



HAL
open science

Fonctions exécutives et haut potentiel intellectuel chez l'enfant, l'adolescent et le jeune adulte

Emma Hilscher

► **To cite this version:**

Emma Hilscher. Fonctions exécutives et haut potentiel intellectuel chez l'enfant, l'adolescent et le jeune adulte. Psychologie. Université Paris Cité, 2022. Français. NNT : 2022UNIP7138 . tel-04297930

HAL Id: tel-04297930

<https://theses.hal.science/tel-04297930>

Submitted on 21 Nov 2023

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

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



Université
Paris Cité



LaPsyDÉ



Université Paris Cité, Institut de Psychologie

Ecole doctorale 261 « Cognition, Comportements, Conduites Humaines »

*Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'Éducation de l'enfant
(LaPsyDÉ), UMR CNRS 8240*

Fonctions Exécutives et Haut Potentiel Intellectuel chez l'enfant, l'adolescent et le jeune adulte

Par Emma Hilscher

Thèse de doctorat de psychologie

Dirigée par Grégoire Borst

Présentée et soutenue publiquement le 12 décembre 2022

Devant un jury composé de :

Béatrice Bourdin, Professeur à Université de Picardie Jules Verne, Rapportrice
Cédric Bouquet, Professeur à Université de Poitiers, Rapporteur
Emilie Salvia, Maître de Conférence à Université de Paris Cité, Examinatrice
Grégoire Borst, Professeur à Université de Paris Cité, Directeur de la thèse
Nathalie Blanc, Professeur à Université de Montpellier III, Examinatrice

Remerciements

En premier lieu, merci à tous les membres de mon jury, Béatrice Bourdin, Cédric Bouquet, Emilie Salvia et Nathalie Blanc, qui ont accepté d'apporter leur expertise sur ce travail, et qui me font l'honneur d'être présents lors de ma soutenance.

Merci à Grégoire Borst, mon directeur de thèse. Merci de m'avoir donné l'opportunité de réaliser cette thèse. Merci pour ton soutien durant les moments les plus durs.

Merci aux membres titulaires du laboratoire. Merci à tous les doctorants du laboratoire.

Merci tout particulièrement à Margot et à Gabi, le clan des mamans. Merci pour nos échanges et vos conseils.

Merci à Iris pour tes précieuses connaissances.

Merci à Esther, sans qui cette thèse ne serait pas, merci pour ton extrême disponibilité, ta patience, tes enseignements et pour tous ces moments partagés avec toi.

Merci à toutes les équipes de Cogito'Z, du DIEHP, de Mensa, l'ensemble des directeurs d'école et les enseignants pour m'avoir aidé à trouver des participants. Merci tout particulièrement à tous les participants.

Merci à tous mes amis.

Merci à Amélie en premier. Tu sais tout et depuis le début. Merci pour ton soutien infaillible, tes super idées, ton humour et ton extrême disponibilité. Tu as été mon roc. Merci à Antoine pour ta gentillesse.

Merci à Mathilde, ma meilleure amie, pour ta douceur, ton humour et ta bienveillance. Merci d'être à mes côtés depuis le début.

Merci à mes belles gosses chéries, Marii, Samya, Marine et Claire-Alice. Merci pour votre amitié si précieuse à mes yeux. Vous êtes les meilleures des meilleurs. Samya, je ne pourrai jamais assez te remercier.

Merci à tous mes nîmois préférés, Camdub, Marjo, Caro, Perrine, Joséphine, Bastien, Felix. Merci pour votre folie, votre joie de vivre et pour tous ces éclats de rire. Même si je me suis éloignée, vous êtes toujours dans mon cœur.

Merci aussi à tous les altoséquanais pour les soirées, les dîners et les balades parisiennes.

Merci à toute ma famille.

Merci Maman et Papa, pour votre amour et votre soutien inconditionnel. Merci de nous avoir si bien accueillies et si bien nourries, ma thèse et moi, dans les derniers moments à la Thébaïde.

Merci à Mamette, Jean-Max, Grand-père, Grand-mère.

Merci à mes frères, mes modèles, Jérémie, Baptiste, Camille et Gaspard. Merci d'être les grands frères que vous êtes. Merci à mes belles-sœurs, mes modèles bis, Nelly, Victoria, Leslie et Carole. Merci à mes neveux et nièces, Rafael, Isaure, Charlotte, Elsa, Gabrielle, César, Oscar et Louise.

Vous êtes mes plus beaux soleils.

Merci à toute ma belle-famille.

Merci tout particulièrement à Christine, Gilbert, Ophélie et Romain. Merci pour votre aide.

Merci pour tous ces moments partagés et ces échappées à Chantemerle.

Merci à Mamie pour les bons petits plats.

L'essentiel pour terminer.

Merci à Florian, mon amour, merci pour cette vie paisible et pleine de joie.

Merci à mon Hector, mon plus précieux trésor.

Du plus profond de mon cœur, merci à tous !

Abstract

Les enfants et les adolescents à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) sont en avance par rapport à leurs pairs avec un QI dans la norme dans plusieurs domaines cognitifs dont les fonctions exécutives (FE). Les FE, composées du contrôle inhibiteur, de la mémoire de travail et de la flexibilité mentale sont cruciales pour le développement de compétences complexes comme la régulation des comportements, des émotions et le raisonnement. Par conséquent, les HPI pourraient disposer de compétences plus efficaces pour s'auto-réguler. Pour autant, d'après certains cliniciens et chercheurs, les HPI rencontreraient plus de difficultés socio-émotionnelles que la population générale. Afin de mieux comprendre les capacités de régulation émotionnelle des HPI au cours du développement, nous avons exploré dans cette thèse : 1) le développement de la régulation émotionnelle et de la réactivité émotionnelle entre 9 ans et 20 ans et selon les capacités intellectuelles à l'aide d'auto-questionnaires (étude 1) et 2) le développement des FE à l'aide de plusieurs tâches les mesurant (Stroop, Stop signal, N-back et Alternate task-switching) dans des contextes dénués d'émotions (FE froides) et chargés émotionnellement (FE chaudes) selon les capacités intellectuelles entre 9 et 20 ans (étude 2) puis l'organisation de ces FE (degré de généralité et spécificité) au cours du développement selon les capacités intellectuelles (étude 3). Les résultats de notre première étude montrent que les HPI ne diffèrent pas de leurs pairs avec un QI dans la norme tant au niveau de la réactivité émotionnelle, des difficultés de régulation que des stratégies de régulation utilisées. Les résultats de la deuxième étude montrent pour la première fois que les trajectoires développementales des FE froides et chaudes sont différentes selon les capacités intellectuelles. De manière générale, pour tous les participants, les émotions affectent les performances des FE (à l'exception de la Stroop pour laquelle le contexte émotionnel n'a pas d'incidence chez les HPI). Toutefois, les HPI sont moins impactés par les émotions. Quelle que

