closed. Language was assessed by the ODEDYS test and the N-EEL battery [32-33].

Regarding handwriting evaluation, we used the French handwriting scale of the Ajuriaguerra test correlated at 0.78 with the BHK French adaptation scale [17], including an assessment of quality of gesture, of the regularity and form of letters, and a specific dysgraphia scale with criteria allowing to detect dysgraphia. Then, we analyzed poor handwriting and dysgraphia (scoring higher than 19, following the scoring guidelines of author). We also extracted the six qualitative handwriting criteria described in the study of Lopez et al. [8].

2.3.2. Neuropsychomotor developmental assessment: To evaluate neuropsychomotor physical functions, all children have been assessed with a standardized developmental neuropsychomotor battery (NP-MOT) [34]. It is a validated battery, applicable to children from 4 years old and has adequate test-retest reliability and internal consistency. Correlation coefficients of the NP-MOT with the Bruininks-Oseretsky Test Motor Proficiency (BOTMP) [35] range from 0.72 to 0.84, for motor coordination and balance. It allows physical standardized assessment of passive/active muscular tone of limbs and axial tone, NSS such as synkinesis, hypotonia, hypertonia with the presence of mild lower limb pyramidal tract abnormality such as the pyramidal stretch reflex (PSR), control and regulation in gross motor tasks (gait, balance, coordination), bodily spatial integration, laterality, and manual praxis, completed by imitation of gestures.

2.3.3. Brain MRI scans: T1, T2, FLAIR, neurovisual assessment and other measures: Anatomical MRI was performed with a 1.5 Tesla (Signa General Electric) scanner using the following sequences: 3D T1-weighted sequence, axial and coronal FSE T2-weighted imaging and coronal FLAIR sequences.

The electro-physiological examination of neurovisual functions consisted of Electroretinogram test (ERG), Patterns of Visual Evoked Potential (VEP) were also recorded to detect brain abnormalities and analyze the visual motor pathways. The stimuli consisted of a high contrast black and white check of 60, 30, and 15 patterns element size in minutes, in a field of 30° as recommended by the International Society for Clinical Electrophysiology in Vision (ISCEV) standards. Amplitudes and peak latencies of ERG and VEP were compared to normative values. This assessment was preceded by ophthalmologic and orthoptic examinations including refraction.

An anamnesis form was also used to collect data about pregnancy and delivery, psychomotor development (e.g., sitting alone, walking), and any difficulties with constructional play, such as puzzles and Lego blocks following a model relative to developmental markers found in previous study [23].

2.4. Statistical analysis

We used R-software [36] for statistical treatment. Data were analyzed according to the intention-to-treat principle. We used p-values at 0.05 to indicate statistical significance and p-values at 0.01 if reached. We also applied the statistical error correction especially Bonferroni method to adjust for multiple comparisons. To analyze dependence between IQ_S and all DCD variables (continuous outcomes according to one or more classification factors),

parametric Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) was used. Comparisons of scores for the two groups were performed by Student's T-test (t). For the dichotomous variables the Pearson chi-square test (χ^2) was used (Two-way cross-classification between qualitative variables). Variables were coded as 0 for success to a test (meaning no disorder) or 1 for failure (indicating a probable disorder) based on regular scoring (standard deviation: $1 < SD < 20^{\text{th}}$ percentile according to the test). A Spearman's ρ test (ρ) for non-parametric correlations were used.

3. Results

3.1 Sample descriptive analyzes and parametric Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)

Sociodemographic and clinical characteristics of all children are presented in Table 2. Groups (HIQ children with DCD versus typical children with DCD) were matched according to sociodemographic data; age ($t = -0.069$, $df = 18$, $p = 0.945$ [95% CI, 95.16 to 124.24]), language disorder ($\chi^2 (1) = 0.2$, $p = 0.655$ [95% CI, 0.72 to 0.74]), and ophthalmological abnormalities ($\chi^2 (1) = 0$, $p = 1$ [95% CI, 1 to 1]). Only FIQ scores are identified as differentiation criterion of groups ($t = 12.87$, $df = 18$, $p < 0.0001$ [95% CI, 127.36 to 138.01]). However, we found 11% of language disorders, previously undiagnosed, especially dyslexia in HIQ children vs 16% in typical children with DCD, and 32% of ophthalmological abnormalities in both groups.

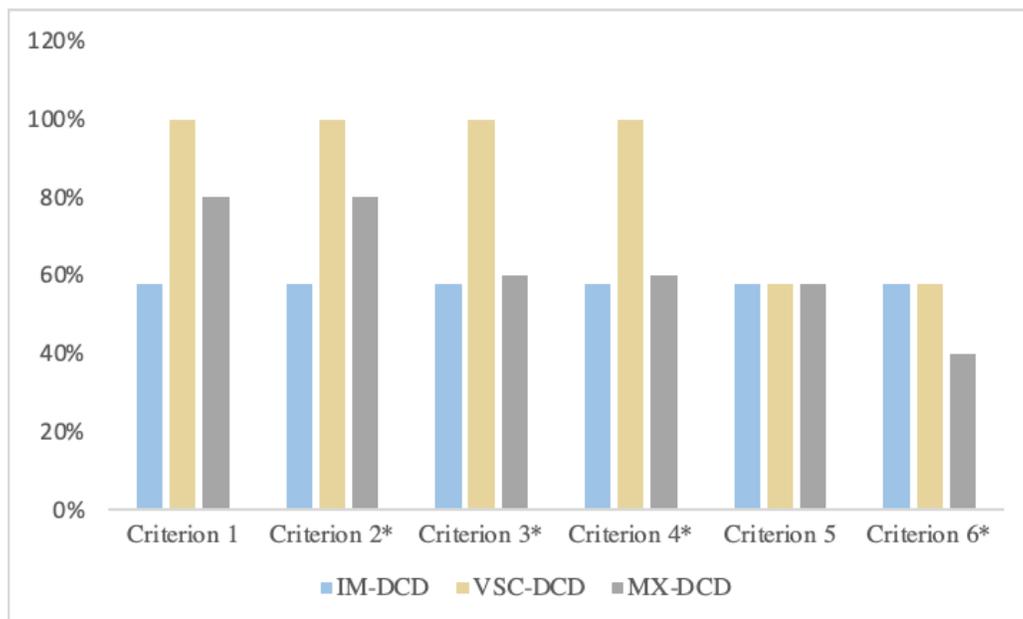
We identified 100% of handwriting disorders in both groups with high rate of poor handwriting compared to dysgraphia. We distinguished 95% of poor handwriting in both groups and 21% in typical children versus 26% in HIQ children with DCD of dysgraphia. In all our analyzes, no significant difference was shown within the HIQ group.

	Typical children with DCD (n=19)	HIQ children with DCD (n=19)
Age (months): mean (SD)	109.84 (33.72)	109.79 (33.34)
Gender (%)		
Female	5	10
Male	95	90
IQ mean (SD)		
FIQ	100.79 (6.83)	133.68 (11.95)
VSI	89.21 (11.21)	116 (21.10)
VCI	109.84 (13.78)	134.89 (13.82)

Legend: IQ: Intellectual Quotient; FIQ: Full Intellectual Quotient; VSI: Visual Spatial Index; VCI: Verbal Comprehension Index; HIQ: High intellectual quotient; DCD: Developmental coordination disorder; SD: Standard deviation.

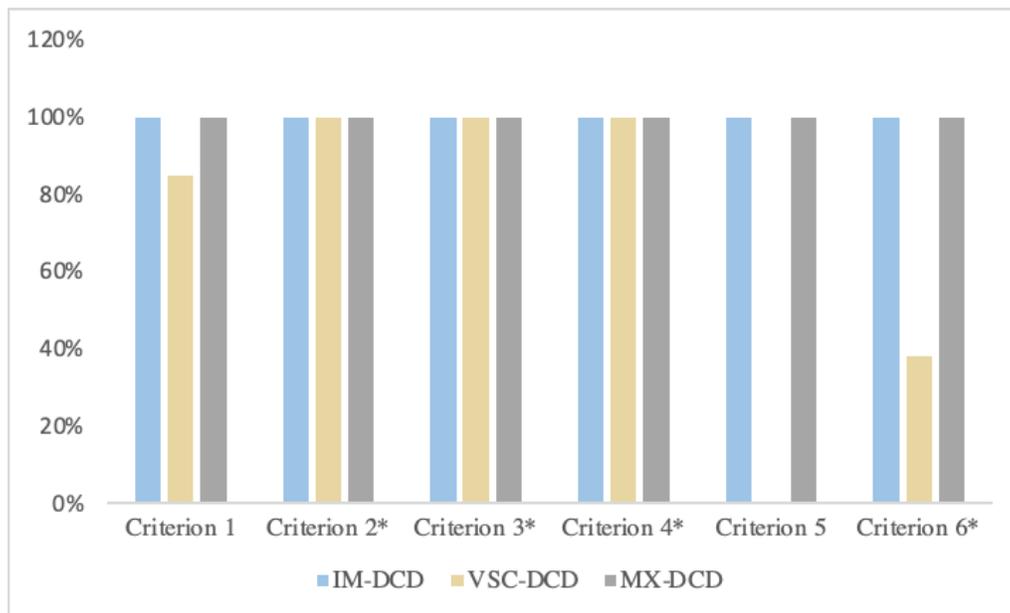
Table 2: Sociodemographic and clinical characteristics in HIQ ($FIQ \geq 120$) and typical children ($FIQ = 90-110$) with DCD (n=38).

Regarding DCD, the outcomes show a significant difference between groups regarding frequency of IM-DCD [$F(1, 36)=4.67, p=0.035$] and VSC-DCD [$F(1, 36)=5.28, p=0.03$] in favor of HIQ children but not for MX-DCD [$F(1, 36)=0.66, p=0.41$]. In HIQ children, we found 58% of MX, 5% of IM, and 37% of VSC DCD. About typical children with DCD, there were 21% of MX, 11% of IM, and 68% of VSC. Handwriting disorders were represented in both groups without significant difference whether poor handwriting [$\chi^2(1)=0.12, p=0.73$] neither dysgraphia [$\chi^2(1)=0.11, p=0.74$]. Regarding the DCD subtypes, dysgraphia was present only in MX-DCD in typical children with DCD and was present in MX and VSC-DCD in HIQ children with DCD. Otherwise, all subgroups displayed poor handwriting in all DCD subtypes. Regarding qualitative handwriting criteria, we identified the same in both groups: immaturity of gesture ($p<0.0001$), excessive pressure of the pen on the paper ($p<0.0001$), and neuro-vegetative responses ($p<0.0001$). They are identified in all DCD subtypes in typical children while there only found in VSC and MX-DCD in HIQ children (Figures 1 and 2):



Legend: DCD: Developmental Coordination Disorder; HIQ: High intellectual quotient; IM-DCD: Ideomotor-DCD; VSC-DCD: Visuo-spatial/ or constructional-DCD; MX-DCD: Mixed-DCD; Criterion 1: Irregular handwriting; Criterion 2: Immaturity of handwriting gesture; Criterion 3: Excessive pressure of the open on the paper; Criterion 4: Neuro-vegetative responses; Criterion 5: Trembling; Criterion 6: Slow handwriting velocity; *: significant difference $p<0.05$.

Figure 1: Distribution of qualitative handwriting criteria in HIQ children ($FIQ \geq 120$) with DCD.



Legend: HIQ: High intellectual quotient.

Figure 2: Distribution of qualitative handwriting criteria in typical children (FIQ=90-110) with DCD.

3.2 Relationship between neuropsychological functions and the level of handwriting disorder (poor handwriting, dysgraphia)

VCI, VSI, and FIQ scores were not significantly associated with either poor handwriting (respectively $p=0.58$, $p=0.52$, and $p=0.96$) or with dysgraphia (respectively $p=0.28$, $p=0.38$, and $p=0.15$) in all children. Only deficit of visual spatial memory is significantly related to dysgraphia in HIQ children ($p=0.01$). As well, IM-DCD has a significant, strong, and positive correlation with executive functions disorder ($p=0.001$) in HIQ children with DCD, and negative correlation between Kho's' cubes test failure ($p=0.006$), visual spatial memory ($p=0.05$) and VSC-DCD. We identified 16% of auditory-memory deficits and 5% of auditory-attention difficulties in typical children with DCD vs respectively 26% and 37% in HIQ children with DCD.

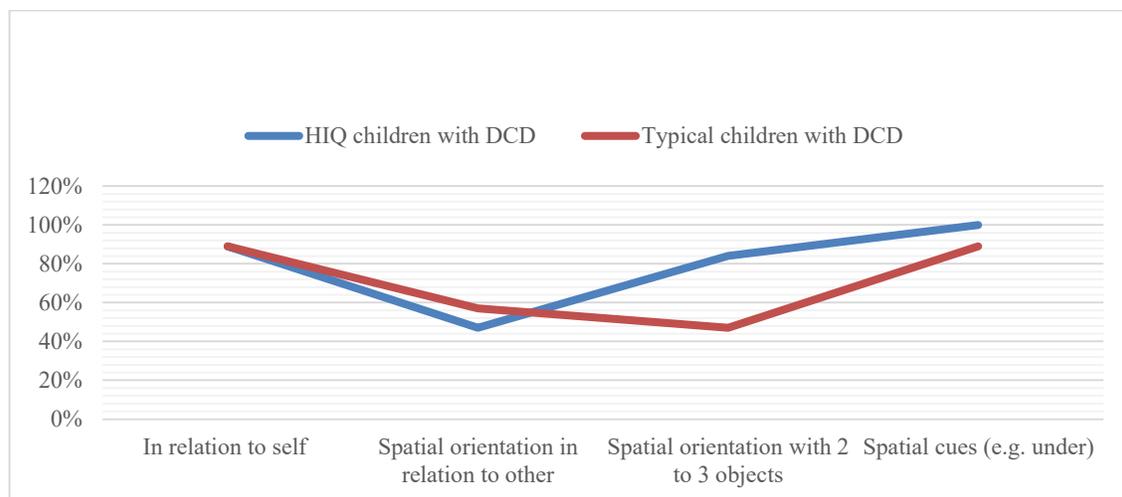
3.3 Relationship between brain MRI investigations and neurovisual functions regarding the level of handwriting disorder (poor handwriting, dysgraphia)

We displayed more abnormal MRI in typical children with DCD (42%) than in HIQ children with DCD (32%) but not significantly. The abnormalities detected were: posterior peri ventricular white matter anomalies, unilateral ventricular dilatation with small left hippocampus, ventricular dilatation and white matter posterior hyper-intensities with anomalies of hippocampus; hyper-intensity on T2 and FLAIR in the left pallidum; multiple punctate white matter hyper-intensities on T2 and FLAIR sequences and dilated Virchow-Robin spaces, small hippocampus

(Interuncal Index), dysgenesis of the corpus callosum (Vermis Cerebellar Atrophy), and non-specific cysts. These abnormalities are heterogeneous and non-specific to dysgraphia neither to PSR but were significantly ($p=0.014$) related to criterion-1 (irregular handwriting) in typical children with DCD.

Regarding electrophysiological examination of neurovisual functions, no significant difference was shown between both groups either dysgraphia or poor handwriting, but we identified significant correlations between dysgraphia and ERG in both groups (typical children with DCD: $p=0.04$; HIQ children with DCD: $p=0.03$). In Typical children with DCD, we identified 75% of abnormal horizontal pursuit, 50% of abnormal vertical pursuit, 100% of abnormal VEP, and 100% of abnormal ERG with dysgraphia. Depending poor handwriting in the same group, we have respectively found 61%, 33%, 94%, and 100%. In HIQ children with DCD children, there were 20% of abnormal horizontal pursuit, 60% of abnormal vertical pursuit, 60% of abnormal VEP, and 100% of abnormal ERG with dysgraphia. Depending poor handwriting in this group, we respectively found 65%, 65%, 88%, and 100%. No significant difference was shown between both groups.

Regarding visual perception, we have significantly shown [$\chi^2 (1)=3.6, p=0.05$], more visual gnosis disorder in HIQ children with DCD (89%) than in typical children with DCD (5%), and it was significantly related to dysgraphia in HIQ children ($p=0.03$).



Legend: HIQ: High intellectual quotient.

Figure 3: The rate of success in bodily spatial orientation test in HIQ group ($FIQ \geq 120$) compared to typical children ($FIQ=90-110$) with DCD.

3.4 Relationship between neuropsychomotor functions and the level of handwriting disorder (poor handwriting, dysgraphia)

Regarding neuropsychomotor features evaluated by NP-MOT battery, when comparing poor handwriting in typical versus HIQ children with DCD, we have respectively found 56% vs 17% who achieved object spatial orientation skill ($\chi^2(1)=3.77$, $p=0.05$ [95% CI, 86 to 97]), 39% vs 6% of buccofacial praxis success ($\chi^2(1)=4.5$, $p=0.03$ [95% CI, 65 to 75]). There was no significant difference between both groups regarding dysgraphia. In contrast, when comparing HIQ and typical children with DCD without poor handwriting, we respectively noted 84% vs 47% of success in object spatial orientation skill (Figure 3).

Regarding functional laterality, we found a statistical difference beginning at $QI=130$ ($\chi^2(1)=4.57$, $p=0.03$) [95% CI, 100 to 100]), with 33% of right-handed and 67% of left-handed vs 65% of right-handed and 35% of left-handed respectively.

Regarding dysgraphia, it was significantly related to distal pyramidal tract dysfunction ($p=0.01$) in whole sample without significant difference between groups. All dysgraphic children showed PSR and significantly adiadochokinesia ($p=0.002$), dynamic balance disorder ($p=0.012$), coordination impairments between upper and lower limbs ($p=0.01$). Frequency of coordination impairments between upper and lower limbs was higher in HIQ children but not significantly (respectively 50% vs 100%, $\chi^2(1)=1.29$, $p=0.26$ [95% CI, 45 to 47]) higher dynamic balance disorder (respectively 25% vs 100%, $\chi^2(1)=2.67$, $p=0.1$ [95% CI, 20 to 22]), and higher heterogenous laterality (gestual+psychosocial+spontaneous laterality) but not significantly (respectively 25% vs 100%).