soit la charge émotionnelle, les HPI disposent généralement de compétences exécutives plus efficaces et un développement plus précoce comparé à leurs pairs pour qui les FE chaudes se développent plus tardivement que les FE froides, conformément au modèle de Zelazo. La troisième étude met en évidence, grâce à la modélisation en réseaux, une réorganisation des FE plus précoce chez les HPI par rapport au groupe avec un QI dans la norme. Enfin, le dernier objectif de cette thèse consistait à explorer plus finement le développement du raisonnement intuitif, en opposition au raisonnement délibéré qui repose sur une pensée plus coûteuse, a priori plus efficace chez des personnes avec un haut QI (étude 4). Les résultats montrent que le raisonnement des HPI entre 10 et 17 ans repose plutôt sur des réponses intuitives correctes que sur l'utilisation de la délibération. Ce raisonnement intuitif se développerait plus précocement en comparaison au groupe avec un QI dans la norme. Cette thèse met en évidence que le QI supérieur des HPI est associé à un développement plus précoce des performances, tant au niveau des FE froides et chaudes que pour l'émergence d'intuitions logiques.

Mots clés : Haut Potentiel Intellectuel, Développement, Régulation, Réactivité, Emotion, Fonctions Exécutives Froides, Fonctions Executives Chaudes, Raisonnement, Intuitions logiques

Abstract

Gifted adolescents and children are ahead of their peers with an average IQ in a variety of cognitive domains including executive functions (EF). EF which include inhibitory control, working memory and mental flexibility, are critical for the development of complex skills such as regulation of behavior, emotions and reasoning performance. As a result, gifted people may have better self-regulation abilities. However, some clinicians and scholars claimed that gifted people face more socio-emotional difficulties than the general population. In order to better understand gifted people' emotional regulation capacities during development in this thesis, we investigated: (1) The development of emotional regulation and emotional reactivity between 9 and 20 years old as a function of intellectual capacities using self-questionnaires (Study 1) and (2) The development of EF using several tasks (Stroop, Stop signal, N-back and Alternate task-switching) in emotion-free (cold EF) and emotionally charged (hot EF) contexts according to IQ between 9 and 20 years old (study 2) and the organization of these EF (degree of generality and specificity) across development according to IQ (study 3). Our first study found that gifted people do not differ from non-gifted people in terms of emotional reactivity, regulation difficulties and regulation strategies. The findings of the second study show for the first time that the developmental trajectories of cold and hot EF differ according to IQ. In general emotions affect EF performance for all participants (with the exception of the Stroop task, for which the emotional context is not relevant for gifted people). Gifted people, on the other hand, are less affected by emotions. Regardless of emotional context, gifted people generally have more efficient executive skills and earlier development compared to non-gifted people for whom hot EF develop later than cold EF, in line with the Zelazo model. The third study demonstrates, through network modeling, an earlier reorganization of EF in the gifted group compared to the non-gifted group. Finally, the final goal of this thesis was to explore

more precisely the development of intuitive reasoning, as opposed to deliberate reasoning, which is based on more effortful thinking, for which gifted people are more efficient (study 4). The results show that gifted people between 10 and 17 years old rely more on correct intuitive responding than on deliberation. When compared to non-gifted intuitive reasoning, this sound intuiting would develop earlier. Overall, this thesis shows that gifted people's higher IQ is associated with earlier development of performance, both in cold and hot EF as well as in the emergence of logical intuitions.

Key words : Gifted, Development, Regulation, Reactivity, Emotion, Cold Executive Function, Hot Executive Function, Reasoning, Logical Intuitions

Liste des abréviations

ANT : Attention Network Test

ATS : Alternate Task Switching

CBCL : Child Behavior Checklist

CHC : Cattell-Horn-Carroll

CI : Contrôle Inhibiteur

DCCST : Dimension Change Card Sort Test

DIEHP : Dispositif d'Intégration pour les Élève à Haut Potentiel

EHP : Élève à Haut Potentiel

FE : Fonctions Exécutives

HP : Haut Potentiel

HPI : Haut Potentiel Intellectuel

HSPS : Highly Sensitive Person Scale

IGT : Iowa Gambling task

QI : Quotient Intellectuel

QIT : Quotient Intellectuel Total

MDDT : modèle différenciateur de la douance et du talent

MdT : Mémoire de Travail

MSCEIT : Mayer-Salovey-Caruso Emotional Intelligence Test

SDQ : Strengths and Difficulties Questionnaires

SEM : Structural Equation Modeling

SSRT : Stop Signal Reaction Time

SST : Stop signal

TMT : Trail Making Test

TR : temps de réaction

WAIS-IV : Wechsler Adult Intelligence Scale - IV

WCST : Wisconsin Card Sort Test

WISC-IV : Wechsler Intelligence Scale for Children - IV

WISC-V : Wechsler Intelligence Scale for Children - V

WPPSI : Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence

Table des matières

INTRODUCTION THÉORIQUE.....	13
Chapitre 1 : Le développement cognitif typique	17
I. Les modèles du développement cognitif.....	18
1. Théorie de Piaget et ses limites.....	18
2. Le développement dynamique et non-linéaire	20
II. Le développement des fonctions exécutives.....	23
1. Le contrôle inhibiteur	24
2. La mémoire de travail.....	27
3. La flexibilité mentale	29
III. Les fonctions exécutives froides et chaudes	32
IV. Conclusion.....	37
Chapitre 2 : Haut Potentiel Intellectuel et développement cognitif.....	39
I. Les modèles théoriques du Haut Potentiel.....	40
1. L'intelligence comme domaine général et domaine spécifique.....	41
2. Les modèles systémiques	45
3. Les modèles développementaux.....	48
II. Le développement cognitif	50
1. Les caractéristiques cognitives	50
2. Le raisonnement et les intuitions logiques.....	51
3. Les fonctions exécutives froides.....	54
III. Conclusion.....	58
Chapitre 3 : Haut Potentiel Intellectuel et développement socio-émotionnel.....	60
I. Le développement socio-émotionnel	61
1. Le développement du lien social	61
2. L'hypersensibilité.....	64
3. Psychopathologie : anxiété et dépression.....	67
II. La régulation et les fonctions exécutives chaudes	70
1. Le développement des capacités de régulation émotionnelle.....	70
2. Les fonctions exécutives chaudes.....	73