4. Discussion

High IQ as in gifted children is characterized by an early maturation of the central nervous system manifested by early development, especially motricity and language [37]. However, this early maturation can be disturbed by a neurodevelopmental impairment as DCD. Nevertheless, we displayed a lower frequency of IM and VSC-DCD in HIQ children with DCD children while the frequency of MX-DCD is higher compared to typical children with DCD. Neuropsychological assessments results showed a significant and positive correlation between better executive functions and lower frequency of IM pure DCD in HIQ children group compared to typical children with DCD, also a significant negative correlation between Kho's' cubes test failure and lower frequency of VSC-DCD. Neuropsychomotor assessment showed a high rate of success of "spatial orientation with 2 or 3 objects" items in favor of HIQ group, highlighting a better mental representation. Thus, children with DCD and having $FIQ \geq 120$ have better skills of mental imagery and evocation through internal language to plan and to control constructive abilities. No significant difference is shown between children having $FIQ \geq 120$ and those having $FIQ \geq 130$. It highlights in HIQ group better activation and connectivity of the fronto-parietal lobe and cerebral cortex improving fluid reasoning [38]. Higher frequency of MX-DCD can be explained, in consistence with literature [23, 25, 27], by

specific impairments such as neurological soft signs suggesting adiadochokinesia, and difficulties in buccofacial praxis involving impairment of orofacial motricity in relation with the motor pathway and other comorbidities (high rate of auditory-memory and auditory-attention difficulties in HIQ children with DCD). It is essential not to neglect comorbidities influence on IQ scores for HIQ children as it might lower the FIQ (120-129).

Although it is well known that children with DCD have handwriting difficulties, this is the first study to our knowledge that analyze in-depth characteristics of poor handwriting and dysgraphia. There is no significant difference between the HIQ and typical children with DCD. These findings differed from literature studies [13, 14, 15] attesting a high rate in HIQ children and using non-in-depth evaluation and non-standardized assessments with developmental normative data for age. The high prevalence of poor handwriting in both groups (95%) and the low prevalence of dysgraphia (26% in HIQ vs 21% in typical children with DCD) is in accordance with the literature [9, 22] but not consistent with Graham's et al. study [3]. This could be explained by the non-differentiation between dysgraphia and poor handwriting. Moreover, we identified a higher rate of dyslexia in typical children with DCD compared to HIQ group but with a lower rate of dysgraphia and any significant correlation. Thus, in the present study, dysgraphia cannot be explained by ophthalmological abnormalities nor by language disorders. Therefore, dysgraphia appeared as a graphomotricity disorder independent from the language disorders (given the rigorous inclusion criteria excluding severe language disorders), and as a comorbidity to DCD. While poor handwriting in both groups seems due to an immaturity coordination of handwriting gesture, characterized by excessive pressure of the pen on paper and neurovegetative responses consecutive to disorders of coordination programming in DCD, affecting the synergic coordination of the upper limb.

Our findings highlight common clinical markers of dysgraphia for the two groups (HIQ and typical children with DCD), affecting the motor and neurovisual pathways, thus underlining a severe diagnosis involving the central nervous system. Dysgraphia was characterized by the association of nearly all handwriting qualitative criteria (1, 2, 3, 4, 6) in both groups. It was significantly related to a distal pyramidal tract dysfunction (PSR) in both groups without significant difference, linked significantly to dynamic balance disorder and to coordination impairments between upper-lower limbs. These results are consistent with the literature [39, 9] suggesting association between motor coordination impairments and dysgraphia, underlining motor programming impairment related to DCD. This may suggest the implication of a dysfunction of the pyramidal pathway, and of the occipito-temporo-parietal cortex [40]. In addition, the significant presence of neurological soft signs as adiadochokinesia, PSR, and higher heterogenous laterality confirms the alteration of the voluntary motor movement underpowered by the premotor cortex (motor pathway) with an alteration in the control of the motoneurons as was observed in the studies of Vaivre-Douret et al. and Chang et al. [39, 41]. At the anatomical level, the current outcomes displayed more abnormal MRI in typical children DCD (42%) than in HIQ children with DCD (32%) but not significantly. These abnormalities including the posterior peri-ventricular white matter anomalies, unilateral ventricular dilatation with

small left hippocampus, small hippocampus, dysgenesis of the corpus callosum, and non-specific cysts, are heterogeneous and non-specific to dysgraphia neither to PSR but were significantly related to criterion 1 (irregular handwriting) only in typical children with DCD. Although, the criterion-D of DSM-5 requires that the deficit in motor skills in DCD cannot be explained by a neurological impairment (often tested by Babinski's reflex), our results highlight the relevant contribution of a fine standardized clinical neuromotor examination of neurological soft signs (39%-80%) as in the developmental NP-MOT battery [34]. It should systematically be undertaken by pediatricians, physiotherapists, and occupational therapists to look for motor impairments such as dysdiadochokinesia of the hand and discreet spastic hypertonia (PSR) tested by the dorsiflexion of the foot.

Moreover, children with DCD identified with dysgraphia showed ERG abnormalities in both groups suggesting a disturbance of visual perception. There is also a high rate of abnormal horizontal, vertical pursuits, and abnormal VEP regarding the norms [42]. These findings support the conclusions of previous research using the same outcome measures [28]. Furthermore, we identified a specific significant clinical marker in HIQ children with DCD: visual gnosis impairment rarely examined but associated to cognitive disorders, especially in visual spatial memory, suggesting more involvement of the right cortex, that may explain the high rate of left-handed in very superior IQ (≥ 130) found in the recent study of Vaivre-Douret et al. [43].

The distribution of dysgraphia regarding DCD subtypes in the both groups suggests that children with DCD and having $FIQ \geq 120$ consult when they are severely affected about handwriting and cannot use their compensation strategies described above.

5. Conclusions

In conclusion, these findings contribute on one hand to a better understanding and screening with specific markers of poor handwriting vs dysgraphia in DCD, linked to their neurocognitive and neuropsychomotor profiles, and on the other hand, to clarify the impact of the IQ level. The results of this study could support both the hypothesis of a deficit of motor programming in handwriting disorder and the hypothesis of neuromotor noise and neurovisual impairment in dysgraphia. This argues for a new approach to implement the remediations. Although we highlighted specific markers basing on a depth multidimensional assessment, this has been a limitation to the sample of subgroups collection in the current study. Furthermore, a group of typically developing children with poor handwriting/dysgraphia without DCD could be interesting to compare in further research.

Acknowledgements

We are grateful to the children and their families who took part in the study. This research was supported by the Institut Universitaire de France (IUF) [grant numbers L17P99, IUF004], and the Foundation of France [Fondation

pour la Recherche en Psychomotricité et Maladies de Civilisation (FRPMC) sous l'égide de Fondation de France]. The funders had no role in study design, data collection, data analysis, data interpretation, or writing of the article.

Declaration of Interest Statement

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that might be perceived as posing a conflict or bias could influence the work reported in this paper.

References

1. Cornhill H, Case-Smith J. Factors that relate to good and poor handwriting. *American Journal of Occupational Therapy* 50 (1996): 732-739.
2. Costa LJC, Edwards CN, Hooper SR. Writing disabilities and reading disabilities in elementary school students: Rates of co-occurrence and cognitive burden. *Learning Disability Quarterly* 39 (2016): 17-30.
3. Graham S, Struck M, Santoro J, et al. Dimensions of good and poor handwriting legibility in first and second graders: motor programs, visual-spatial arrangement, and letter formation parameter setting. *Developmental Neuropsychology* 29 (2006): 43-60.
4. Goyen TA, Duff S. Discriminant validity of the Developmental Test of Visual-Motor Integration in relation to children with handwriting dysfunction. *Australian Occupational Therapy Journal* 52 (2005): 109-115.
5. Berninger VW, Richards TL, Abbott RD. Differential diagnosis of dysgraphia, dyslexia, and OWL LD: behavioral and neuroimaging evidence. *Reading and Writing* 28 (2015): 1119-1153.
6. Berninger VW, May MO. Evidence-based diagnosis and treatment for specific learning disabilities involving impairments in written and/or oral language. *Journal of Learning Disabilities* 44 (2011):167-183.
7. Fournier del Castillo MC, Maldonado Belmonte MJ, Ruiz-Falcó Rojas ML, et al. Cerebellum atrophy and development of a peripheral dysgraphia: a paediatric case. *Cerebellum* 9 (2010): 530-536.
8. Lopez C, Hemimou C, Vaivre-Douret L. Nature des troubles de l'écriture chez des enfants porteurs d'un Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC) [Nature of handwriting disorders in children with Developmental Coordination Disorder (DCD)]. In: Entretiens de Bichat « Les Entretiens de Psychomotricité ». Paris: Expansion scientifique française (2016).
9. Lopez C, Hemimou C, Golse B, et al. Developmental dysgraphia is often associated with minor neurological dysfunction in children with developmental coordination disorder (DCD). *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology* 48 (2018): 207-217.
10. American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders, 5th Edition. (DSM V)*. Washington, DC, USA: American Psychiatric Publishing (2013).
11. American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders, 4th Edition. (DSM IV)*. Washington, DC, USA: American Psychiatric Publishing (1994).

12. American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders, 4th Edition text revised. (DSM IV-TR). Washington, DC, USA: American Psychiatric Publishing (2000).
13. Winner E. The origins and ends of giftedness. *American Psychologist* 55 (2000): 159-169.
14. Terrassier JC. Les enfants intellectuellement précoces [Early intellectually children]. *Arch Pédiatrie* 16 (2009): 1603-1606.
15. Terrassier JC. Les enfants surdoués: ou la précocité embarrassante [Gifted children: or embarrassing precocity]. 12th Edition. Paris: ESF Sciences Humaines (2018).
16. Wechsler D. WISC-IV: Wechsler Intelligence Scale for Children: Technical and Interpretive Manual. Paris: ECPA-Pearson (2003).
17. Hamstra-Bletz L, DeBie J, Den Brinker BPLM. Beknopte Beoordelingsmethode voor Kinderhandschriften [The concise assessment method for children's handwriting]. Dutch: Lisse: Swets and Zeitlinger (1987).
18. Charles M, Soppelsa R, Albaret JM. BHK-Echelle d'évaluation rapide de l'écriture de l'enfant. [BHK-Scale for rapid assessment of children's writing. Paris: Editions of the Center for Applied Psychology]. Paris: ECPA-Pearson (2003).
19. Amundson SJ. Evaluation tool of children's handwriting. Homer, AL: OT Kids (1995).
20. Reisman JE. Development and reliability of the research version of the Minnesota Handwriting Test. *Phys Occup Ther Pediatr* 13 (1999): 41-55.
21. Barnett A, Henderson S, Scheib B, et al. The detailed assessment of speed of handwriting. London: H. Assessment (2007).
22. Overvelde A, Hulstijn W. Handwriting development in grade 2 and grade 3 primary school children with normal, at risk, or dysgraphic characteristics. *Research in Developmental Disabilities* 32 (2011): 540-548.
23. Vaivre-Douret L, Lalanne C, Cabrol D, et al. Identification de critères diagnostiques des sous-types de troubles de l'acquisition de la coordination (TAC) ou dyspraxie développementale [Identification of diagnostic criteria for subtypes of coordination acquisition disorders (TAC) or developmental dyspraxia]. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence* 59 (2011a): 443-453.
24. Blank R, Smits-Engelsman B, Polatajko H, et al. European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology* 54 (2012): 54-93.
25. Lalanne C, Falissard B, Golse B, et al. Refining developmental coordination disorder subtyping with multivariate statistical methods. *BMC Medical Research Methodology* 1 (2012): 107.
26. Vaivre-Douret L. Developmental Coordination Disorder: state of art, *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology* 44 (2014): 13-23.
27. Vaivre-Douret L, Lalanne C. Specific impairments, and predictive markers for Developmental Coordination Disorder subtypes in children: the importance of multidimensional developmental assessments in cluster analysis. *Journal of Translational Science* 5 (2019): 1-13.

28. Robert MP, Ingster-Moati I, Albuisson E, et al. Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children with developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology* 56 (2014): 595-600.
29. Korkman M, Kirk U, Kemp S. *Developmental neuropsychological assessment manual*. Paris: ECPA-Pearson (2003).
30. Rey A. *Manuel test de copie d'une figure complexe [Manual of complex Rey's figure]*. Paris: ECPA-Pearson (1960).
31. Beery KE, Beery NA. *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration. Beery VMI: With Supplemental Developmental Tests of Visual Perception and Motor Coordination and Steppingstone Age Norms From Birth to Age Six. Administration, Scoring, and Teaching Manual*. Minneapolis: Pearson (2010).
32. Odédys. *Outil de dépistage des dyslexies version 2 [Dyslexia screening tool, 2nd version]*. Grenoble: Cogni-Sciences IUFM (2005).
33. Chevrie-Muller C, Plaza M. *N-EEL: nouvelles épreuves pour l'examen du langage [New tests for language examination]*. Paris: ECPA-Pearson (2001).
34. Vaivre-Douret L. *Batterie d'évaluation des fonctions neuro-psychomotrices (NP-MOT) [Tests battery of developmental neuro-psychomotor functions in children (NP-MOT)]*. Paris: ECPA-Pearson (2006).
35. Bruininks O. *Buininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency*. Circle Pines, MN: American Guidance Service (1978).
36. R Core Development Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing (2004).
37. Vaivre-Douret L. Developmental and cognitive characteristics of high-level potentialities (highly gifted) children. *International Journal of Pediatrics* (2011b): 2011.
38. Nusbaum F, Hannoun S, Kocevar G, et al. Hemispheric Differences in White Matter Microstructure between Two Profiles of Children with High Intelligence Quotient vs. Controls: A Tract-Based Spatial Statistics Study. *Frontiers in Neuroscience* 11 (2017): 173.
39. Vaivre-Douret L, Lalanne C, Golse B. Developmental coordination disorder, an umbrella term for motor impairments in children: nature and co-morbid disorders. *Frontiers in psychology* 7 (2016): 502.
40. Hamdioui S, Vaivre-Douret L. *Sémiologie de la dysgraphie chez l'enfant porteur d'un trouble du développement de la coordination en fonction du quotient intellectuel [Semiology of dysgraphia in children with a developmental coordination disorder related to intelligence quotient]*. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology* (2020): Abstract in press.
41. Chang SH, YU NY. Characterization of motor control in handwriting difficulties in children with or without developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology* 52 (2010): 244-250.

42. Ingster-Moati I, Vaivre-Douret L, Bui QuocE, et al. Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children: a neuro-developmental study. *European Journal of Pediatric Neurology* 13 (2009): 362-366.
43. Vaivre-Douret L, Hamdioui S, Cannafarina A. The Influence of IQ Levels on clinical features of developmental coordination disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders* 4 (2020): 218-234.

Citation: Soukaina Hamdioui, Laurence Vaivre-Douret, Clinical Markers of Dysgraphia According to Intellectual Quotient in Children with Developmental Coordination Disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders* 4 (2020): 366-382.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution \(CC-BY\) license 4. 0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

The Influence of IQ Levels on Clinical Features of Developmental Coordination Disorder

Laurence Vaivre-Douret^{1,2,3,4,5,*}, Soukaina Hamdioui^{2,6}, Adriano Cannafarina²

¹Faculty of Health, Division of Medicine Paris Descartes, Université de Paris, France

²National Institute of health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Faculty of Medicine, University of Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France

³University Institute of France (Institut Universitaire de France, IUF), Paris, France

⁴Department of Child Psychiatry, Assistante Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP.Centre), Necker-Enfants Malades University hospital, Paris, France

⁵Department of Endocrinology, IMAGINE Institute, Necker-Enfants Malades Université de Paris, France

⁶Faculty of Society and Humanity, Division Psychology, Université de Paris, France

***Corresponding Author:** Prof. Laurence Vaivre-Douret, PhD, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, INSERM UMR 1018-CESP, Carré Necker Porte N4,149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France, Tel : +33 (0) 1.44.49.40.14; E-mail: laurence.vaivre-douret@inserm.fr

Received: 07 July 2020; **Accepted:** 14 July 2020; **Published:** 06 August 2020

Keywords: High Intellectual Quotient; Gifted children; Developmental coordination disorder; DCD subtypes; Neurodevelopmental assessments

Abbreviations

DCD= Developmental Coordination Disorder

IM= Ideomotor

VSC = Visuospatial/ or visuoconstructional

MX = mixed subtype

VCI = Verbal Comprehension Index

VSI = Visual Spatial Index

FIQ = Full IQ

NP-MOT = Developmental neuropsychomotor battery

Abstract

Objective: There is no study exploring the correlation between motor coordination dysfunction and high cognitive functioning. We aim to explore the influence of IQ (≥ 120) on clinical features of DCD.

Method: We collected data from 38 children (average age: 9 years old, 2.7 SD) with DCD based on criteria of DSM-5. Two matched groups of DCD were studied according to the IQ: 19 typical children (IQ = 90-110) and 19 HIQ-HIP children. Within this last group, we distinguished superior IQ (120-129) (HIQ), and very superior IQ (≥ 130) (HIP). All participants completed assessments of neuropsychological, neurovisual, and neuropsychomotor functions.

Result: We displayed less Ideomotor (IM), Visio-Spatial/Constructive (VSC)-DCD and more Mixed (MX)-DCD in HIQ-HIP compared to typical children DCD. We showed significant correlations between IM-DCD and executive functions disorders ($\rho = +0.519$ [95% CI, 0.163 to 0.795], $p = 0.001$), between visuo-constructive task and VSC-DCD subtype ($\rho = -0.651$ [95% CI, -0.899 to -0.406], $p = 0.006$). A statistical difference between both groups was shown in adiachokinesia and bimanual coordination disorder in favor of typical children. There is no significant difference between HIP and HIQ. More left-handed in functional laterality was found with $\text{IQ} \geq 130$, $\chi^2 (1) = 4.571$, $p = 0.033$, [95% CI, 0.052 to 0.061].