III. Conclusion.....	77
OBJECTIFS DE RECHERCHE	79
PARTIE EXPÉRIMENTALE	83
Étude 1 : Développement de la régulation et de la réactivité émotionnelle & Haut Potentiel Intellectuel .	84
Introduction.....	85
Méthode.....	90
Participants.....	90
Matériel.....	92
Procédure.....	93
Résultats.....	96
Discussion.....	100
Étude 2 : Développement des fonctions executives froides et chaudes & Haut Potentiel Intellectuel	106
Introduction.....	107
Méthode.....	114
Participants.....	114
Matériel.....	116
Procédure.....	125
Résultats.....	127
1. Performance	129
2. Temps de réaction	141
Discussion.....	153
Étude 3 : Modélisation en réseaux des fonctions exécutives & Haut Potentiel Intellectuel	165
Introduction.....	166
Méthode.....	169
Participants.....	169
Matériel et procédure	170
Résultat	172
Discussion.....	177
Étude 4 : Développement du raisonnement intuitif & Haut Potentiel Intellectuel	181
Introduction.....	182
Méthode.....	186
Participants.....	186
Matériel.....	187

Procédure	191
Critères d'exclusion de la procédure à deux réponses.....	192
Résultats.....	193
Discussion	198
DISCUSSION GÉNÉRALE	202
1. Étude 1 : Développement de la régulation et de la réactivité émotionnelle & Haut Potentiel Intellectuel.....	205
2. Étude 2 – Développement des fonctions exécutives froides et chaudes & Haut Potentiel Intellectuel.....	206
3. Étude 3 – Modélisation en réseaux des fonctions exécutives froides et chaudes & Haut Potentiel Intellectuel.....	208
4. Étude 4 – Développement du raisonnement intuitif & Haut Potentiel Intellectuel.....	209
5. Implications et perspectives	210
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	215
ANNEXES	236
Annexe 1 : Avis du Comité d’Ethique de la Recherche de l’Université de Paris Cité	237
Annexe 2 : Livrets explicatifs de la recherche à destination des enfants.....	238
Annexe 3 : Tableaux étude 2 et étude 4	240
Annexe 4 : Analyses supplémentaires à l’ATS version froide et chaude.....	246

INTRODUCTION THÉORIQUE

Les personnes à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) sont régulièrement décrites avec un fonctionnement cognitif et socio-émotionnel particulier. Dans les médias, que ce soit dans la littérature grand public, dans les journaux, les émissions radio ou TV, le sujet fascine. Les HPI auraient une forme de pensée hors norme, ce qui leur permettrait de raisonner de façon intuitive, c'est-à-dire de générer rapidement des réponses correctes. L'hypersensibilité, notamment émotionnel, est aussi très souvent associée au fonctionnement des HPI. Ces particularités cognitives et émotionnelles pourraient, d'après certains cliniciens et chercheurs, entraîner des répercussions négatives sur leur développement durant l'enfance et l'adolescence. A titre d'exemple, ils pourraient rencontrer des difficultés scolaires ou se sentir en décalage vis-à-vis de leurs pairs (Terrassier, 1979). Ils pourraient aussi avoir des idées inquiétantes, plus tôt que leurs pairs, sur des thèmes difficiles à gérer émotionnellement, comme les questionnements existentiels (Revol et al., 2004). Ces particularités pourraient finalement participer à les rendre vulnérables et plus à risque de développer des troubles psycho-affectifs comme l'anxiété et la dépression. Bien que certaines recherches scientifiques valident ces idées (Karpinski et al., 2018 ; Kermarrec et al., 2020), d'autres conclusions relativisent ce sombre tableau. Ils pourraient même avoir de meilleures compétences émotionnelles par rapport à leurs pairs au développement typique (Francis et al., 2012 ; Martin et al., 2009 ; Peyre et al., 2016 ; Zeidner et al., 2005), ce qui pourrait les aider à s'adapter à leur environnement physique et social avec plus de facilité. Ce manque de consensus plonge les cliniciens et tous les autres professionnels qui accompagnent ces enfants dans une incertitude contraignante. On observe ainsi, depuis plusieurs années, un intérêt grandissant pour les mythes et les réalités associés à ces enfants et adolescents HPI dans la littérature scientifique.

A ce jour, la plupart des études en psychologie cognitive du HPI n'a accordé que peu d'intérêt aux capacités de régulation émotionnelle, pourtant des difficultés d'auto-régulation durant l'enfance s'accompagnent d'un risque accru de développer à l'âge adulte des troubles psycho-affectifs (Althoff et al. 2010). Dans ce contexte, l'objectif principal de cette thèse consiste donc à comprendre plus finement le développement des capacités de régulation émotionnelle des enfants, des adolescents et des jeunes adultes HPI et les processus cognitifs sous-jacents à la régulation émotionnelle, c'est-à-dire les fonctions exécutives (Diamond, 2013 ; Miyake, 2000). De plus, dans cette thèse nous cherchons à mieux comprendre le développement du raisonnement et des intuitions logiques chez les HPI par rapport à la population générale.

Pour cela, le manuscrit de cette thèse est composé de trois parties. La première partie est une introduction théorique consacrée à la présentation des travaux antérieurs ayant motivé nos recherches. Dans un premier chapitre, nous décrivons les modèles de développement cognitif typique et le rôle des fonctions exécutives dans le développement cognitif, social et émotionnel. Ensuite, dans un deuxième chapitre nous présentons l'évolution des conceptions du Haut Potentiel puis les caractéristiques cognitives associées au Haut Potentiel Intellectuel, notamment le développement des fonctions exécutives et du raisonnement. Enfin, dans un troisième chapitre, nous évoquons le développement socio-émotionnel des enfants et des adolescents à Haut Potentiel Intellectuel puis le développement des capacités de régulation chez cette population en nous intéressant particulièrement à l'influence des émotions sur les fonctions exécutives. Nous concluons cette partie théorique en présentant nos objectifs de recherche.

La deuxième partie de cette thèse est consacrée à la présentation des quatre études menées au cours de cette thèse. Les trois premières études avaient pour objectif de mieux comprendre le développement de la régulation émotionnelle selon les capacités intellectuelles. Avec la première étude, nous mettons en évidence que les enfants et les adolescents HPI n'ont pas plus de difficultés de régulation de leurs émotions et n'ont pas une réactivité émotionnelle plus importante que leurs pairs au développement typique. Dans la deuxième et la troisième étude nous montrons que les compétences exécutives, sous-jacentes à la régulation des émotions, sont généralement plus efficaces et se développent plus précocement chez les HPI en comparaison à leurs pairs, même lorsque ces compétences sont évaluées dans un contexte chargé en émotion. Enfin, le dernier objectif de cette thèse consistait à mieux comprendre le développement du raisonnement logique, a priori plus efficace chez des HPI. Avec la quatrième étude, nous avons pu montrer que ce raisonnement plus efficace des HPI repose sur leurs capacités à générer des intuitions correctes.

Pour finir, la quatrième partie de cette thèse est une discussion générale proposant une synthèse de nos contributions expérimentales. Nous y présentons également les apports de nos découvertes pour la prise en charge de ces enfants et de ces adolescents, tant à un niveau psychologique que scolaire. Enfin, nous ouvrons la discussion sur des perspectives de recherche.

Chapitre

1

Le développement cognitif typique

Paul, un adolescent de 13 ans, n'a pas vu ses pairs pendant une longue période de confinement suite à une pandémie et il a l'obligation de maintenir une distance sociale avec eux lors de leurs retrouvailles. Cette situation constitue un challenge pour cet adolescent qui est, à ce stade de développement, plus attiré par la prise de risque, surtout en présence de ses pairs (Albert & Steinberg, 2011). Il va se jouer une compétition entre ses émotions et ses processus de régulation pour déterminer le choix à faire.

Après avoir passé brièvement en revue différentes théories décrivant le développement cognitif typique de l'enfant et de l'adolescent, nous allons montrer en quoi le développement des fonctions exécutives (FE) est central pour comprendre le développement cognitif, social et émotionnel. Nous décrivons particulièrement trois FE (le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive) en évoquant leur développement et la façon de les évaluer. Enfin, nous présenterons leurs rôles dans le développement cognitif et socio-émotionnel en présentant les différentes théories décrivant le développement des FE froides (*i.e.* dans des contextes neutres émotionnellement) et des FE chaudes (*i.e.* dans des contextes chargés émotionnellement).

I. Les modèles du développement cognitif

1. Théorie de Piaget et ses limites

Jean Piaget, psychologue, biologiste et épistémologue suisse a décrit un modèle du développement de l'intelligence d'avant-garde au XXème siècle. Il conçoit le développement de l'intelligence comme un processus linéaire et cumulatif, évoluant par stades successifs, sous la forme d'un escalier (Piaget & Inhelder, 1966). L'intelligence se développe telles que de nouvelles compétences et savoirs s'acquièrent à chaque stade, sur la base des connaissances préalablement acquises au stade précédent.

Piaget a décrit classiquement 4 stades de développement de l'intelligence (Piaget, 1947). Durant le premier stade, sensori-moteur qui s'étend de la naissance à environ 2 ans, l'intelligence du bébé se construit par une exploration essentiellement sensorielle et active de son environnement. Progressivement, l'enfant va apprendre à se construire une représentation mentale des objets qu'il découvre. Il s'agit du développement de la pensée symbolique qui débute avec le stade pré-opératoire, allant de 2 à 6 ans environ. A partir de 7 ans et jusqu'à 12 ans environ, l'enfant devient logique (stade des opérations concrètes). Son intelligence devient alors flexible, il peut concevoir la réversibilité des opérations comme la conservation du nombre et des quantités. Enfin, aux alentours de 12 ans et jusqu'à 16 ans, l'enfant qui devient adolescent va pouvoir expérimenter le raisonnement abstrait sur des propositions logiques, des idées ou encore des hypothèses (Inhelder & Piaget, 1955).

Selon cette théorie, Paul âgé de 13 ans, présenté en résumé de ce chapitre, devrait être capable de raisonner et d'opter pour la solution logique qui est de maintenir la distanciation sociale afin d'éviter tout risque de contamination. Pourtant, il a été largement

rapporté dans les médias qu'il a été très difficile pour les adolescents de maintenir cette distance lors des confinements successifs en 2020-2021. Leurs choix comportementaux étaient plus facilement guidés par la prise de risque que par la simple logique. Ce sont ces types d'écarts relevés avec la théorie piagétienne qui ont poussé des auteurs à remettre en question le caractère inflexible du développement linéaire et cumulatif piagétien. Ces modèles ont notamment démontré que l'enfant est capable de compétences plus précoces. Par exemple, d'après le modèle de Piaget les enfants ne réussissent la tâche de conservation du nombre qu'à partir de 7 ans mais il a été montré que dès 4 ans les enfants peuvent la réussir si les jetons sont remplacés par des bonbons (Mehler & Bever, 1967). La motivation, liée à l'attrait pour les bonbons, entraîne la possibilité de réussir des opérations concrètes de façon précoce.

De plus, la théorie du développement de Piaget ne permet pas non plus d'expliquer les erreurs de raisonnement tardives. Prenons l'exemple de la tâche d'Evans dans laquelle il est demandé à des adultes de falsifier la règle suivante : « S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite » en sélectionnant deux formes géométriques, l'une à placer à gauche, l'autre à droite (*cf.* Figure 1) (Evans, 1972). On constate que les adultes échouent à plus de 90% à cette tâche alors que selon la théorie de Piaget, ils devraient la réussir sans difficultés puisqu'ils ont déjà atteint le stade des opérations formelles. Les adultes se trompent parce qu'au lieu d'utiliser la règle logique, ils répondent selon un biais d'appariement perceptif en utilisant les éléments de la règle à falsifier : ils placent un carré rouge à gauche et un cercle jaune à droite. Ces erreurs de logiques à l'âge adulte suggèrent qu'il serait illusoire de penser qu'une fois les règles logiques acquises, le raisonnement le serait en toutes circonstances.