Conclusion: Both groups displayed similar clinical features of DCD. HIQ-HIP groups have better executive functions and visio-spatial functioning than typical children with DCD but worse auditory attention and memory, and more neurological soft signs related to the high rate of MX-DCD. The findings are useful for clinical decision-making processes.

1. Introduction

There is still no consensus in the literature regarding the definition of giftedness but there are different theoretical concepts. The gifted children have been shown to excel in their academic achievements in a supportive environment (social, scholarly) [1-3]. Thus, multiple selection criteria for giftedness screening are used such as standardized tests and other informal sources as teacher's opinion, parent's observations, and creativity [4-7]. Certain studies underline an early neurophysiological maturation in gifted children allowing the early emergence of postural, locomotor acquisitions, and visuo-manual coordination as well as language and cognitive processes [8-12]. Authors in the literature have only studied cognitive performances and assume a systematic asynchrony between intellectual and motor performances in gifted children [13-15].

Normal distribution considers a superior IQ from 120 to 129 (6.7% of the general population) according to the Gaussian curve of the Wechsler intelligence scale [16]. Full IQ (FIQ) within that range is qualified as a High Intellectual Quotient (HIQ). Very superior IQ beginning at 130 (2.5%), two standard deviations from the mean, is

qualified as High Intellectual Potential (HIP). Therefore, children with HIP are considered gifted children according to the World Health Organization [17].

Moreover, it is common to think that HIQ/HIP children cannot have learning disabilities because there are few studies on this subject [18, 19]. Empirical evidence proves otherwise, but the link has yet to be explored [20-22]. Developmental coordination disorder (DCD) is one of the least studied, while attention deficit-hyperactivity disorder is more investigated [23-26]. DCD can be defined as a non-verbal neuropsychological dysfunction which can give rise to behavioral and learning disabilities [27]. It is not a form of brain injury as in adult apraxia, it is an impairment linked to the maturation process of the central nervous system. The developmental approach explains that children with DCD have never acquired the capacity to perform complex motor actions adapted to age, that is not due to an intellectual disability, nor by visual impairment and nor is it due to neurological brain involvement (e.g., muscular dystrophy, cerebral palsy) [28]. It is a common disorder in school-aged children with an estimated prevalence of 5-6% between 5 and 11 years old [28]. Researchers and clinician practitioners must use DSM criteria as recommended since 1994 by London International consensus [29] and as advised by the European Academy of Childhood Disability [30]. However, the authors have rarely investigated DCD in relation to cognitive functions including IQ level. We do not know the specificity of clinical features in children with HIQ/HIP. Are they different or similar?

Few studies have used clusters analysis to identify distinct subtypes of DCD and not all the authors use the same motor assessments. They used a few cognitive and neuromotor tests (e.g., imitation of gestures, gnosis, neurovisual, and neurological soft signs). Thus, it is not easy to compare studies. Only one subtype is common to all the studies: a group with impairments in global and fine motricity [31-32]. Some studies identified groups with visuospatial DCD or visuo-motor integration disorder [33-39] and only three studies used transitive gestures and motor sequencing to identify ideomotor impairment [31, 39, 40].

Recent studies [31, 34, 36] provided a better understanding of the DCD based on a standardized developmental assessment with quantitative and qualitative measures. They use age-related normative data to identify subtypes of DCD, using multidimensional clinical and statistical approaches. The authors identified two to three pure types of DCD and the specific diagnostic markers: Ideomotor (IM) (8%), visuospatial/ or visuomotor (VSC) DCD (52%), and a mixed subtype (MX) (40%). Children with IM-DCD were characterized by significant impairments in digital perception, manual praxis, and imitation of gestures, while the VSC subgroup appeared to have deficiencies in visual motor integration, visual spatial motor structuring, and/or constructional abilities (with difficulties in Lego blocks to follow a model). Finally, the MX group shares common impairments to IM and VSC and exhibited the specific deficits in motor coordination of the lower-upper limbs, poor manual dexterity, neurological soft signs (e.g. synkinesis, adiadochokinesia), and certain comorbidities (e.g., executive functions disorders, auditory-memory deficits, and auditory-attention difficulties).

The aims of the current study were to analyze multivariate associations between DCD subtypes and several neuropsychological, neuropsychomotor, and neurovisual characteristics, in order to refine the specific features of DCD depending on IQ score and define motor profiles according to cognitive abilities and IQ index scores. The first hypothesis suggests a relationship between early psychomotor development and high IQ. The second explores if there are specific DCD clinical features in HIQ versus HIP with DCD compared to typical children also with DCD and examined subtypes of DCD.

2. Material and Methods

2.1 Participants

Data from 38 DCD children (average age: 9 years old, 2.7 SD) based on criteria of Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5) [28] were collected. Inclusion criteria were strict: Children with sensory deficit, dyslexia, and attention deficit-hyperactivity disorder (based on DSM criteria), psychiatric abnormalities or general medical abnormalities, and traumatic brain injury were not included, nor was any child born premature (<37 weeks), and no physical therapy neither medication.

Children from 6-12 years old were recruited in the outpatient consultation of the child psychiatry department at Necker Hospital in Paris, France. All of them met the criterion A for DCD described in the DSM-5 [28], with acquisition and execution of motor skills which are clearly below the level expected given the subject's chronological age and despite learning and using opportunities of these skills with standardized tests [41-43]. Children who meet inclusion criteria were assigned to the three DCD subtypes validated in a previous study and described above [31, 34].

Two matched groups were studied: 19 typical children with DCD (IQ=90-110) and another group including 19 HIQ-HIP (high intellectual quotient or high intellectual potential) children. Within this last group, we distinguished superior IQ starting at +1.33 SD (HIQ=120-129), and very superior IQ at +2 SD (IQ \geq 130) who are identified as gifted children (HIP) by the Wechsler intelligence scale [16-17]. The two groups were matched according to sociodemographic data, age, no language disorder, and no ophthalmological abnormalities. Only IQ scores are identified as differentiation criterion. The Institutional ethic committee of Paris Descartes University, Sorbonne Paris city, approved the study (CER-PD 2018-72; CER-PD 2019-49). Participants provided written informed consent before the start of the study, signed by a parent or legal representative and children before enrolment in the study.

2.2 Measures

2.2.1 Neuropsychological assessment: All children recruited in DCD sample had completed a standard measure of intelligence, the Wechsler Intelligence Scale for children according to the age (WISC-IV) [16]. Verbal Comprehension Index (VCI), Visual Spatial Index (VSI), and Full IQ (FIQ) scores were expressed as standardized

scores (mean 100, SD=15). We have completed cognitive investigations by visual-motor integration, constructional and visuospatial structuring (Khos' cubes), and executive functions (Tower of London test and Porteus Labyrinths) assessments [44].

2.2.2 Neuropsychomotor developmental assessment: All children were assessed with a developmental neuropsychomotor battery (NP-MOT) [42] with age-related normative data to evaluate neuropsychomotor physical functions. It is applicable to children from 4 years old. It is a standardized and validated assessment and it has been found to have adequate test-retest reliability and internal consistency. Correlation coefficients of the NP-MOT with the Bruininks-Oseretsky Test Motor Proficiency (BOTMP) [45] range from 0.72 to 0.84, for motor coordination and balance [36]. NP-MOT battery allows physical standardized assessment of passive/active muscular tone of limbs and axial tone, highlighting NSS such as synkinesis, the presence of a pyramidal tract dysfunction (hypertonia), bodily spatial integration, basic motor function, control and regulation in gross motor tasks (gait, balance, coordination), laterality, manual dexterity, manual praxis, digital perception, rhythmic, and auditory attention tasks, completed by imitation of gestures (see [32] for a synopsis of NP-MOT battery tasks).

2.2.3 Neurovisual assessment and other measures: Electro-physiological neurovisual examination including Electroretinogram (ERG) test, with smooth visual pursuits, and Visual Evoked Potential (VEP) test [46] was used to analyze the sensory and visual motor pathways. To detect dysgraphia, we have used Ajuriaguerra standardized scale of handwriting [43], a score of 19 to 25 indicates significantly dysgraphic handwriting. Finally, an anamnesis form was also used to collect data about pregnancy and delivery, psychomotor development (e.g., sitting alone, walking), and any difficulties with constructional play, such as puzzles and Lego blocks following a model relative to developmental markers found in previous study [31]. The child school report book was examined to identify if there are some learning difficulties (such as mathematics, written French).

2.2.4 Statistical analyses: We used R software [47] for statistical treatment. Data were analyzed according to the intention-to-treat principle. We used p-values at 0.05 to indicate statistical significance and p-values at 0.001 if reached. We also applied the Bonferroni method to adjust for multiple comparisons. To analyze the dependence between IQS and all DCD variables (continuous outcomes according to one or more classification factors), parametric Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) was used. Two-group comparisons of scale scores were performed using Student T-test (t) and Pearson's chi-square test (χ^2) was carried out to analyze dichotomic variables (Two-way cross-classification between qualitative variables). Variables were coded as 0 for success to a test (meaning no disorder) or 1 for failure (indicating a probable disorder) based on regular scoring (standard deviation: $1 < SD$ or < 20 th percentile according to the test). A Pearson's correlation test (r) for numeric continuous variables and Spearman's ρ test (ρ) for non-parametric correlations were used.

3. Results

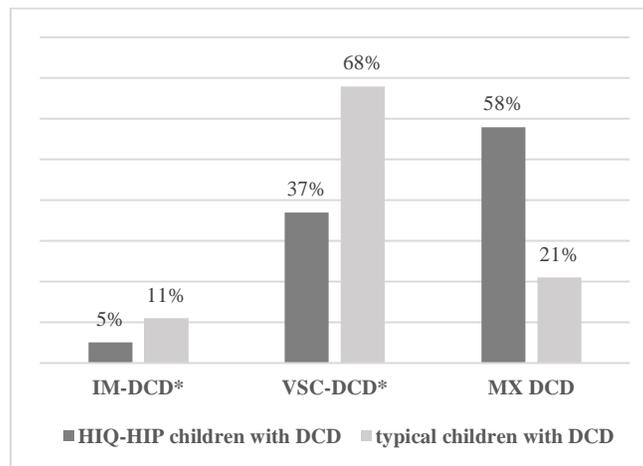
3.1 Sample characteristics

Table 1 shows sociodemographic, cognitive, and medical characteristics of 38 children with DCD. Groups were matched according to sociodemographic data; age ($t = -0.069$, $df = 18$, $p = 0.94$, [95% CI, 95.16 to 124.24]), absence of language disorder $\chi^2(1) = 0.3$, $p = 0.73$, [95% CI, 0.72 to 0.74], and absence of ophthalmological abnormalities $\chi^2(1) = 0$, $p = 1$, [95% CI, 1 to 1]. Only IQ scores are identified as differentiation criterion of groups ($t = 12.87$, $df = 18$, $p < 0.0001$, [95% CI, 127.36 to 138.01]). In HIQ-HIP children with DCD, we identified high rate of MX, low rate of IM and VSD-DCD compared to typical children with DCD (Figure 1). HIQ compared to HIP, there is no significant difference in MX-DCD frequency (respectively 56% vs 60%). Mathematical difficulties were strongly present in the whole sample, comparing typical DCD children and HIQ-HIP DCD, 100% vs 20% of mathematical difficulties in VSD-DCD $\chi^2(1) = 4.5$, $p = 0.07$, [95% CI, 0.067 to 0.077], but in MX-DCD, 100% vs 90.91%. It does not appear in the IM-DCD.

	Typical children group (n=19)	HIP children group (n=10)	HIQ children group (n=9)
Age (Months) Mean (SD)	109.84 (33.72)	118.66 (31.45)	100.5 (28.88)
Gender:			
Female (%)	5	10	11
Male (%)	95	90	89
FIQ mean (SD)	100.79 (6.83)	122.78 (2.97)	143.1 (7.65)
FIQ (min-max)	90-114	120-128	134-157
No language disorder (%)	84	100	98
No ophthalmological disorder (%)	68	97	97
Pure Visuospatial DCD (%)	0	10	22
Pure Visuo-constructive DCD (%)	0	0	0
Auditory-memory deficit (%)	16	20	33
Auditory-attention difficulties (%)	5	40	33
Mathematical difficulties (%)	89	90	89

Legend: HIP: High intellectual potential (gifted children); HIQ: High intellectual quotient; SD: standard deviation. FIQ: full intellectual quotient.

Table 1: Sample characteristics with sociodemographic, cognitive, and medical data in DCD groups (typical children vs HIP-HIQ).



Legend: HIQ: High Intellectual Quotient (IQ = 120-129)
 HIP: High Intellectual Potential (gifted children; IQ \geq 130)
 IM-DCD: Ideomotor-DCD
 VSC-DCD: Visuo-Spatial/ or Constructional-DCD
 *: significant difference $p \leq 0.05$

Figure 1: IM and VSC-DCD frequency in HIQ-HIP group compared to typical children with DCD.

3.2 Relationship between IQ and neuropsychomotor development

In HIQ-HIP children, there are negative and significant correlations between main IQ index scores (VCI, VSI, and FIQ) and the developmental milestones to sit, to walk and language. VSI was negatively correlated to age of language acquisition ($r = -0.366$ [95% CI, -0.587 to 0.135], $p = 0.024$). These correlations show that children with DCD having a high VSI (from 110) developed language and sitting early. Regarding VCI, the earlier a child develops walking, sitting and language, the higher is his VCI. It is correlated with sitting ($r = -0.425$ [95% CI, -0.651 to -0.167], $p = 0.008$), walking ($r = -0.421$ [95% CI, -0.626 to -0.147], $p = 0.009$) and language ($r = -0.514$ [95% CI, -0.701 to -0.319], $p = 0.001$). Finally, FIQ is negatively and significantly correlated with sitting ($r = -0.356$ [95% CI, -0.626 to -0.008], $p = 0.028$), walking ($r = -0.41$ [95% CI, -0.621 to -0.122], $p = 0.01$) and language ($r = -0.624$ [95% CI, -0.766 to -0.462], $p < 0.0001$). Therefore, children whose score is very high on Wechsler test, are more likely to have an early psychomotor development.

3.3 Relationship between IQ index scores and DCD subtypes

Our findings display that IM-DCD had an influence on FIQ [$F(1, 36) = 4.67$, $p = 0.035$] and VSI [$F(1, 36) = 4.91$, $p = 0.031$]. VSC-DCD had an influence on FIQ [$F(1, 36) = 5.28$, $p = 0.025$]. DCDs being present in both groups (HIQ-HIP and Typical children), these results show that an IM and VSC-DCDs are less likely to be found in children with high IQ. Comparing data, results show that children without IM or VSC-DCD scored higher IQ in the tests, which could imply a relationship between DCD subtypes and IQ (Table 2). There is no significant difference between HIP

and HIQ. Furthermore, to better understand how IQ influences DCD subtypes, we have analyzed neuropsychomotor and cognitive profiles in the sample. We tested each variable's dependence on IQ.

DCD subtypes		Whole sample of DCD children (N=38)					
		VSI		VCI		FIQ	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
IM-DCD	no	96.03	19.38	116.52	19.55	107.91	19.51
	yes	84.00	21.26	99.32	21.96	92.00	22.20
	Total	90.38	21.02	108.19	22.33	100.44	22.15
VSC-DCD	no	103.56	20.26	121.07	17.39	115.94	15.92
	yes	86.16	19.63	104.24	22.33	95.48	21.68
	Total	90.38	21.02	108.19	22.33	100.44	22.15

Legend: VSI : Visual Spatial Index ; VCI : Verbal Compréhension Index ; FIQ : Full Intellectual Quotient ; SD : Standard Deviation ; DCD subtypes : Developmental Coordination Disorder subtypes ; IM-DCD : Ideomotor DCD ; VSC-DCD : Visuo-Spatial/ or Constructional DCD.

Table 2: Mean of scores in IQ scale for each DCD subtypes in whole sample.

3.4 Relationship between IQ and neuropsychomotor features

Regarding neuropsychomotor features evaluated by NP-MOT battery, we compared HIQ-HIP DCD children to typical DCD children : 84% vs 47%, respectively, achieved object spatial orientation skill but not significantly, 84% vs 37% of *adiadochokinesia* $\chi^2(1)=5.4$, $p=0.02$, [95% CI, 0.033 to 0.041], and 10% vs 87% of *bimanual coordination disorder* $\chi^2(1)=9$, $p=0.003$, [95% CI, 0.003 to 0.005] (Table 3). There is no significant difference between HIP and HIQ. Outcomes showed better scores in favor of HIQ-HIP group for the “objects spatial orientation” item, but they had worse scores than typical children with DCD regarding “spatial orientation on others” and “body integration of spatial orientation” item (Table 4). Regarding functional laterality, we found a statistical difference beginning at $QI=130$, between HIP and typical children $\chi^2(1)=4.571$, $p=0.033$, [95% CI, 0.052 to 0.061], with 33% of right-handed and 67% of left-handed versus 65% of right-handed and 35% of left-handed respectively. There is no statistical difference in this aspect between HIQ and typical children neither between HIP and HIQ children; HIQ presents 80% of right-handed and 20% of left-handed children (see Table 4).

NP-MOT Tasks: Success with age-related normative data			Whole sample of DCD children and IQ levels (N = 38)							
			HIP (n=10)		HIQ (n=9)		HIP-HIQ (n=19)		Typical (n=19)	
			n	%	n	%	n	%	n	%
Manual Praxis	Bimanual coordination	yes	9	90	8	88.89	17	89.47	5	26.32
		no	1	10	8	11.11	2	10.53	14	73.68
Muscle tone	Adiadochokinesis	yes	8	80	8	88.89	16	84.21	7	36.84
		no	5	50	8	88.89	15	78.95	12	63.16

Legend: HIP: High Intellectual Potential (gifted children); HIQ: High Intellectual Quotient

Table 3: IQ’s influence on neuropsychomotor tasks of NP-MOT battery (Vaivre-Douret, 2006) and neurovisual functions.