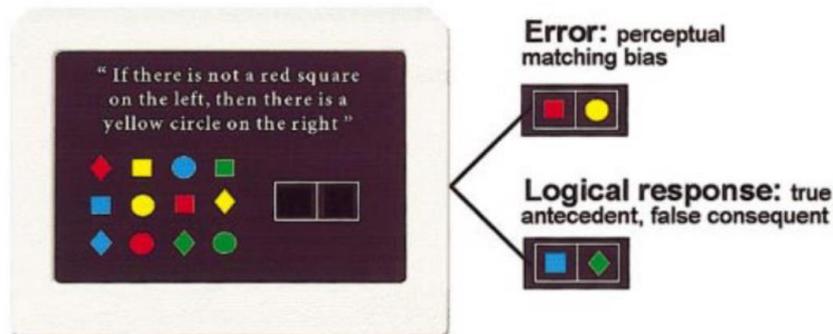


Figure 1. Plus de 90% des adultes échouent à la tâche d'Evans et utilisent un biais d'appariement perceptif les faisant répondre « carré rouge à gauche et cercle jaune à droite » (d'après Houdé et al., 2000)

Ces éléments montrent que la théorie classique de Piaget peut manquer de nuance pour représenter fidèlement les étapes de développement de l'enfant et de l'adolescent. Afin de donner du sens aux manquements du modèle de Piaget, d'autres auteurs postulent que le développement se ferait plutôt de façon dynamique et non-linéaire.

2. Le développement dynamique et non-linéaire

Dans le modèle de Robert Siegler, il n'y a plus d'âges d'acquisition de compétences définis. Le développement cognitif serait un processus continu « en vagues », dans lequel les compétences se modifient en permanence (*Overlapping Waves Theory*) (Siegler, 1996). L'enfant posséderait un répertoire de stratégies et il sélectionnerait les stratégies les plus efficaces à un moment donné, parmi son répertoire. Ainsi, les stratégies évoluent au cours du développement (cf. Figure 2). D'après cet auteur, l'acquisition de ces stratégies se fait progressivement via l'acquisition de règles de plus en plus complexes en fonction de ce que l'environnement offre comme possibilité d'apprentissage

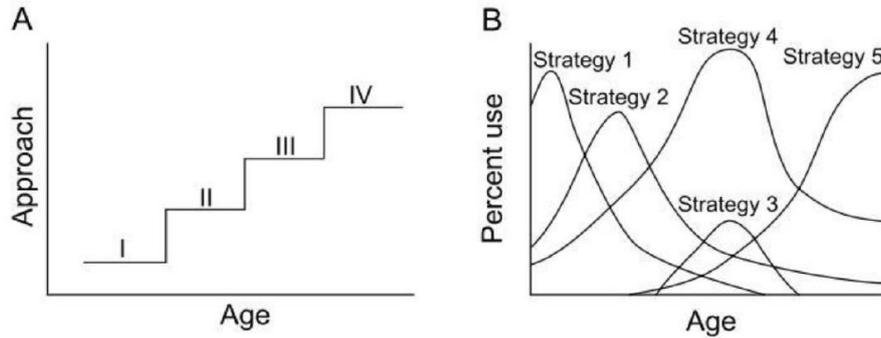


Figure 2. (A) Le développement de l'enfant par stades successifs et cumulatifs d'acquisition de compétences (adapté de Piaget & Inhelder, 1966). (B) Le développement dynamique et non-linéaire avec la fréquence d'usage d'une stratégie qui évolue en fonction de l'âge (adapté de Siegler, 1999).

D'après la théorie du double processus de Daniel Kahneman, l'ensemble des stratégies peuvent se scinder selon deux systèmes, le système 1 et le système 2 (Kahneman, 2011). Le système 1 regroupe les stratégies heuristiques, c'est-à-dire les pensées intuitives, automatiques, rapides et demandant peu d'effort cognitif. A l'inverse, le système 2 regroupe les algorithmes logico-mathématiques, c'est-à-dire les algorithmes logiques et rationnels. Ce système induit une pensée réfléchiée et fiable mais qui, de ce fait, est plus longue et plus coûteuse cognitivement que celle du premier système. Selon cette théorie, nous aurions tendance à utiliser majoritairement des stratégies heuristiques par souci d'économie. Toutefois, elles peuvent se révéler parfois inadaptées et entraîner des erreurs de jugement. A cet égard, les erreurs de raisonnement tardives désignées précédemment pourraient être expliquées par l'utilisation d'une stratégie heuristique, automatique et rapide, à défaut d'une stratégie plus coûteuse cognitivement mais qui permet d'obtenir la réponse correcte.

Finalement, selon Olivier Houdé, les heuristiques et les algorithmes seraient accompagnés d'un troisième système de pensée : celui de l'inhibition (cf. Figure 3) (Houdé, 2019). Ce troisième système aurait une fonction d'arbitrage lorsque les deux premiers systèmes entrent en conflit, permettant d'interrompre le système heuristique et d'activer le

système algorithmique, qui lui, permet d'aboutir à la bonne réponse en toutes circonstances. Selon la théorie de Houdé, ce serait grâce à la capacité d'inhibition, que nous pouvons accéder à nos algorithmes lorsqu'ils sont en conflit avec nos heuristiques. Ainsi, le choix de Paul, adolescent de 13 ans, serait déterminé par sa capacité à inhiber ou non la stratégie heuristique (*i.e.* prendre le risque de la contamination en les prenant dans ses bras) pour activer la stratégie algorithmique (*i.e.* maintenir la distance sociale pour éviter la contamination). Nous allons voir que le développement des capacités d'inhibition ainsi que la mémoire de travail et la flexibilité cognitive se fait progressivement jusqu'à l'âge adulte. De plus, nous verrons que le développement de ces capacités exécutives peut être affecté par un contexte émotionnel chargé, comme la présence de pairs dans l'exemple de Paul.

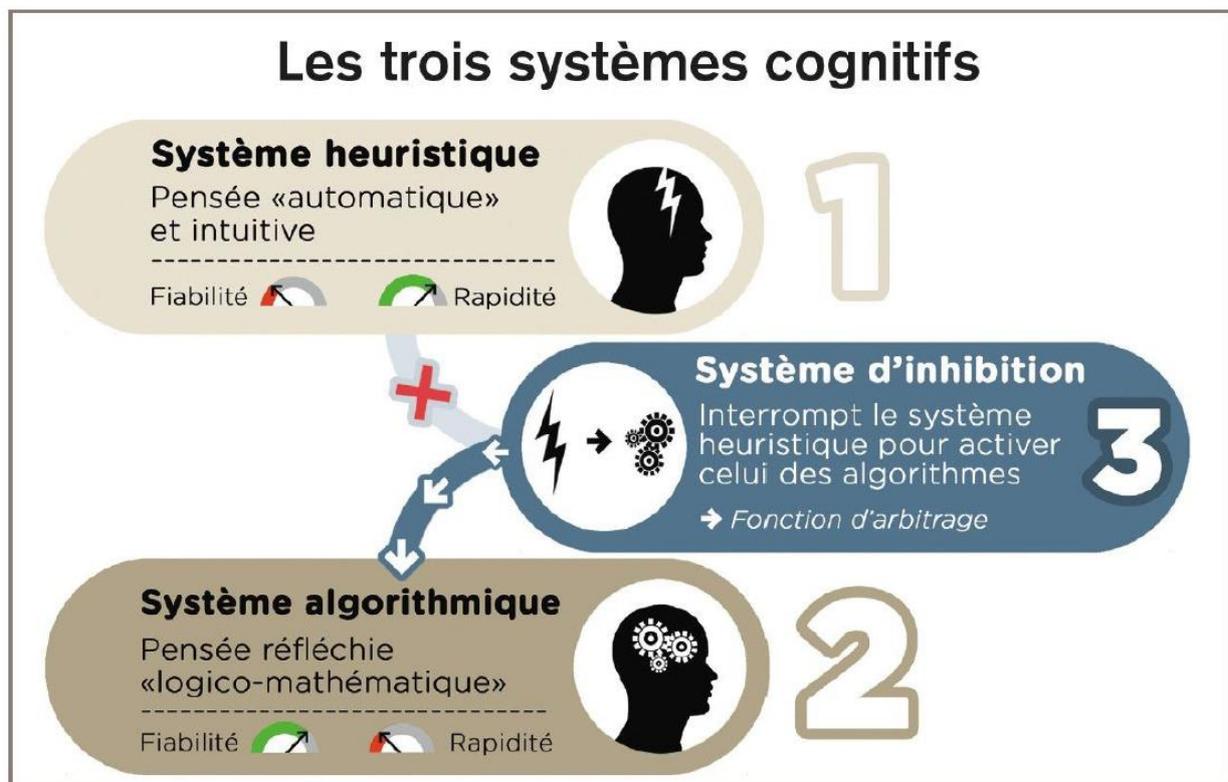


Figure 3. Illustration des trois systèmes cognitifs où le système d'inhibition permet d'interrompre le système heuristique, au profit du système algorithmique (adapté de Houdé, 2019)

II. Le développement des fonctions exécutives

Les fonctions exécutives (FE) sont impliquées dans tous les domaines cognitifs et socio-émotionnels de notre existence à tous les âges de la vie. Diamond (2013) et Miyake et al. (2000) ont proposé une définition des FE en distinguant trois processus principaux : le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive (*cf.* Figure 4). Ce sont un ensemble de processus cognitifs de haut niveau, essentiels pour la régulation de la pensée, des comportements et des émotions dans l'objectif d'atteindre un but (Diamond, 2013 ; Miyake et al., 2000). Ces fonctions sont nécessaires au développement de compétences plus complexes comme le raisonnement (Richland & Burchinal, 2013), la théorie de l'esprit (Benson et al., 2013 ; Marcovitch et al., 2015), la prise de décision (Xu et al., 2020) et la créativité (Cassotti et al., 2016). Elles sont indispensables pour la santé physique et mentale, la réussite scolaire et le développement cognitif, social et psychologique (Diamond, 2013). D'un point de vue neuro-anatomique, les FE sont sous-tendues par les réseaux cérébraux du cortex préfrontal (Diamond & Lee, 2011 ; Diamond & Ling, 2016) et auquel leur développement est donc associé (Diamond, 2013 ; Hodel, 2018). Les FE progressent au cours du développement, soumises à de fortes influences génétiques et environnementales (Diamond, 2013 ; Friedman et al., 2016).

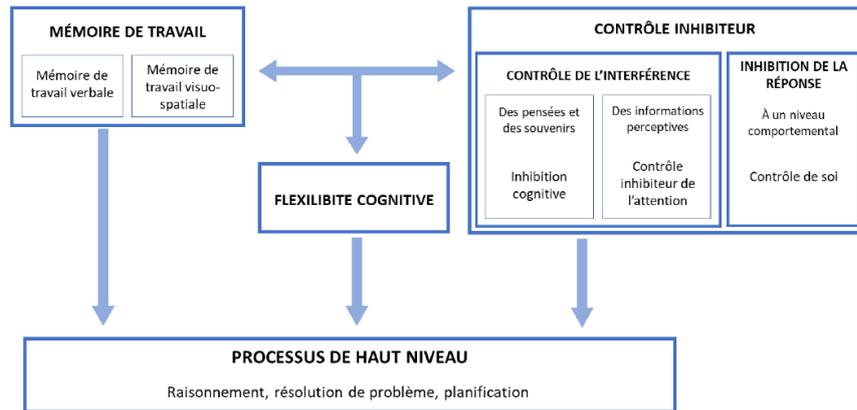


Figure 4. Sur la base de ces trois fonctions exécutives se construisent les fonctions exécutives de plus haut niveau : le raisonnement, la résolution de problème et la planification (adapté de Diamond, 2013)