NP-MOT Tasks: Success with age-related normative data			Whole sample of DCD children and IQ levels (N = 38)								χ^2 HIP-HIQ /Typical		
			HIP (n = 10)		HIQ (n = 9)		HIP-HIQ (n = 19)		Typical (n = 19)				
			n	%	n	%	n	%	n	%	value	df	p-value
Bodily spatial orientation	In relation to self	yes	8	80	9	100	17	89.47	17	89.47	0.003	1	0.86
		no	2	20	0	0	2	10.53	2	10.53			
	Spatial orientation with 2 to 3 objects	yes	8	80	8	88.89	16	84.21	9	47.37	1.96	1	0.224
		no	2	20	1	11.11	3	15.79	10	52.63			
	Spatial orientation in relation to other	yes	5	50	4	44.44	9	47.37	11	57.89	0.43	1	0.51
		no	5	50	5	55.56	10	52.63	8	42.10			
Spatial cues (e.g. under)	yes	10	100	9	100	19	100	17	89.47	0.11	1	0.74	
	no	0	0	0	0	0	0	2	10.53				
Manual Praxis	Imitation of gestures: hands	yes	10	100	9	100	19	100	17	89.47	0.47	1	0.49
		no	0	0	0	0	0	0	2	10.53			
	Imitation of gestures: Fingers	yes	7	70	6	66.67	13	68.42	13	68.42	0.03	1	0.86
		no	3	30	3	33.33	6	31.58	6	31.58			
	Digital Praxis	yes	5	50	4	44.44	9	47.37	11	57.89	0.22	1	0.64
		no	5	50	5	55.56	10	52.63	8	42.10			
	Buccofacial Praxis	yes	9	90	9	100	18	94.73	12	63.16	0.50	1	0.21
		no	1	10	0	0	1	5.26	7	36.84			
	Bimanual symmetric pronation-supination	yes	10	100	9	100	19	100	16	84.21	0.47	1	0.49
		no	0	0	0	0	0	0	3	15.79			
	Bimanual asymmetric pronation-supination	yes	7	70	6	66.67	13	68.42	9	47.37	0.39	1	0.53
		no	3	30	3	33.33	6	31.58	10	52.63			
Hypertonia: pyramidal distal disorder	Hypertonia	yes	3	30	1	11.11	4	21.05	8	42.11	1	1	0.312
		no	7	70	8	88.89	15	78.95	11	57.89			
	Hypotonia	yes	5	50	3	33.33	8	42.11	7	36.84	0.17	1	0.68
		no	5	50	6	66.67	11	57.89	12	63.16			

Muscle tone	Sitting tone/ pushes control	yes	3	30	2	22.22	5	26.32	9	47.37	1.5	1	0.22
		no	7	70	7	77.78	14	73.68	10	52.63			
	Knee jerk reflex (left-right)	yes	5	50	6	66.67	11	57.89	9	47.37	0.43	1	0.51
		no	5	50	3	33.33	8	42.11	10	52.63			
	Passive angles (lower limbs)	yes	7	70	6	66.67	13	68.42	9	47.37	0.47	1	0.50
		no	3	30	3	33.33	6	31.58	10	52.63			
Synkinesis	yes	1	10	5	55.56	6	31.58	13	68.42	0.8	1	0.37	
	no	9	90	4	44.44	13	68.42	6	31.58				
Coordination	Standing tone control	yes	5	50	1	11.11	4	21.05	7	36.84	0.33	1	0.56
		no	5	50	8	88.89	15	78.95	12	63.16			
	Static balance	yes	5	50	8	88.89	13	68.42	9	47.37	0.39	1	0.53
		no	5	50	1	11.11	6	31.58	10	52.63			
	Dynamic balance	yes	5	50	7	77.78	12	63.16	9	47.37	1.47	1	0.23
		no	5	50	2	22.22	7	36.84	10	52.63			
Upper-lower coordination difficulties	yes	10	100	1	11.11	11	57.89	11	57.89	0.73	1	0.39	
	no	0	0	8	88.89	8	42.11	8	42.11				
Gnosis	Bilateral gnosis disorder	yes	1	10	1	11.11	2	0	3	15.79	0.13	1	0.72
		no	9	90	8	88.89	17	100	16	84.21			
	Unilateral gnosis disorder	yes	1	10	1	11.11	2	10.53	4	21.05	0.13	1	0.72
		no	9	90	8	88.89	17	89.47	15	78.95			
Laterality	Upper tonic laterality	yes	2	20	3	33.33	5	26.31	7	36.84	0.60	1	0.81
		no	8	80	0	0	8	42.11	8	42.10			
		Indeterminate	0	0	6	66.67	6	31.58	4	21.05			
	Lower tonic laterality	yes	3	30	4	44.44	7	36.84	6	31.58	0	1	1
		no	6	60	2	22.22	8	42.11	8	42.10			
		Indeterminate	1	10	3	33.33	4	21.05	5	26.31			
	Upper functional laterality	yes	5	50	7	77.78	12	63.16	14	73.68	0.15	1	0.70
		no	5	50	2	22.22	7	36.84	3	15.79			
		Indeterminate	0	0	0	0	0	0	2	10.53			
	Lower functional laterality	yes	8	80	8	88.89	16	84.21	15	78.95	0.03	1	0.86
		no	2	20	1	11.11	3	15.79	2	10.53			
		Indeterminate	0	0	0	0	0	0	2	10.53			
	Gestual+ psychosocial + spontaneous homogenous laterality	yes	0	0%	6	66.67	6	31.59	11	61.11	0.17	1	0.68
		no	7	70%	1	11.11	8	42.11	2	5.56			
Indeterminate		3	30%	2	22.22	5	0	6	33.33				
Horizontal pursuit	yes	6	60	8	88.89	14	73.68	14	73.68				

Neurovisual functions		no	4	40	1	11.11	5	26.32	5	26.32	0	1	1
	Vertical pursuit	yes	6	60	4	44.44	10	52.63	7	38.89	0.53	1	0.47
		no	4	40	5	55.56	9	47.37	11	61.11			
	Visual Evoked Potential (VEP) test	yes	8	80	9	100	17	89.47	17	89.47	0	1	1
		no	2	20	0	0	2	10.53	2	10.53			
	Electroretinogram (ERG) neurovisual test	yes	10	100	9	100	19	100	19	100	0	1	1
no		0	0	0	0	0	0	0	0				

Legend: HIP: High Intellectual Potential (gifted children); HIQ: High Intellectual Quotient; IQ: Intellectual Quotient; *: Significant difference $p \leq 0.05$; df: Degrees of freedom.

Table 4: IQ's influence on neuropsychomotor tasks of NP-MOT battery (Vaivre-Douret, 2006) and neurovisual functions.

3.5 Relationship between DCD subtypes and cognitive functions

In whole sample, IM-DCD had a significant, strong and positive correlation with executive functions disorder (FE) ($\rho = +0.519$ [95% CI, 0.163 to 0.795], $p=0.001$), and a significant, strong, and negative correlation between Khos cubes test failure and VSC-DCD ($\rho = -0.651$ [95% CI, -0.899 to -0.406], $p=0.006$). There is no significant difference between HIP and HIQ.

4. Discussion

This study displayed similar clinical features of DCD in both groups HIQ-HIP and typical children. High IQ DCD children have significantly better executive functions and visio-spatial constructional functioning than typical children with DCD but worse auditory attention and memory, and more neurological soft signs. These outcomes underline better skills of mental representation and evocation through internal language in HIQ-HIP children with DCD allowing them to better plan and control gestures that contribute to less Ideomotor or Constructive pure DCD.

They are in accordance with the literature; on one hand concerning the link between intelligence and executive functions [48]. In HIQ-HIP children, it highlights better activation and connectivity of the frontoparietal lobe and cerebral cortex improving fluid reasoning [49]. On the other hand, VSC-DCD is characterized by specific disorders of "visuo-spatial motor structure", "visuo-motor integration", "visuo-spatial motor construction", associated with ocular pursuit disorders [31, 46]. Two systems are considered in visual perception [50] but the occipital-parietal dorsal pathway ("where") is focused on localization and action to direct the gesture with vision. This pathway is impaired in the VSC subtype [31, 46] and involves thalamus, basal ganglia, and cerebellum, this last affecting also visual pursuits [32, 46]. Desco's study [51] shows bilateral activation patterns and increased activation in the parietal and frontal regions of gifted children and demonstrates that these activations are associated with improved skills in visuospatial treatment and logical reasoning. We identified more left-handed in HIP children ($IQ \geq 130$) confirming more involvement of the right cortex in HIP group. This may open more in-depth research fields to better understand the neurological impairments involved in DCD in this population.

Higher frequency of MX-DCD can be explained by the fact that fewer primary school children (with high IQ) consult for pure DCD such as VSC or IM subtype because they can easily compensate the disorder by mental strategies and better executive functions. Recent studies [31, 32, 34, 36] showed that MX subgroup shares impairments common to IM and VSC, and is characterized by specific impairments regarding motor coordination of the lower and upper limbs, poor manual dexterity, neurological soft signs suggesting synkinesis and/ or adiadochokinesia, and some comorbidities (e.g., auditory-memory deficits, auditory-attention difficulties...). Based on these findings, our outcomes identified more auditory attention and memory, significant adiadochokinesia deficits and bimanual coordination disorder in HIQ-HIP group, allowing to better explain the high rate of MX subtype in this group. Adiadochokinesia is the difficulty to perform alternative prono-supination movements of the hand and evoke more neurological soft signs in HIQ-HIP children [36, 52], highlighting cerebellum impairment. It is often associated with learning disabilities and our findings confirm higher risks of comorbidity in DCD [22, 25, 53], particularly in MX by that is the common subtype in the main DCD studies [32]. It is important not to neglect comorbidity's influence on IQ scores for HIQ children as it might lower the FIQ (120-129).

To be gifted does not prevent a neurodevelopmental disorder such as DCD and possible learning disability may lower the FIQ. For example, mathematical difficulties (applying calculation with a handwritten operation, geometry, problem to solve) are strongly present in both groups in our sample with no significant difference. This is in line with literature proving that mathematics skills are particularly affected in DCD [31, 36]. Our finding displayed mainly mathematic difficulties in MX-DCD subtype and very few in VSC-DCD for HIQ-HIP, confirming the better compensation strategies in high IQ children with DCD concerning pure subtype as VSC subtype [34].

Regarding psychomotor development, the finding highlight early milestones in high IQ DCD but the quality of motor skills still deficient and those from early childhood. These are in accordance with category C of the diagnosis criteria of DSM-5 [28]. Motor milestones are not systematically delayed by a DCD as confirmed by previous studies [8, 32], but the acquisition of coordinated motor skills remains below chronological age (criterion A of DSM-5) [28]. It is therefore fundamental to differentiate psychomotor development (acquisition of walking, sitting...) from neuromotor skills (coordination, praxis...) because, despite an early maturation in high IQ children, motor performance of intentional gestures or the ability to perform complex motor actions can be disturbed by a neurological dysfunction [36] as in typical children.

5. Conclusion

In conclusion, the findings of the present study are relevant to attest that HIQ-HIP children DCD have similar clinical features compared to typical children with DCD. They present lower rates of pure VSC and IM-DCD than typical children with DCD because they appear to use mental evocation with visual representation and internal language necessary for better planning. Thus, we can recommend for clinicians to use these strategies in the remediation for cognitive difficulties in typical children, do not overlook that the higher the IQ, the more HIP

children can mask learning disabilities [8, 18, 54] with a heterogeneous profile of index level scores between VSI and VCI [8, 55, 56], VSI being more affected by DCD, that the presence of a subtype of DCD decreases the IQ index scales and therefore also FIQ. Thus, it is possible to misdiagnose some HIP in HIQ group. That questions the validity of the IQ cutoff score of the 130 thresholds for the IQ of HIP. Therefore, regarding our findings, it appears essential to evaluate in-depth with multidimensional assessments (neuropsychological and neuropsychomotor batteries) the child presenting some heterogeneous index scores or subtests in his IQ profile. Finally, it underlines also that it is important to take into account multiple selection criteria to define HIP gifted children, such as behavioral, socio-emotional and cognitive skills, informal sources (parents and teachers) [4, 5].

The strengths of the study are in the detailed neuropsychological profile provided on the children, and the history of early development. The results demonstrate important implications for future clinical research, and it is useful for clinical decision-making processes. The limitations are in the small numbers, especially with the division of the samples into DCD subtypes. Future research could replicate the current study with a larger sample and assess in addition to socio-cognitive and psycho-affective components.

Acknowledgments

We are grateful to the children and their families who agreed to participate in this study. This research was supported by the University Institute of France (Institut Universitaire de France, IUF (Grants numbers L17P99, IUF004)). The funding sources was not involved in the study design, the collection, analysis, and interpretation of data, the writing of the report, or the decision to submit the article for publication.

Declaration of Interest Statement

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

1. Curby TW, Rudasill KM, Rimm-Kaufman, et al. The role of social competence in predicting gifted enrollment. *Psychology in the Schools* 45 (2008): 729-744.
2. Subotnik RF, Olszewski-Kubilius P, Worrell FC. Rethinking giftedness and gifted education: A proposed direction forward based on psychological science. *Psychological science in the public interest* 12 (2011): 3-54.
3. Reis SM, Renzulli JS. Is there still a need for gifted education? An examination of current research. *Learning and individual differences* 20 (2010): 308-317.
4. Moon SM, Rosseli, HC. Developing gifted programs. In: Heller KA, Mönks FJ, Sternberg RJ, Subotnik RF, Oxford. *International handbook of giftedness and talent*. England: Elsevier (2000): 499-521.

5. Lohman DF, Korb KA, Lakin JM. Identifying academically gifted English-language learners using nonverbal tests : A comparison of the Raven, NNAT, and CogAT. *Gifted Child Quarterly* 34 (2008): 595-623.
6. Lakin JM, Lohman DF. The predictive accuracy of verbal, quantitative and nonverbal reasoning tests: Consequences for talent identification and program diversity. *Journal for the Education of the Gifted* 34 (2011): 595-623.
7. Kroesbergen EH, Van Hooijdonk M, Van Viersen S, et al. The psychological well-being of early identified gifted children. *Gifted Child Quarterly* 60 (2016): 16-30.
8. Vaivre-Douret L. Les caractéristiques développementales d'un échantillon d'enfants tout venant « à hautes potentialités » (surdoués): suivi prophylactique [The developmental characteristics of children's sample with high potentialities (gifted children): preventive follow-up]. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence* 52 (2004): 29-141.
9. Simoes Loureiro I, Lowenthal L, Lefebvre L, et al. Le trouble déficitaire de l'attention chez l'enfant à haut potentiel : étude exploratoire [The ADHD with high potential child: exploratory study]. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages de l'Enfant* 101 (2009): 317-322.
10. Bildiren A. Developmental characteristics of gifted children aged 0–6 years: parental observations. *Early Child Development and Care* 188 (2018): 997-1011.
11. Gross MUM. Small poppies: Highly gifted children in the early years. *Roeper Review* 21 (1999): 207-214.
12. Winisdorffer J, Vaivre-Douret L. Dépister l'enfant à « hautes potentialités » : apports d'une étude rétrospective longitudinale de 19 enfants sur 18 années d'exercice en milieu rural [Detection of the child with high potentialities (gifted child) : contributions of a longitudinal retrospective study of 19 children over 18 years of exercise in rural areas]. *La revue du praticien* 62 (2012): 1205-1211.
13. Terrassier JC. Les enfants intellectuellement précoces [Early intellectually children]. *Archives de Pédiatrie* 16 (2009): 1603-1606.
14. Lovecky DV. Identity development in gifted children: Moral sensitivity. *Roeper Review* 20 (1997): 90-94.
15. Guénolé F, Baleyte J. Le paradoxe des enfants surdoués. *Revue de neuropsychologie* [The paradox of gifted children]. *Revue de neuropsychologie* 9 (2017): 19-26.
16. Wechsler, D. WISC-IV: Wechsler Intelligence Scale for Children, Fourth edition: Technical and Interpretive Manual. San Antonia, TX: PsychCorp. (2003).
17. Health WEC. on M, Organization WH. Expert Committee on Mental Health: report on the second session, Geneva, 11-16 September 1950. World Health Organisation (1951).
18. Vaivre-Douret L. Les surdoués: ils ont aussi des troubles des apprentissages. [Gifted children: they have also learning disabilities]. *Revue du Haut Comité de Santé Publique* 26 (1999).
19. Vaivre-Douret L. Le développement de l'enfant aux "aptitudes hautement performantes" (surdoués): importance des fonctions neuro-psychomotrices psychomotrices [Development of the high potentialities

- child (gifted): The importance of neuropsychomotor functions]. *Approche Neuropsychologique Des Apprentissages Chez l'Enfant* 14 (2002): 95-110.
20. David HA, Double Label: Learning Disabilities and Emotional Problems among Gifted Children. *International Letters of Social and Humanistic Sciences* 75 (2017): 22-31.
 21. Beckmann E, Minnaert A. Non-cognitive Characteristics of Gifted Students with Learning Disabilities: An In-depth Systematic Review. *Frontier in Psychology* 20 (2018): 504-504.
 22. Brody LE, Mills CJ. Gifted Children with Learning Disabilities: A Review of the Issues. *Journal of Learning Disabilities* 30 (1997): 282-296.
 23. Cordeiro ML, Farias AC, Cunha A, et al. Co-Occurrence of ADHD and high IQ: a case series empirical study. *Journal of Attention Disorder* 15 (2011): 485-490.
 24. Budding D, Chidekel D. ADHD and giftedness: a neurocognitive consideration of twice exceptionality. *Applied Neuropsychology Child* 1 (2012): 145-151.
 25. Hartnett DN, Nelson JM, Rinn AN. Gifted or ADHD: the possibilities of misdiagnosis. *Roeper Review* 26 (2004): 26:73-76.
 26. Tordjman S, Guignard JH, Seligmann C, et al. Diagnosis of hyperactivity disorder in gifted children depends on observational sources. *Gifted and Talented International* 22 (2007): 62-67.
 27. Vaivre-Douret L. Troubles d'apprentissage nonverbal: les dyspraxies développementales [Non-verbal learning disabilities: developmental dyspraxia]. *Archives de Pédiatrie* 14 (2007): 1341-1349.
 28. American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders: DSM-5*. 5th edn. Washington, DC: American Psychiatric Publishing (2013).
 29. Polatajko H, Fox M, Missiuna C. An International Consensus on Children with Developmental Coordination Disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy* 62 (1995): 3-6.
 30. Blank R, Smits-Engelsman B, Polatajko H, et al. European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version*. *Developmental Medicine and Child Neurology* 54 (2012): 54-93.
 31. Vaivre-Douret L, Lalanne C, Ingster-Moati I, et al. Subtypes of Developmental Coordination Disorder: Research on Their Nature and Etiology. *Developmental Neuropsychology* 36 (2011): 614-643.
 32. Vaivre-Douret L, Lalanne C. Specific impairments and predictive markers for Developmental Coordination Disorder subtypes in children: the importance of multidimensional developmental assessments in cluster analysis. *Journal of Translational Science* 5 (2019): 1-13.
 33. Vaivre-Douret L, Lalanne C, Cabrol D, et al. 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 (2011): 443-453.
 34. Lalanne C, Falissard B, Golse B, et al. Refining developmental coordination disorder subtyping with multivariate statistical methods. *BMC Medical Research Methodology* 12 (2012): 107-107.