1. Le contrôle inhibiteur

Le contrôle inhibiteur (CI) est défini par la capacité à résister à des automatismes, des tentations, des distractions ou encore des interférences, et permet de s'adapter aux situations avec conflit (Diamond, 2013). Nous l'utilisons lorsque nous devons faire preuve de retenue, sortir de nos routines ou encore pour résister à nos comportements impulsifs. Le CI s'exerce à différents niveaux du traitement de l'information. Diamond (2013) décrit le CI en distinguant trois composantes : le contrôle attentionnel, l'inhibition cognitive et l'inhibition comportementale. Le contrôle attentionnel est défini comme la capacité à diriger notre attention vers un but (*e.g.* lorsque nous lisons un livre dans un espace public) en inhibant les distractions auditives et visuelles (*e.g.* le bruit des passagers). Ce contrôle attentionnel volontaire nous permet de maintenir notre concentration sur le but fixé en ignorant les stimuli non pertinents pour notre but. L'inhibition cognitive correspond à la suppression de représentations mentales ou de processus dominants précédemment stockés en mémoire. Elle permet aux informations non pertinentes de ne pas interférer avec le contenu de la mémoire de travail (*e.g.* lors de la résolution d'un problème). L'inhibition cognitive et le

contrôle attentionnel se regroupent dans ce qu'on appelle plus généralement le contrôle des interférences (*i.e.* résister aux informations non pertinentes dans un contexte donné). Enfin, l'inhibition comportementale (ou inhibition de la réponse) permet d'attendre avant d'agir ou de donner une réponse. Il s'agit du contrôle de soi, du contrôle de son impulsivité et des comportements inadaptés. Résister à une gratification immédiate pour obtenir une plus grande récompense dans un futur proche est un exemple parlant du contrôle de soi.

Le CI est mesuré en psychologie en utilisant différentes tâches. Par exemple, le contrôle attentionnel peut être mesuré en utilisant une tâche de flanker où le participant doit déterminer la direction de la flèche au centre d'un ensemble de flèches pointant dans la direction opposée (<<<< > <<<<) (Rueda et al., 2005). La tâche de Stroop (Stroop, 1935) est classiquement utilisée pour mesurer le contrôle de l'interférence. Cette tâche de Stroop a été utilisée et adaptée de nombreuses fois. Pour réussir, le participant doit inhiber une information non pertinente (*i.e.* inhiber la lecture du mot) pour activer une réponse pertinente mais moins automatisée (*i.e.* Identifier la couleur de l'encre d'un mot qui lui-même dénomme une couleur. Dans les essais incongruents, pour lesquels l'inhibition est nécessaire, la couleur de l'encre du mot est différente de mot dénommant une couleur (*e.g.* **bleu**). Classiquement, les participants font plus d'erreurs et sont plus lents dans cette condition que dans la condition congruente (*i.e.*, où la couleur de l'encre correspond au mot écrit ; **bleu**).

L'inhibition de la réponse motrice (*i.e.* l'inhibition comportementale) peut se mesurer grâce à deux paradigmes : Go/No-Go et Stop Signal. Ces tâches reposent sur la capacité de résistance à une réponse dominante (*i.e.* une routine motrice) devenue inappropriée dans un contexte donné. Dans une tâche de Go/No-Go, le participant doit appuyer sur un bouton à l'apparition d'un type de stimuli (Go), et inhiber la

réponse motrice, en n'appuyant pas sur ce bouton, à l'apparition d'un autre type de stimuli (No-Go). Chaque stimuli étant associé à un type de réponse (*i.e.* Go ou No-Go), l'inhibition devient progressivement automatique au cours de la tâche.

La tâche Stop Signal est une tâche qui apporte une mesure des capacités d'inhibition de la réponse motrice par une mesure du temps de réaction. Le participant doit appuyer sur un bouton à l'apparition des stimuli Go (*e.g.* identifier l'orientation d'une flèche à droite ou à gauche) et inhiber la réponse motrice, en n'appuyant pas sur ce bouton, à l'apparition d'un signal Stop (*e.g.* un carré rouge ou un son). Les essais Stop commencent toujours avec la présentation d'un stimulus Go et après un certain délai, le signal Stop se déclenche. Ainsi, l'inhibition ne peut pas s'automatiser dans cette tâche puisque le signal stop peut apparaître après chaque stimulus Go, de sorte qu'aucune association ne puisse être faite. Le délai est un élément important de la tâche de Stop Signal. Plus le délai d'apparition du signal Stop sur un stimulus Go est long, plus il devient difficile d'inhiber la réponse motrice. A partir d'une certaine limite, il devient même impossible de retenir sa réponse motrice car l'exécution ne peut plus être annulée. Ce phénomène a été expliqué par Logan & Cowan (1984) avec le modèle de course (*i.e. horse-race model*). Ce modèle permet de prédire la performance dans la tâche. Le modèle explique comment la probabilité d'inhiber une réponse à l'apparition du signal Stop et la probabilité de répondre aux stimuli Go est dépendante des temps de réaction de la réponse aux stimuli Go, du temps de réaction au signal Stop (*i.e.* SSRT) et du délai d'apparition du signal Stop. Lorsque le délai est proche du SSRT, la probabilité d'inhiber la réponse motrice diminue. A l'inverse, lorsque le délai est proche de l'apparition du stimulus Go, la probabilité d'inhiber est grande. Ce modèle permet, en outre, de calculer le score de temps de réaction au signal Stop (*i.e.* SSRT) qui mesure les capacités d'inhibition du participant, de sorte qu'un SSRT plus faible représente de meilleures capacités d'inhibition.

Le CI, sous-tendu par le développement du cortex pré-frontal, se développe progressivement de l'enfance jusqu'à la fin de l'adolescence (Luna et al., 2010). Dès 9 mois, les bébés sont capables d'inhiber une réponse inappropriée pour effectuer une tâche (Amso & Johnson, 2005). L'efficacité de ce CI augmente progressivement de l'enfance, notamment entre 5 et 8 ans (Romine & Reynolds, 2005) puis tout au long de l'adolescence jusqu'à l'âge adulte (Luna et al., 2004). Toutefois, il existe certaines différences dans chacune des 3 composantes du CI. L'inhibition de la réponse se développe dès la première année de la vie, puis son évolution est importante durant la période scolaire et son développement est linéaire jusqu'à la fin de l'adolescence (Amso & Johnson, 2005 ; Carlson & Moses, 2001 ; Cragg & Nation, 2008). Le développement du contrôle de l'attention suit une trajectoire similaire à celle de l'inhibition de la réponse dès la première année de vie et jusqu'à l'adolescence (Aydumne et al., 2019). Pour l'inhibition cognitive, on observe un développement important durant la période scolaire. Ce développement se poursuit ensuite jusqu'à l'adolescence (Harnishfeger, 1995 ; Kail, 2002).