35. Lyytinen H, Ahonen T. Developmental motor problems in children: a six-year longitudinal study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 10 (1988): 57-57.
36. Vaivre-Douret L, Lalanne C, Golse B. Developmental Coordination Disorder, An Umbrella Term for Motor Impairments in Children: Nature and Co-Morbid Disorders. *Frontier in Psychology* 7 (2016).
37. Hoare D. Subtypes of Developmental Coordination Disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly* 11 (1994): 158-169.
38. Macnab JJ, Miller LT, Polatajko H. The search for subtypes of DCD: Is cluster analysis the answer? *Human Movement Sciences* 20 (2001): 49-72.
39. Green D, Chambers ME, Sugden DA. Does subtype of developmental coordination disorder count: is there a differential effect on outcome following intervention? *Human Movement Science* 27 (2008): 363-382.
40. Dewey D, Kaplan BJ. Subtyping of developmental motor deficits. *Developmental Neuropsychology* 10 (1994): 265-284.
41. Vaivre-Douret L, Burnod Y. Development of a global motor rating scale for young children (0-4 years), including eye-hand grip coordination. *Child: Care, health and Development* 27 (2001): 515-534.
42. Vaivre-Douret, L. Batterie d'évaluation des fonctions neuro-psychomotrices (NP-MOT) [Tests battery of developmental neuropsychomotor functions in children (NP-MOT)]. Paris: Centre de Psychologie Appliquée-Pearson (2006).
43. Ajuriaguerra de J. L'écriture de l'enfant: l'évolution de l'écriture et ses difficultés [The handwriting of the child: the evolution of handwriting and its difficulties]. 4th ed. Vol. 1. Paris: Delachaux et Niestlé (1989).
44. Korkman M, Kirk U, Kemp S. Developmental neuropsychological assessment manual. Paris: Centre de Psychologie Appliquée-Pearson (2003).
45. Bruininks O. Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency. Circle Pines, MN: American Guidance Service (1978).
46. Robert MP, Ingster-Moati I, Albuisson E, et al. Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children with developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 56 (2014): 595-600.
47. R Core Team R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing (2015).
48. Arffa S. The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Arch Clin Neuropsychol* 22 (2007): 969-978.
49. Nusbaum F, Hannoun S, Kocevar G, et al. Hemispheric Differences in White Matter Microstructure between Two Profiles of Children with High Intelligence Quotient vs. Controls: A Tract-Based Spatial Statistics Study. *Frontier in Neuroscience* 11 (2017): 173.
50. Milner AD, Goodale MA. Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia* 46 (2008): 774-785.
51. Desco M, Navas-Sanchez FJ, Sanchez-González J, et al. Mathematically gifted adolescents use more extensive and more bilateral areas of the fronto-parietal network than controls during executive functioning and fluid reasoning tasks. *NeuroImage* 57 (2011): 281-292.

52. Lopez C, Hemimou C, Vaivre-Douret L. Handwriting disorders in children with developmental coordination disorder (DCD): Exploratory study. *European Psychiatry* 41 (2017): S456.
53. Antshel KM, Faraone SV, Stallone K, et al. Is attention deficit hyperactivity disorder a valid diagnosis in the presence of high IQ? Results from the MGH Longitudinal Family Studies of ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 48 (2007): 687-694.
54. Siegle D. Understanding underachievement. In S.I. Pfeiffer (ed), *Handbook of Giftedness in children*. United Kingdom: Springer Nature (2018): 285-297.
55. Tordjman S, Vaivre-Douret L, Chokron S, et al. Les enfants à haut potentiel en difficulté : Apports de la recherche Clinique [Children in difficulty with high potential: contribution of research]. *L'Encéphale* 44 (2018): 446-456.
56. Vaivre-Douret L. Caractéristiques développementales de l'enfant à « hautes potentialités » et compréhension de trajectoires vers la dépression à l'âge scolaire en primaire et au collège [Developmental characteristics of the child with high-level potentialities and understanding of trajectories to depression at school age in elementary and in high school]. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence* 67 (2019): 140-151.

Citation: Laurence Vaivre-Douret, Soukaina Hamdioui, Adriano Cannafarina. The Influence of IQ Levels on Clinical Features of Developmental Coordination Disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders* 4 (2020): 218-234.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution \(CC-BY\) license 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

The distribution of IQ index scores in the psychometric profile of children with High Intellectual Potential (HIP): Is the heterogeneity specific to HIP?

Soukaina Hamdioui^{1,2} & Laurence Vaivre-Douret^{3,4,5,6}

¹Faculty of Society and Humanity, Department of Psychology, Université Paris Cité, France. ²National Institute of Health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Faculty of Medicine, University of Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France. ³Department of Child Psychiatry, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker Enfants Malades University hospital, Paris, France. ⁴Faculty of Health, Department of Medicine Paris Descartes, Université Paris Cité, France. ⁵University Institute of France (Institut Universitaire de France, IUF), Paris, France. ⁶Department of Endocrinology, IMAGINE Institute, Necker-Enfants Malades Université Paris Cité, France. *Corresponding author : Prof. Laurence Vaivre-Douret, PhD, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, INSERM UMR 1018-CESP, Carré Necker Porte N4,149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France, Tel : +33 (0) 1.44.49.40.14; E-mail : laurence.vaivre-douret@inserm.fr

INTRODUCTION

The majority of studies on the IQ of HIP children attest a heterogeneity of the IQ profile as specific to HIP. However, the samples are recruited in clinical consultations. Thus, it is important to investigate new samples from schools.

Objectives: We aimed to analyze the index scores of the IQ profile of children without disorders or specific school assistance.

METHODS

The WISC-V was conducted and analyzed in 80 healthy children (50 HIP vs. 30 non-HIP), aged 7-to-13 years-old (mean 10y; SD 1.8). All children were recruited in private and public schools in Paris.

RESULTS

- All IQ index scores were significantly higher in the HIP vs. non-HIP (figure 1).
- In both groups, the Verbal Comprehension Index (VCI) was the highest index while the Processing Speed Index (PSI) was the lowest.
- There are significantly ($p=0.02$) more heterogeneous IQ profiles in HIP (64%) vs. non-HIP (47%), with a significantly larger gap between the highest and lowest index (respectively: median = 29.5 vs. 21.5) (figure2).
- There was a significant-positive correlation between IQ level in general and the heterogeneity of the profile ($r = 0.42$; $p<0.001$).

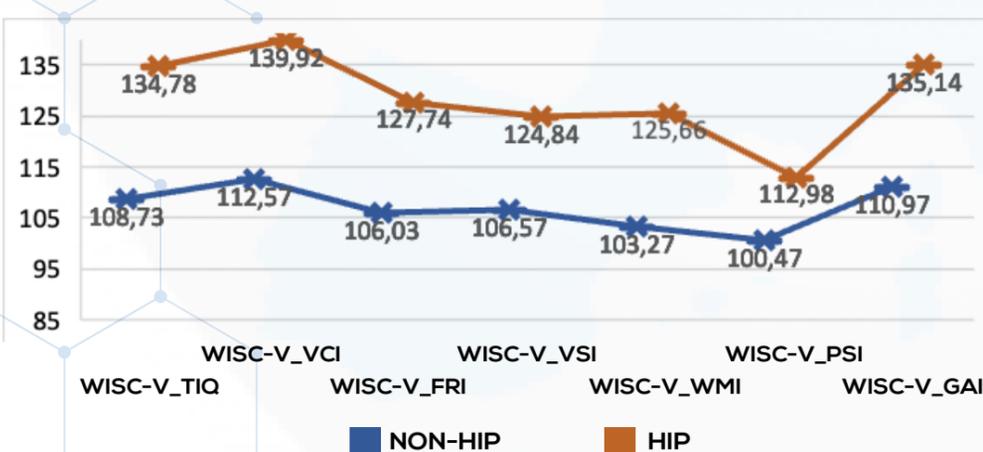


Figure 1: Index scores (WISC-V) in HIP and Non-HIP children.

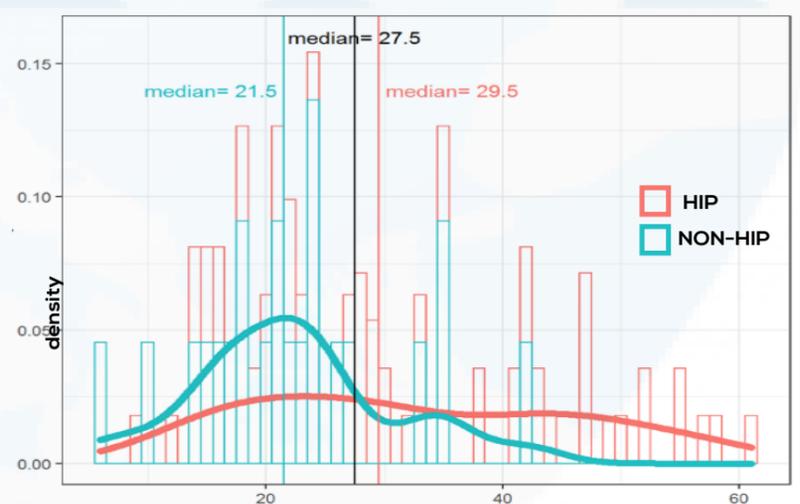


Figure 2: Distribution of range indexes by group (HIP vs. Non-HIP).

CONCLUSIONS

The HIP children show better verbal, visual-spatial, fluid reasoning, working memory, and processing speed index scores. However, the distribution of IQ index scores was similar in both groups. Thus, the heterogeneity of the IQ profile is not specific to HIP children, but rather related to IQ score level.

This highlights the importance of considering the IQ as a continuum rather than as a categorical distribution. Moreover, it points to the interest to better understand the IQ profile by completing it with multidimensional assessments.

Investigation neurodéveloppementale standardisée et normée de la motricité manuelle chez l'enfant à Haut Potentiel : Existe-t-il une avance de maturation cérébrale à l'âge scolaire ?

Soukaina Hamdioui^{a,b} et Laurence Vaivre-Douret^{b,c,d,e,f*}

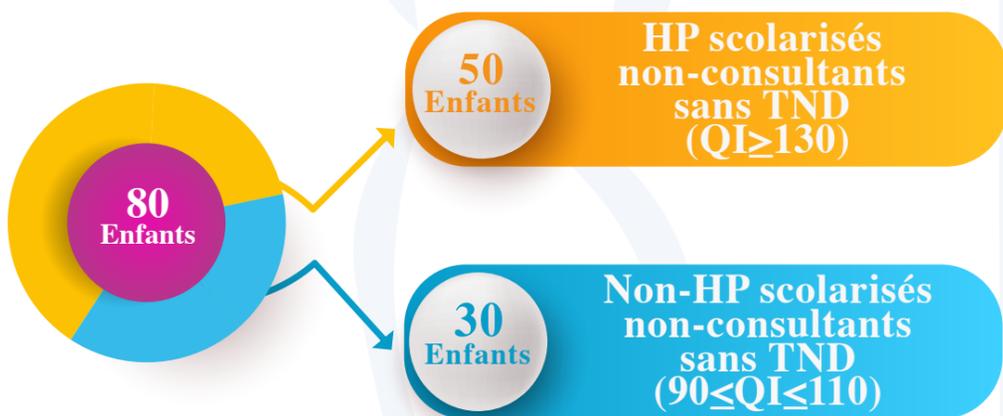
^(a)Institut de Psychologie, Ecole Doctorale 261-Cognition, Comportement, Conduites humaines, Université Paris Cité, France / ^(b)INSERM UMR 1018-CESP, Faculté de Médecine, Universités de Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France / ^(c)UFR de Médecine Paris Descartes, Faculté de Santé, Université Paris Cité, France / ^(d)AP-HP.Centre, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Paris, France / ^(e)Département d'Endocrinologie, Institut IMAGINE, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Paris, France / ^(f)Chaire de Phénotypage clinique neurodéveloppemental, Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France.

INTRODUCTION

Les études s'intéressant aux caractéristiques cognitives des enfants à Haut Potentiel (HP ; $QI > 130$) sont nombreuses, mais celles portant sur le profil neuropsychomoteur restent rares. Nous avons cherché à explorer s'il existe des marqueurs au niveau de la motricité manuelle à l'âge scolaire.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

80 enfants âgés de 7-à-13 ans (moyenne=10 ; E.T.=2.2) :



L'échelle d'intelligence (WISC-V) et l'examen neurodéveloppemental standardisé et normé des fonctions neuropsychomotrices (NP-MOT¹) ont été administrés chez l'ensemble de l'échantillon.



RÉSULTATS



Deux résultats principaux :



01 Praxies (NP-MOT):

Au niveau des praxies, l'épreuve d'opposition pouce/doigts ($F(1, 78) = 6.46, p = 0.01$) et les épreuves bi-manuelles de prono-supination ($F(1, 78) = 6.98, p = 0.01$) sont significativement meilleures chez les enfants HP.



02 Syncinésies (NP-MOT) :

Il existe une différence significative au niveau de la diminution des syncinésies contralatérales sur l'hémicorps gauche en faveur des enfants HP ($F(1, 78) = 5.95, p = 0.01$; $ScoreZ = 0.95$ E.T. vs -1.7 E.T.).

DISCUSSION & CONCLUSION

Les résultats objectivent une maturation neurologique précoce de la motricité manuelle chez les enfants HP scolarisés, soulignant un phénotype neurodéveloppemental de meilleures capacités de planification, de programmation motrice, ainsi que d'inhibition et de coordination inter-hémisphérique, impliquant des réseaux cérébraux plus efficaces, notamment la voie motrice au niveau frontal, corps calleux, cervelet, les ganglions de la base.

Référence :

⁽¹⁾Vaivre-Douret, L. (2022). Outil numérique de notation et cotation normées de l'évaluation développementale standardisée des fonctions Neuro-Psychomotrices, 4 - 12 ans et plus (NP-MOT). In Vaivre-Douret, L. (Digital Ed)®, Batterie neurodéveloppementale des fonctions Neuropsychomotrices. Paris: Editions Neuralix. www.np-mot.com

Existe-il des relations entre profil du QI chez l'enfant à haut potentiel et son développement psychomoteur ?

Soukaina Hamdioui^{a,b} et Laurence Vaivre-Douret^{a,c,d,e,f,*}

^a INSERM UMR 1018-CESP, Faculté de Médecine, Universités de Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France, ^b Institut de Psychologie, École Doctorale 261, Université de Paris, France, ^c Département de Médecine Paris Descartes, Faculté de Santé, Université de Paris, France, ^d Département de Pédiopsychiatrie, AP-HP. Centre, Hôpital universitaire Necker-Enfants Malades, Paris, France. ^e Département d'Endocrinologie, Institut IMAGINE, Hôpital universitaire Necker-Enfants Malades, Paris, France, ^f Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France.

INTRODUCTION

Les études sur la trajectoire neurodéveloppementale des enfants à haut potentiel (HP ; QI ≥ 130) au regard du profil psychométrique (homogène/hétérogène) restent rares. Concernant le WISC-V en vigueur, le profil est considéré comme hétérogène à partir de 23 points d'écart en considérant la différence maximale entre l'indice le plus élevé et le plus faible [1].

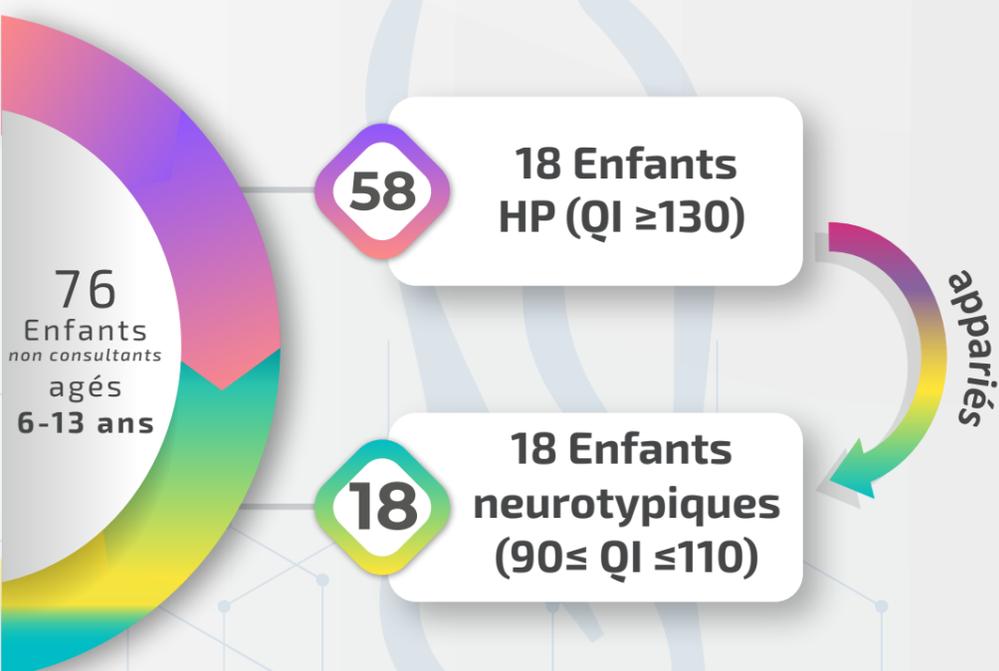
Nous avons cherché à explorer s'il existerait des relations entre les acquisitions psychomotrices et les activités de la vie quotidienne (AVQ : utilisation des couverts, habillage, etc.) et les activités ludiques et scolaires (jeux de constructions, nager, colorier, etc.) pouvant impacter le profil psychométrique.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Population :

Parmi les **58** enfants **HP**, on distingue **36** enfants avec un **profil hétérogène** et **22** avec un **profil homogène**.

Parmi les **18** enfants neurotypiques, on distingue **10** enfants avec un **profil hétérogène** et **8** avec un **profil homogène**.

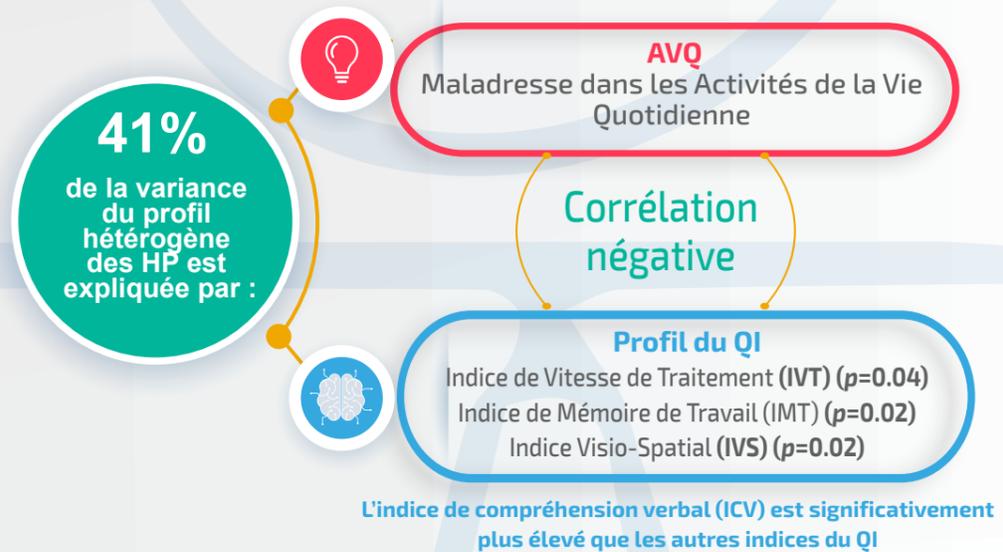
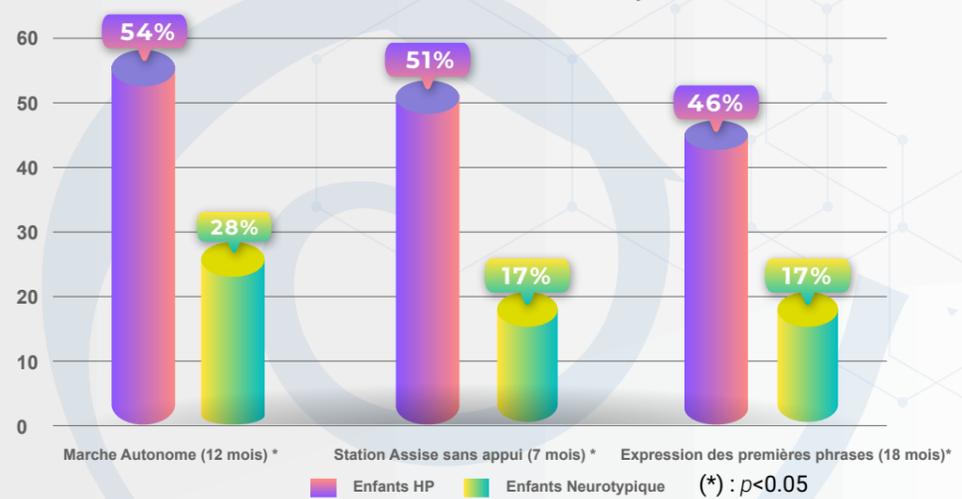


Matériel :

L'échelle d'intelligence (**WISC-V**), le carnet de santé, et un questionnaire d'anamnèse sur le développement psychomoteur ont été administrés et analysés.

RÉSULTATS

Fréquences du développement moteur et langagier précoce chez les enfants **HP**, comparées aux neurotypiques conformément aux normes développementales françaises [2; 3]



DISCUSSION & CONCLUSION

1 Le développement moteur et langagier précoce apparaît être un phénotype du **Haut Potentiel** [4]

2 Une partie importante de l'hétérogénéité du QI soulignerait des critères diagnostiques du DSM-5 du trouble développemental de la coordination (**TDC**) [4]

3 Importance de l'analyse du profil psychométrique au regard des **AVQ** [4]

Références :

- [1] Labouret, G., & Grégoire, J. (2018). La dispersion intra-individuelle et le profil des scores dans les QI élevés [Intra-individual discrepancy and the profile of high IQ scores]. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 154, 271-279. https://www.researchgate.net/profile/Ghislaine-Labouret-2/publication/326231396_
- [2] Vaivre-Douret, L. (1999). *Livre-manuel Précis théorique et pratique du développement moteur du jeune enfant (DF-MOT)*. Centre de Psychologie Appliquée-Pearson.
- [3] Brunet, O., & Lézine, I. (2001). *Échelle de développement psychomoteur de la première enfance (BLR)*. Centre de Psychologie Appliquée-Pearson.
- [4] Hamdioui, S., Cannafarina, A., & Vaivre-Douret, L. (2021). Do Children with High Intellectual Potential have an Early Motor Development and What is the Impact on IQ Profile. *Journal of Pediatrics, Perinatology and Child Health*, 5(1), 052-071. <https://doi.org/10.26502/jppch.74050063>

Psycho-socio-emotional characteristics in high Intellectual potential child regarding IQ profile (Homogeneous/Heterogeneous)

Soukaina Hamdioui^{1,2} & Laurence Vaivre-Douret^{3,4,5,6}

¹Faculty of Society and Humanity, Department of Psychology, Université Paris Cité, France. ²National Institute of Health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Faculty of Medicine, University of Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France. ³Department of Child Psychiatry, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker Enfants Malades University hospital, Paris, France. ⁴Faculty of Health, Department of Medicine Paris Descartes, Université Paris Cité, France. ⁵University Institute of France (Institut Universitaire de France, IUF), Paris, France. ⁶Department of Endocrinology, IMAGINE Institute, Necker-Enfants Malades Université Paris Cité, France. *Corresponding author : Prof. Laurence Vaivre-Douret, PhD, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, INSERM UMR 1018-CESP, Carré Necker Porte N4,149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France, Tel : +33 (0) 1.44.49.40.14; E-mail : laurence.vaivre-douret@inserm.fr

INTRODUCTION

Few studies have analyzed in high intellectual potential children (HIP, IQ>130), the psychometric profile (Homogeneous / Heterogeneous), established by the Wechsler scale, regarding the psycho-socio-emotional characteristics.

OBJECTIVES

We aimed to look at the links between the IQ-profile and the psycho-socio-emotional characteristics in HIP.

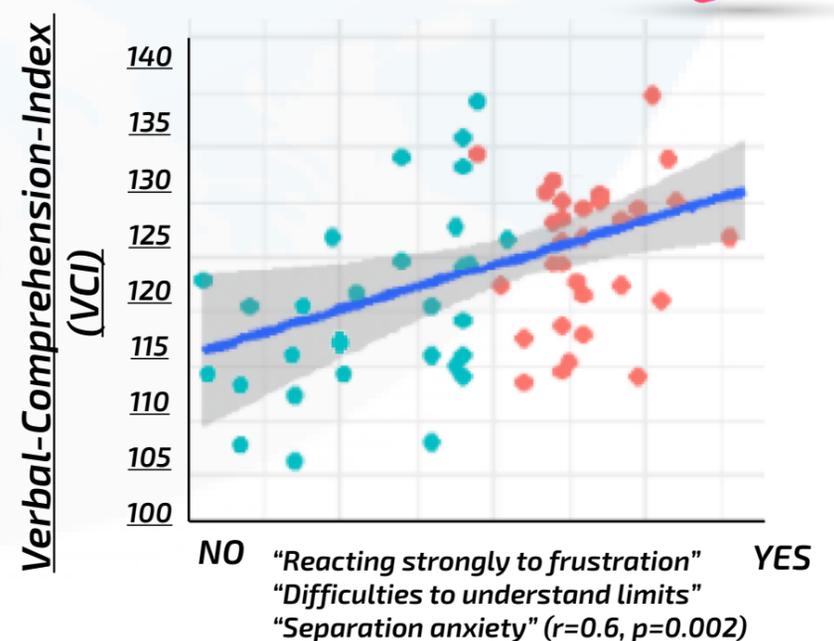
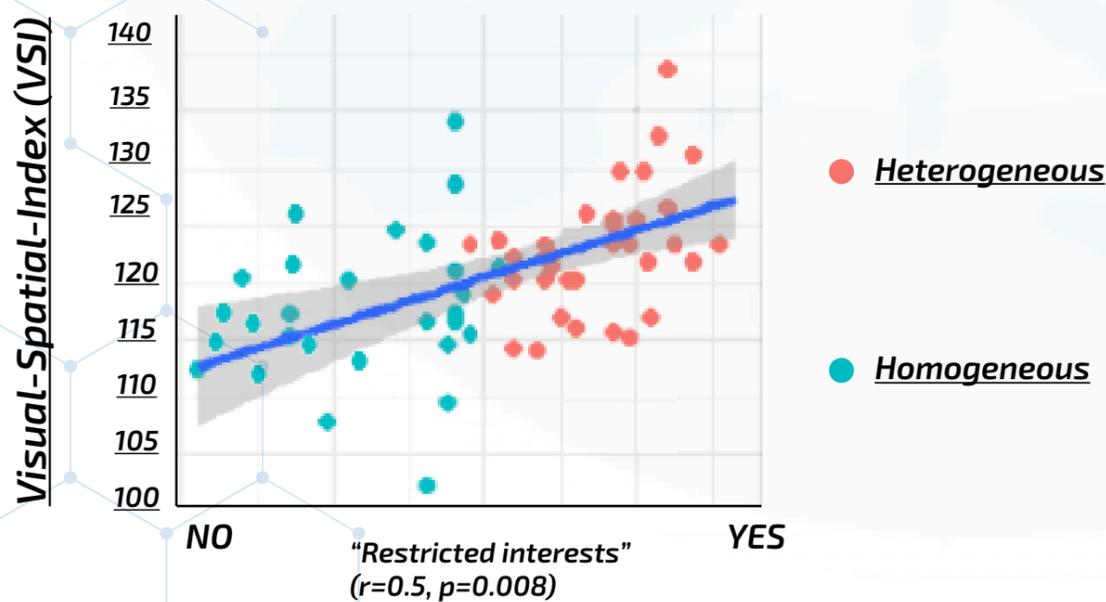
METHODS

Psycho-socio-emotional behavior (highlighted using anamnestic questionnaire) and Wechsler-Intelligence-Scale for children (WISC-V) were conducted and analyzed in 58 healthy children with HIP, aged 7-to-13 years-old (mean 10y; SD 1.8). It was distinguished 28 Homogeneous vs 30 heterogeneous IQ-profiles.

In accordance with the literature, a heterogeneous profile is considered from a difference of 23 points between the highest and lowest IQ index.

RESULTS

A significant difference between Homogeneous/Heterogeneous groups was shown regarding indexes and psycho-socio-emotional characteristics, with high rate of difficulties (10% vs 2%) in the heterogonous group ($t = -2.34, p = 0.023$).



CONCLUSIONS

HIP covers specific psycho-socio-emotional characteristics linked to IQ index distribution. Thus, it appears interesting to assess more the emotional and socio-cognitive field to understand these characteristics regarding the IQ profile in HIP children, particularly with significative indexes as VCI and VSI.

Heterogeneous IQ Profile at WISC-V in high intellectual potential could conceal developmental coordination disorder (DCD) despite early neuropsychomotor development

Soukaina Hamdioui^{1,2} & Laurence Vaivre-Douret^{2,3,4,5,6}

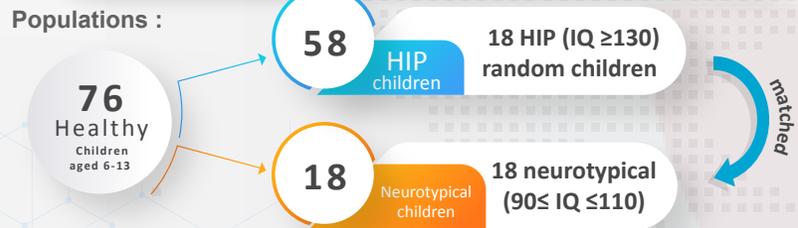
¹Faculty of Society and Humanity, Division of Psychology, Université de Paris, France. ²National Institute of Health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Faculty of Medicine, University of Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France. ³Department of Child Psychiatry, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker Enfants Malades University hospital, Paris, France. ⁴Faculty of Health, Division of Medicine Paris Descartes, Université de Paris, France. ⁵University Institute of France (Institut Universitaire de France, IUF), Paris, France. ⁶Department of Endocrinology, IMAGINE Institute, Necker-Enfants Malades Université de Paris, France. *Corresponding author : Prof. Laurence Vaivre-Douret, PhD, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, INSERM UMR 1018-CESP, Carré Necker Porte N4,149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France, Tel : +33 (0) 1.44.49.40.14; E-mail : laurence.vaivre-douret@inserm.fr



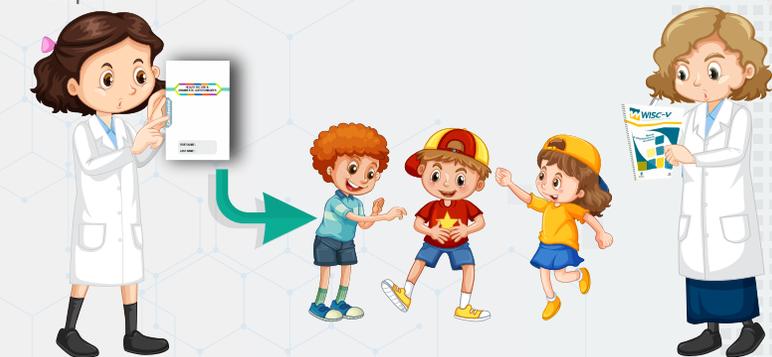
BACKGROUND AND OBJECTIVE

There are few studies exploring the correlation between neuropsychomotor development and high intellectual potential (HIP, IQ>130). We aimed to explore the developmental trajectory of motor milestones and regarding to the IQ profile in HIP children.

MATERIALS & METHODS

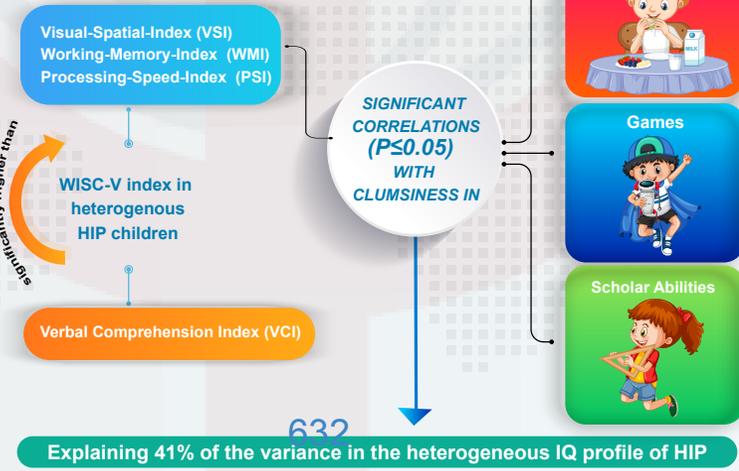
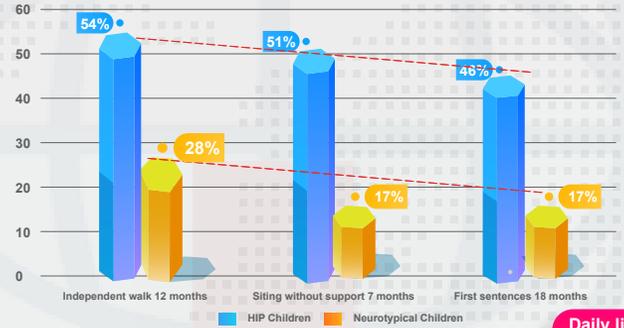


Materials : Wechsler Intelligence Scale for children (WISC-V), health record, and anamnestic questionnaires were analyzed in whole sample.



RESULTS

Comparison of the rates in advanced motor development between HIP children and neurotypical group according to the french developmental norms (a language with Brunet-Lézine, 2001) and DF-MOT motor scale (Vaivre-Douret, 2001).



CONCLUSION

- 01 In the current study, although early motor development was demonstrated in HIP-children, we have shown that a significant part of the heterogeneous IQ profile meets the DSM-5 criteria for a developmental coordination disorder (DCD).
- 02 Thus, the analysis of the IQ index variability and regarding to the anamnestic data should be considered.
- 03 These analysis are useful in clinical decision-making processes for early diagnosis of DCD often concealed with an early neuropsychomotor development in HPI-children.

Sémiologie de la dysgraphie chez l'enfant porteur d'un trouble du développement de la coordination en fonction du quotient intellectuel

Soukaina Hamdioui ^{a,b} et Laurence Vaivre-Douret ^{a,c,d,e,f,*}

^a INSERM UMR 1018-CESP, Faculté de Médecine, Universités de Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, France, ^b Institut de Psychologie, École Doctorale 261, Université de Paris, France, ^c Département de Médecine Paris Descartes, Faculté de Santé, Université de Paris, France, ^d Département de Pédiopsychiatrie, AP-HP. Centre, Hôpital universitaire Necker-Enfants Malades, Paris, France. ^e Département d'Endocrinologie, Institut IMAGINE, Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, Paris, France, ^f Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France.



INTRODUCTION

La dysgraphie touche particulièrement les enfants avec un trouble développemental de la coordination (TDC : 87-88%) [1] et est souvent observé chez les enfants avec un quotient Intellectuel élevé ($120 \leq QI \leq 156$). La littérature met en exergue chez ces enfants une dyssynchronie entre performances intellectuelles et motrices comme un fait développemental et de façon générale la dysgraphie reste mal connue. L'objectif de notre étude est de mieux comprendre la sémiologie et par conséquent l'étiologie de la dysgraphie chez l'enfant TDC en fonction du QI.



MATÉRIEL & MÉTHODE

Population :

38 enfants âgés de 6 à 12 ans diagnostiqués avec TDC ont été évalués:



Matériel :

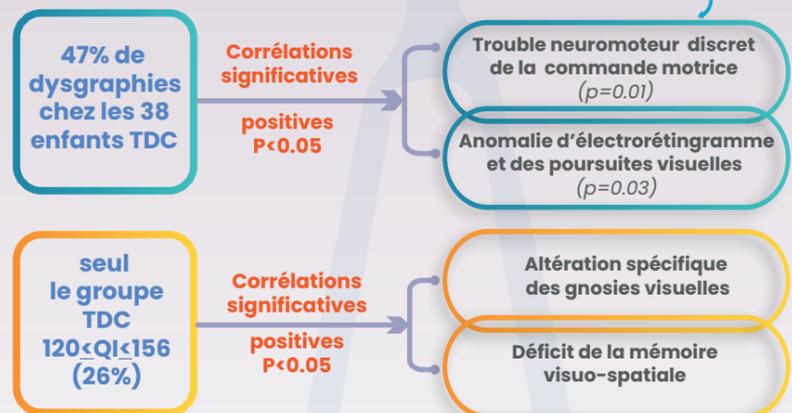


RÉSULTATS

Parmi les enfants TDC de notre échantillon qui présentent un trouble de l'écriture (100%), le taux de dysgraphie est:



Sémiologie :



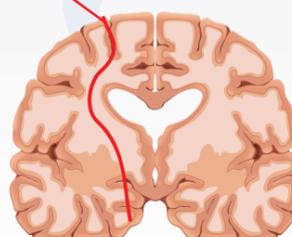
DISCUSSION & CONCLUSION

La dysgraphie diagnostiquée par le test BHK apparaît comme comorbidité chez les enfants porteurs d'un TDC quel que soit le QI.

Concernant les résultats à l'IRM anatomique, les anomalies (74%) sont hétérogènes et donc non spécifiques.

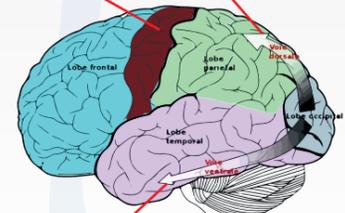
Le phénotypage neurodéveloppemental approfondi nous a permis de mettre en évidence la sémiologie de la dysgraphie, impliquant des dysfonctionnements au niveau de :

Voie pyramidale



Voie occipito-pariétale

Cortex moteur



Voie occipito-temporale

Références :

- [1] Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Cabrol, D., Ingster-Moati, I., Falissard, B., & Golse, B. (2011). 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>.
- [2] Hamdioui, S., & Vaivre-Douret, L. (2020). Clinical markers of dysgraphia according to Intellectual quotient in children with developmental coordination disorder. *Journal of Psychiatry and Psychiatric Disorders*, 4 (6), 366-382. <https://doi.org/10.26502/jppd.2572-519X0119>
- [3] Examen NP-MOT correction automatisée : Plateforme Neuralix: www.np-mot.com

Investigation of clinical features of dysgraphia related to the subtypes of developmental coordination disorder in children regarding High IQ

Soukaina Hamdioui^{1,2} & Laurence Vaivre-Douret^{3,4,5,6}

(1) Faculty of Society and Humanity, Division of Psychology, Université de Paris, France. (2) National Institute of health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), PsyDev. (3) Faculty of Health, Division of Medicine Paris Descartes, Université de Paris, France. (4) University Institute of France (Institut Universitaire de France, IUF), Paris France. (5) Department of Child Psychiatry, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker-Enfants Malades University hospital, Paris, France. (6) Department of Endocrinology, IMAGINE Institute, Necker-Enfants Malades Paris, France.

BACKGROUND AND OBJECTIVE



Handwriting disorder is commonly observed in Developmental Coordination Disorder (DCD) (87-88%) and is often noted in children with high Intellectual Quotient (HIQ) [1]. Two mainly pure DCD subtypes: ideomotor-DCD (IM), visuospatial/or visuoconstructional-DCD (VSC) and a mixed subtype (MX) were identified in the literature [2] but nothing is known regarding IQ with DCD and dysgraphia.

We aimed to refine the specific clinical features of dysgraphia related to DCD subtypes regarding IQ levels.

MATERIALS & METHODS

Materials : Neurovisual, neuropsychological, neuropsychomotor functions, and handwriting performances were assessed.

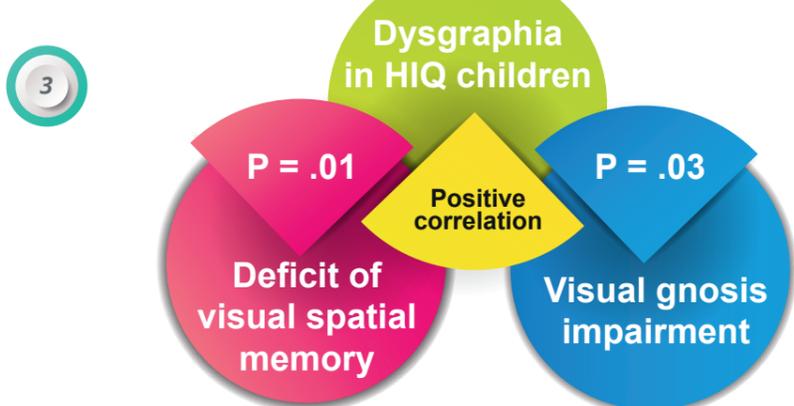
Participants : N = 38 children (6-to-12 years-old: mean 9y, SD 2.7) diagnosed with DCD (DSM-5 criteria) were collected and matched in two groups regarding :



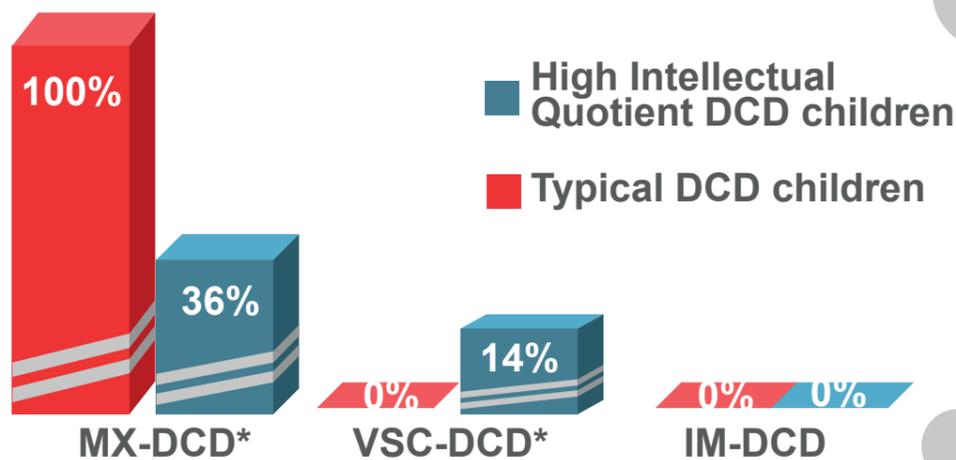
Ethical considerations : The institutional ethic committee of Paris Descartes University approved our study (CER-PD 2019-49, CERPD 2019-93). All Participants provided written informed consent before the start of the study, signed by a parent or legal representative before each child was enrolled into our study.

RESULTS

1 IQ scores were not significantly associated with dysgraphia.

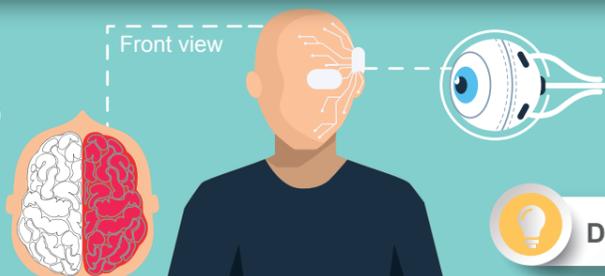


2 DCD subtypes regarding dysgraphia : HIQ DCD compared to typical DCD children



CONCLUSION

Dysgraphia was significantly found with VSC-DCD subgroup in FIQ>120 with specific features of visual perception disorders suggesting more involvement of the right cortex.



These results suggest that VSC-DCD in HIQ could be a neurovisual impairment rather than a pure VSC-DCD.

Dysgraphia is linked to comorbidity in MX-DCD

References :

- [1] 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 : 540-548.
- [2] Vaivre-Douret L, Lalanne C. (2019). Specific impairments, and predictive markers for Developmental Coordination Disorder subtypes in children: the importance of multidimensional developmental assessments in cluster analysis. Journal of Translational Science 5: 1-13.

Some gifted children are diagnosed with developmental coordination disorder (DCD), but have they identical clinical features compared to typical children with DCD ?

Laurence Vaivre-Douret¹, Soukaina Hamdioui², Adriano Cannafarina²

(1) Faculty of Medicine, University of Paris, Paris Descartes, INSERM Unit 1178/1018-CESP, France University Institute (IUF), Paris, France; Department of Child Psychiatry, Necker-Enfants-Malades University Hospital, AP-HP, Paris, France.

(2) Faculty of Medicine, University of Paris, Paris Descartes, INSERM Unit 1178/1018-CESP, Necker-Enfants-Malades University Hospital, AP-HP, France.

BACKGROUND AND OBJECTIVE

Normal distribution considers a very high Intellectual Quotient (HIQ) at 130 (top 2,2% of population), these are gifted children. Some of them are diagnosed with DCD, but it lacks depth regarding their atypical IQ profile.

We aim to explore IQ's influence on DCD clinical features. In a previous study we identified 3 subgroups of DCD : Ideomotor (IM DCD), Visual-Spatial-Constructive (VSC DCD) and Mixed (MX DCD) [1, 2].

MATERIALS AND METHODS

Participants:

□ N = 74 children (mean = 9 y. 1 month ± 2.7 S.d) with DCD according to DSM-5 without comorbidity. 37 HIQ were paired to 37 non-HIQ children.

✓ **Ethical considerations:** All Participants provided written informed consent before the start of the study, signed by a parent or legal representative before each child was enrolled into our study.

Standardized Materials

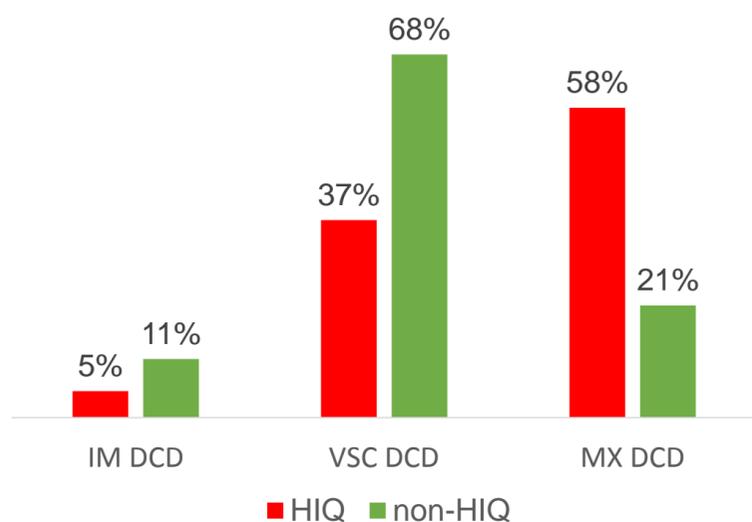
- Neuropsychological assessments: WISC III/IV, Khos' cubes, Tower of London & Labyrinths Porteus

- Neurovisual test (VEP & ERG, visual pursuits)

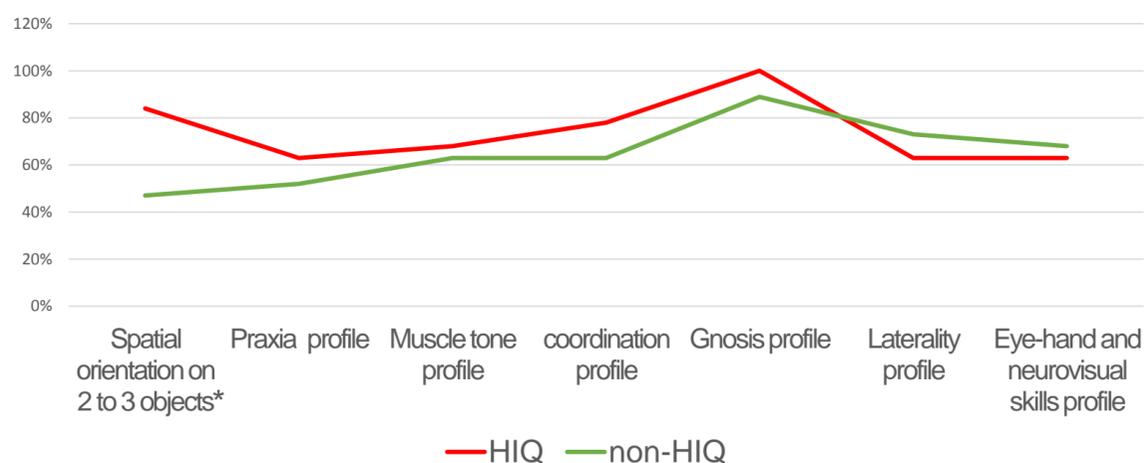
- Neuropsychomotor functions assessment (NP-MOT) [3]

RESULTS

HIQ and non-HIQ frequencies distribution for each DCD subtype



HIQ and non-HIQ's success rate for neuropsychomotor and neurovisual assesement



□ Link between DCD subtypes and neuropsychological functions

We found in HIQ significant and negative correlations between IM and executive functions ($r = -.519$ $p < .05 = .001$) as well as between Khos' cubes test and VSC ($r = -.815$, $p < .05 = .006$).

CONCLUSION

➤ Gifted children with DCD have similar clinical features compared to typical children with DCD. However, gifted children with DCD seem to use better mental representation process, executive functions, and visual-Spatial-Constructural abilities, which appears as a good strategy to compensate Ideomotor and VSC DCD.

References:
 [1] Lalanne, C., Falissard, B., Golse, B., and Vaivre-Douret, L. (2012). Refining developmental coordination disorder subtyping with multivariate statistical methods. BMC Med. Res. Methodol. 12:107. doi: 10.1186/1471-2288-12-107
 [2] Vaivre-Douret, L., & Lalanne, C. (2019). Specific impairments and predictive markers for developmental coordination disorder subtypes in children: The importance of multidimensional developmental assessments in cluster analysis. Journal of Translational Science, 5, 1-13
 [3] Vaivre-Douret, L. (2006). Batterie D'évaluation des Fonctions Neuro-Psychomotrices (NP-MOT) [Developmental Assessments Battery of Neuropsychomotor Functions]. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

European Psychiatry

THE JOURNAL OF THE EUROPEAN
PSYCHIATRIC ASSOCIATION

**EPA 2021
ABSTRACT
SUPPLEMENT**



EUROPEAN
PSYCHIATRIC
ASSOCIATION



**CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS**

Methods: It's a cross sectional study, including 60 children with ADHD and 60 children without ADHD ranging from 6 to 19 years of age (mean age 10.43 years). We defined moderate emotional dysregulation if a child had an aggregate cut-off score of >180 on the Anxiety/Depression, Aggression, and Attention scales of the CBCL and severe emotional dysregulation if a child had an aggregate cut-off score of > 210. This profile was selected because of its conceptual congruence with the clinical concept of emotional dysregulation.

Results: Sixty-three percent of children with ADHD had a severe emotional dysregulation versus 12% of controls ($P < 0.001$). Emotional dysregulation was associated with elevated rates of hyperactivity and impulsivity: Ninety-six percent of the children with hyperactivity-impulsivity, according to the Conners scale, had emotional dysregulation. With a significant correlation between emotional dysregulation and hyperactivity-impulsivity ($p = 0.001$). Also all children with attentional disorders exhibited emotional dysregulation and a significant correlation between emotional dysregulation and inattention has been found in both groups ($p = 0.000$).

Conclusions: Emotional dysregulation is now known to play a causal role regarding ADHD symptomatology. It should therefore be included in future theoretical models of ADHD, as well as in clinical practice when identifying the major impairments in this diagnostic group and when deciding therapeutic strategies.

Keyword: emotional dysregulation attention-deficit/hyperactivity disorder

EPP0127

Investigation of clinical features of dysgraphia related to the subtypes of developmental coordination disorder in children regarding high IQ

S. Hamdioui^{1,2*} and L. Vaivre-Douret^{2,3,4,5,6}

¹Université De Paris, Faculty of Society and Humanity, Division of Psychology, Paris, France; ²University Of Paris-saclay, Uvsq, National Institute of health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Faculty of Medicine, Villejuif, France; ³Department Of Endocrinology, Imagine Institute, Necker-Enfants Malades University Hospital, Paris, France; ⁴Université De Paris, Faculty of Health, Division of Medicine Paris Descartes, Paris, France; ⁵institut Universitaire De France, Iuf), University Institute of France, Paris, France and ⁶Necker-enfants Malades, University Hospital, Department of Child Psychiatry, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Paris, France

*Corresponding author.

doi: forthcoming

Introduction: Handwriting disorder is commonly observed in Developmental Coordination Disorder (DCD) (87-88%) and is often noted in children with high Intellectual Quotient (HIQ). Two mainly pure DCD subtypes: ideomotor-DCD (IM), visuospatial/or visuoconstructional-DCD (VSC) and a mixed subtype (MX) were identified in the literature but nothing is known regarding IQ and dysgraphia.

Objectives: To refine the specific clinical features of dysgraphia related to DCD subtypes regarding IQ levels.

Methods: Neurovisual, neuropsychological, neuropsychomotor functions, and handwriting performances of 38 children (6-to-12 years-old: mean 9y, SD 2.7) diagnosed with DCD (DSM-5 criteria) were collected. Two matched groups were analyzed according to their IQ: 19 (TC) typical children (IQ=90-110) and 19 HIQ children (IQ > 120).

Results: IQ scores were not significantly associated with dysgraphia. There is a significant difference between TC vs HIQ with a lower rate of IM-DCD respectively 11% vs 5% ($p = .035$) and 68% vs 37% for VSC-DCD ($p = .03$) but 21% vs 58% in MX-DCD ($p = .41$). Dysgraphia was significantly more present in TC group with MX-DCD and in HIQ with VSC-DCD. A negative correlation between Kho's' cubes test failure ($p = .006$), visual-spatial memory ($p = .05$) and VSC-DCD was noted in HIQ group. The deficit of visual spatial memory was significantly related to dysgraphia in HIQ children ($p = .01$) associated to visual gnosis impairment ($p = .03$).

Conclusions: Dysgraphia was significantly found with VSC-DCD subgroup in HIQ > 120 with specific features of visual perception disorders suggesting more involvement of the right cortex. These results suggest that VSC-DCD in HIQ could be a neurovisual impairment rather than a pure VSC-DCD.

Keywords: Dysgraphia; Neurovisual impairments; Developmental coordination disorder subtypes; Intellectual quotient

EPP0128

Clinical and sociodemographic profil of children with autism spectrum disorder

R. Nabli^{1*} and T. Brahim^{2,3}

¹Eole G10, CENTRE HOSPITALIER DU ROUVRAY, SOTTEVILLE-LES-ROUEN, France; ²Child And Adolescent Psychiatry Department, Fattouma Bourguiba University Hospital, Monastir, Tunisia, Monastir, Tunisia and ³Eole G10, CH du Rouvray, SOTTEVILLE-LES-ROUEN, France

*Corresponding author.

doi: forthcoming

Introduction: Autism Spectrum Disorder is a neurodevelopmental disorder whose prevalence is increasing. It is of multifactorial origin involving genetic factors as well as environmental intervention

Objectives: To study the socio demographic and clinical profile of ASD children

Methods: This is a descriptive retrospective study. It concerns children followed for ASD whose diagnosis was made between January 2010 and December 2012, followed by the child psychiatry unit of the psychiatry department. The data were collected from patient records

Results: A prevalence of 17% of ASD among all consultants during the study period. Our population had an average age of 3.88 years \pm 2.79 years at the first consultation and a sex ratio of 3.9 with a clear male predominance. 53% of the population had an average socio-economic level. In 24% of cases were born from non-consanguine marriages. Maternal substitute was found in 55% of cases. History of neurodevelopmental disorders in the family were found in 46%. In 53% of cases at least one co-morbidity was noted. The evolution of our patients was marked by an improvement, In 60% of cases, language was acquired, a reduction in stereotypes was found in 65% of cases. Disappearance of behavioral disorders was found in 63%. 85% of children were integrated in typical kindergarden, 24% of children integrated regular schools.

Conclusions: Our study population appears to have similar clinical and environmental characteristics to those described in the literature. But a better evolution, with fewer comorbidities and underlying genetic anomalies. More studies are needed to better understand the particularities of ASD in Tunisia.

Keywords: autism; Profil; clinic; severity

Methods: A study on CDC National Youth Risk Behavior Surveillance (YRBS) (1991-2017). Responses from adolescence related to cyberbullying and suicidality were evaluated. Chi-square and mix-effect multivariable logistic regression analysis was performed to find out the association of cyberbullying with sadness/hopelessness, suicide consideration, plan, and attempts.

Results: A total of 10,463 adolescents, 14.8% of adolescents faced cyberbullying a past year. There was a higher prevalence of cyberbullying in youths aged 15-17 years (25 vs 26 vs 23%), which included more females to males (68 vs 32%). ($p < 0.0001$) Caucasians (53%) had the highest number of responses to being cyberbullied compared to Hispanics (24%), African Americans (11%). ($p < 0.0001$) There was an increased prevalence of cyberbullied youths with feelings of sadness/hopelessness (59.6 vs 25.8%), higher numbers considering suicide (40.4 vs 13.2%), suicide plan (33.2 vs 10.8%), and multiple suicidal attempts in comparison to non-cyberbullied. ($p < 0.0001$) On regression analysis, cyberbullied adolescence had a 155% higher chance of feeling sad and hopeless [aOR=2.55; 95%CI=2.39-2.72], considered suicide [1.52 (1.39-1.66)], and suicide plan [1.24 (1.13-1.36)].

Conclusions: In our study, cyberbullying was associated with negative mental health outcomes. Further research is warranted to examine the impact and outcomes of cyberbullying amongst adolescents and guiding the policies to mitigate the consequences.

Parameters	Odds Ratio	95% Confidence Interval	p-value
Mental health conditions			
Sad and hopeless (vs no-sad)	2.55	2.39 - 2.72	0.0001
Considered suicide	1.52	1.39 - 1.66	0.0001
Made suicide plan	1.24	1.13 - 1.36	0.0001
Suicide attempts (0 times)			
1	0.87	0.76 - 0.99	0.029
2-3	0.73	0.63 - 0.85	0.0001
4-5	0.48	0.35 - 0.64	0.0001
>6	0.49	0.37 - 0.66	0.0001
Attempt Suicide Resulting in Injury needing medical care (ref=no need for medical care)	0.75	0.64 - 0.88	0.0001
Model was adjusted for age, sex, race, school grade, alcohol use, cigarette use, and illegal injected drug use.			

Disclosure: No significant relationships.

Keywords: Suicide; Depression; Youth Risk Behavior Survey; Cyberbully

O034

Multidisciplinary approach in children with autism spectrum disorder

A.C. Stanciu^{1*}, F. Rad², I. Mihailescu³, L. Mateescu², R. Grozavescu², E. Andrei³, B. Budisteanu³, F. Linca³, D. Ioana³, C. Iliescu², S. Papuc⁴, A. Arghir⁴, I. Dobrescu² and M. Budisteanu⁵

¹Faculty Of Medicine, 'Carol Davila' University of Medicine and Pharmacy, Bucharest, Romania; ²Department Of Child Psychiatry, 'Carol Davila' University of Medicine and Pharmacy; 'Prof. Dr. Alexandru Obregia' Clinical Hospital of Psychiatry, Bucharest, Romania; ³Department Of Child Psychiatry, 'Prof. Dr. Alexandru Obregia' Clinical Hospital of Psychiatry, Bucharest, Romania; ⁴Genetics Laboratory, 'Victor Babes' National Institute of Pathology, Bucharest, Romania and ⁵Department Of Child Psychiatry, 'Victor Babes' National Institute of Pathology; 'Prof. Dr. Alexandru Obregia' Clinical Hospital of Psychiatry; 'Titu Maiorescu' University, Faculty of Medicine, Bucharest, Romania
*Corresponding author.
doi: 10.1192/j.eurpsy.2021.256

Introduction: Autism spectrum disorder (ASD) is characterized by persistent deficits in social communication and social interaction across multiple contexts and it is marked by repetitive sensory-motor behaviours and restricted interests or activities. Now recognized to occur in up to 1% of the population, the prevalence of ASD has registered a steady increase in the past two decades. Heterogeneity of presentation is a hallmark with comorbid psychiatric and medical morbidities frequently reported. Comorbidities mask and delay the diagnosis and are the cause of inadequate therapies.

Objectives: In the present paper, we studied a cohort of patients with ASD, investigating the rates and types of psychiatric and medical comorbidities.

Methods: A retrospective study of psychiatric and medical comorbidities was carried out on a sample of 120 participants that met ASD criteria according to DSM-V. The patients were examined with a detailed medical history, physical examination, as well as some additional functional, imaging, laboratory and genetic investigations. The associated conditions considered were: attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD), epilepsy, intellectual disability, gastrointestinal symptoms, ophthalmologic manifestations, infections.

Results: Of the 120 ASD subjects referred, 25 (20.8%) received the diagnosis of epilepsy. ADHD was established in 24 cases (20%). IQ score was obtained in half of the patients, 43.3% of them presenting a severe intellectual disability (IQ<35). Respiratory disorders occurred in 25% of the cases. Ophthalmological findings were observed in 9.1% of the cases. Other frequent comorbidities included motor disturbances and feeding problems.

Conclusions: A better understanding of comorbidities in ASD patients improves interdisciplinary collaboration, thus facilitating effective treatment programs.

Disclosure: No significant relationships.

Keywords: autism spectrum disorder; intellectual disability; multidisciplinary; comorbidities

O037

Understanding of the prevalence of depression in a sample of gifted children by identifying the developmental trajectory of risk and protective factors

L. Vaivre-Douret^{1,2,3,4,5*} and S. Hamdioui^{2,6}

¹Division of Medicine Paris Descartes, Université de Paris, Faculty of Health, Paris, France; ²University of Paris-Saclay, UVSQ, Villejuif, National Institute of health and Medical Research (INSERM UMR 1018-CESP), Paris, France; ³(Institut Universitaire de France, IUF), University Institute of France, Paris, France; ⁴Department of Child

Psychiatry, Assistante Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP. Centre), Necker-Enfants Malades University hospital, Paris, France;

⁵Department of Endocrinology, IMAGINE Institute, Necker-Enfants Malades Université de Paris, Paris, France and ⁶Faculty of Society and Humanity, Division of Psychology, Université de Paris, Paris, France

*Corresponding author.

doi: 10.1192/j.eurpsy.2021.257

Introduction: Developmental studies in infancy remain rare. Studies measuring depressive symptoms in gifted children are contradictory, considering more anxiety or depression than in non-gifted children. Furthermore, questionnaires or anxiety scales are used without taking into account all aspects of mood disorders and thus, rarely depression scales have been conducted.

Objectives: To refine the developmental trajectory of depression in a national sample of French gifted children by identification of the specific risk and protective factors.

Methods: A self-reported depression scale MDI-C (Multiscore-Depression-Inventory-for-Children) were sent to families to be administered to their gifted children from preschool to high school, aged from 4 to 20 years-old (IQ >125) looking for help from gifted associations. A larger wave of data collection on different aspects of child and family history was collected (pregnancy, term and delivery mode, neonatal period, psychomotor development, health, schooling, interpersonal relationships with family and friends, personality, parental socio-economic status).

Results: 438 children (> 130) were eligible. Regarding anamnestic fields, Exploratory-Factor-Analysis highlighted six predictive factors of depression with eigenvalues from 1.09 to 3.17. Major factors explaining 62.96% of total variance are: Factor-1 “motor skills disorder” (14.53%). Factor-2 “positive family relationships” (14.04%). Factor-3 “positive social relationships with peers” (14.02%). Factor-4 “integration of social codes” (11.23%). Factor-6 “Learning disabilities and rehabilitation” (10.1%).

Conclusions: Our findings highlight specific risk factors of depression in the field of learning disabilities or social cognition, while a good quality of social relationships since childhood seems to be a preventive factor.

Disclosure: No significant relationships.

Keywords: Depression; Gifted children; Motor skills disorder; Learning disabilities; Social relationship

O038

Validation of the european drug addiction prevention trial questionnaire (EU-DAP) for substance use screening and to assess risk and protective factors among adolescents in chile

J. Gaete^{1*}, S. Ramirez¹, S. Gana¹, M. Godoy² and M. Valenzuela³

¹Faculty Of Education, Universidad de los Andes, Santiago, Chile;

²Department Of Educational Assessment, Measurement And Registry, Universidad de Chile, Santiago, Chile and ³Department Of Psychology Invest Research Flagship, University of Turku, Turku, Finland

*Corresponding author.

doi: 10.1192/j.eurpsy.2021.258

Introduction: Substance use is highly prevalent among Chilean adolescents, and the damage it causes at the neurobiological,

psychological, and social levels is well known. However, there are no validated screening instruments that also assess risk and protective factors for this Chilean population.

Objectives: To evaluate the psychometric properties of the European Drug Addiction Prevention Trial Questionnaire (EU-Dap).

Methods: A cross-sectional study was carried out in 13 schools in Santiago of Chile. The sample included 2,261 adolescents of 10 to 14 years old. The linguistic and cultural adaptation was conducted using focus groups, the construct validity was evaluated using confirmatory factor analysis, and measures of its reliability were also determined. Furthermore, the associations regarding risk and protective factors with substance use were explored.

Results: Substance use questions were well understood by adolescents. Regarding the subscales of risk and protective factors, they needed some changes, and once completed, all new subscales had good or adequate goodness of fit adjustment. Regarding reliability, all of the new subscales had good or acceptable internal consistency according to the omega coefficient (range from 0.69 to 0.89). Finally, most of the risk and protective factors measured by the questionnaire were strongly associated with different substance use outcomes, especially those related to positive and negative beliefs or attitudes towards drugs, normative beliefs, and refusal skills.

Conclusions: The current findings suggest that the EU-Dap questionnaire is a valid and reliable instrument, and it may help to evaluate the effectiveness of preventive interventions in the future.

Disclosure: No significant relationships.

Keywords: Substance use; adolescents; Risk factors; validation

O039

Children’s mental health needs and access to specialized services in Mexico

L. Díaz-Castro^{1*}, M. Márquez-Caraveo², H. Cornú-Rojas³, M. Martínez Jaimes², M. García-Andrade¹ and H. Cabello-Rangel³

¹Direction Of Epidemiological And Psychosocial Research, National Institute of Psychiatry Ramon de la Fuente Muñiz, Ciudad de México, Mexico; ²Research Division, Child Psychiatric Hospital “Dr. Juan N. Navarro”, Ciudad de México, Mexico and ³Division Of Medical Care, Psychiatric Hospital “Fray Bernardino Álvarez”, Ciudad de México, Mexico

*Corresponding author.

doi: 10.1192/j.eurpsy.2021.259

Introduction: The prevalence of mental disorders (MD) is greater in children; however, they are the population with less help-seeking and access to mental health-care services (MHS).

Objectives: To explore the characteristics of help-seeking and access to specialized MHS in children with MD.

Methods: A cross-sectional study was carried out from 2018 to 2019, in the Children’s Psychiatric Hospital and National Institute of Psychiatry in Mexico City. Sample 397 children and 397 caregivers. The project was approved by the Ethics Committee of both institutions. The patient’s family member was questioned on sociodemographic data and help-seeking to MHS. Sample’s descriptive statistics applying measures of central tendency, Inferential statistics with t-test for differences in means between groups (diagnosis), and one-way ANOVA to variables associated with the help-seeking to MHS.



European Journal of Scientific Research

December 23rd, 2020

Ref: Distinguished Scholar Award

Dear Prof. Soukaina HAMDIOUI,

We are pleased to inform you that the independent ad hoc Scientific Award Committee and the Editorial Board of the European Journal of Scientific Research have decided to recognize you as a Distinguished Scholar based on your contribution to your selected field of academic research through your article titled "The Influence of IQ Levels on Clinical Features of Developmental Coordination Disorder", which was published in the Volume 4 Issue 4 of the Journal of Psychiatry and Psychiatry Disorder.

On behalf of the ad hoc Scientific Research Scientific Award Committee and the Editorial Board, please accept my heartfelt congratulations. As you may know, this is a prestigious academic recognition that we have been presenting to a very limited number of scientists from around the world since 2004. Selection of candidates are based on their outstanding scholarly contribution to the scientific knowledge in their fields of scientific research with respect to a set of criteria, including:

- Overall importance of the research question or problem and level of innovation in the topic
- Effectiveness and novelty of the methodology and data employed
- Academic significance and usefulness of conclusions resulting from the research
- Adequacy of the critical review of relevant literature
- Broad application of the findings

Once again, please accept my deepest congratulations and warmest regards,

Yours Sincerely,

Adrian Marcus Steinberg, PhD
Chair, Independent ad hoc Scientific Award Committee
European Journal of Scientific Research



Remerciements

Nous vous remercions d'avoir participé à la Journée Scientifique co-organisée par le GIS Autisme et TND et le centre d'excellence iMIND en date du 17 mars 2022.

En témoignage, veuillez trouver l'ouvrage de votre choix.

Meilleures salutations,

L'équipe iMIND