2. La mémoire de travail

La mémoire de travail (MdT) est définie par l'intrication de deux processus cognitifs distincts : un système de stockage d'information à court terme et un système de traitement et de manipulation des informations durant une activité cognitive (Just & Carpenter, 1992). Il s'agit de pouvoir manipuler et traiter mentalement des informations verbales et visuospatiales (Baddeley & Hitch, 1974). La MdT comporte également une dimension de mise à jour des informations, il s'agit de pouvoir rafraîchir le contenu en remplaçant les informations devenues inutiles par des données pertinentes (Carriedo et al., 2016). Cette

capacité est utilisée dans toutes les activités quotidiennes qui requièrent un traitement de l'information (*e.g.* lire un mode d'emploi, résoudre un problème arithmétique ou encore identifier et évaluer les meilleures stratégies pour réduire notre consommation d'énergie). A un niveau développemental, elle se trouve être ainsi fortement impliquée dans les apprentissages.

Pour évaluer les capacités en MdT, les tâches d'empan mnésique peuvent être utilisées. Par exemple, pour la tâche d'empan de chiffres (WISC-V : Wechsler, 2016), il est demandé au participant de répéter une suite de chiffres dans l'ordre énoncé, dans l'ordre inverse et dans l'ordre croissant. Le nombre de chiffres énoncés augmente progressivement. (*i.e.* le participant rappelle deux chiffres, puis trois et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y parvienne plus). L'empan mnésique est ainsi déterminé par le nombre d'éléments contenus dans la dernière série correctement rappelée. L'empan visuospatial peut également être mesurer en utilisant des blocs de Corsi (Corsi, 1973). Dans ce cas, le participant doit reproduire un chemin en désignant les blocs les uns à la suite des autres. Le niveau de difficulté augmente de façon croissante avec des chemins de plus en plus longs. Enfin, la tâche de n-back (Kirchner, 1958) est classiquement utilisée pour mesurer la capacité des participants à maintenir des informations en MdT et notamment leur capacité à mettre à jour le contenu en MdT. Le principe de cette tâche est le suivant : on présente au participant une série de stimuli, des chiffres par exemple, et on lui demande d'identifier si le chiffre qu'on lui présente est le même que celui présenté précédemment (*i.e.* condition dite de 1-back), en avant-dernier (*i.e.* condition dite de 2-back), ou en avant avant-dernier (*i.e.* condition dite de 3-back). Le participant doit donc maintenir en MdT, n éléments présentés précédemment, tout en rafraîchissant ces n éléments à chaque nouvel élément présenté.

Comme pour le CI, la MdT se développe très tôt dans l'enfance. Dès 9 mois, le bébé peut maintenir des informations en MdT et mettre à jour le contenu de sa MdT quand c'est nécessaire (Diamond & Lee, 2011). Ensuite, l'évolution de cette FE est longue et la capacité à retenir de nombreux éléments ou à faire des manipulations mentales complexes se développe plus lentement (Crone et al., 2006 ; Pascual-Leone, 2000). Le développement de la MdT se poursuit ainsi linéairement de la période préscolaire jusqu'à l'adolescence (Best & Miller, 2010) et jusqu'à l'âge adulte (Luna et al., 2010). Il est à noter que la MdT est étroitement liée au développement du CI qui permet de gérer les interférences pendant la phase de maintien des informations en mémoire (Redick & Engle, 2006).

3. La flexibilité mentale

La flexibilité mentale est définie comme la capacité à s'adapter aux changements dans notre environnement. Elle permet de changer de perspective, de changer de point de vue ou encore de réfléchir à un problème en envisageant de nouvelles stratégies, d'autres manières de raisonner. Elle est mobilisée à chaque fois que notre cerveau doit s'adapter à un changement. Cette FE nous permet ainsi de nous adapter aux nouvelles demandes ou priorités, d'admettre que l'on ait pu faire une erreur et profiter d'opportunités inattendues (Diamond, 2013). La flexibilité mentale engage le CI pour inhiber le point de vue ou la stratégie et la MdT pour pouvoir traiter et manipuler plusieurs points de vue ou stratégies simultanément (Davidson et al., 2006 ; Diamond, 2013 ; Houdé, 2000, 2019). Par exemple, faire le choix de modifier ses habitudes de consommation par souci de préservation de la planète implique de s'adapter à une nouvelle priorité, de résister aux habitudes et de pouvoir manipuler de nouvelles stratégies de consommation.

Deux types de processus qui caractérisent la flexibilité mentale peuvent être mesurés : le *set-shifting* et le *task-switching* (Dajani & Uddin, 2015). Le processus de *set-shifting* nécessite de déplacer son attention entre différentes caractéristiques d'un même stimulus en fonction du changement des instructions. L'une des plus célèbres tâches pour le mesurer est le test *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST, Grant & Berg, 1948). Le participant dispose de cartes illustrant des formes géométriques de couleur et qui peuvent être classées de trois façons différentes : couleur, forme ou nombre. Le participant est invité à les classer puis à changer de règles de tri selon le feed-back de l'expérimentateur. Une fois que le participant a découvert le critère de tri, l'expérimentateur change ce critère. Le participant doit donc se montrer flexible en s'adaptant le plus rapidement possible à ce changement. La flexibilité cognitive peut également être évaluée grâce au paradigme de type *task-switching* qui mesure la capacité de passer d'une tâche à une autre, d'une stratégie à une autre en fonction d'un indice indiquant ce changement. Le principe de ce paradigme repose sur l'alternance entre deux règles tous les x essais (*e.g.* alternance entre deux règles tous les 2 essais) (Rogers & Monsell, 1995). Le participant doit répondre selon deux règles (*e.g.* déterminer la forme ou déterminer la couleur) et la présence d'un indice visuel indique au participant quelle règle doit être appliquée (*e.g.* « si la forme est placée au-dessus de la barre il faut appliquer la règle 1, sinon c'est la règle 2 »). Le coût de l'alternance est ensuite estimé en comparant la performance aux essais où le participant alterne entre les deux règles (*i.e.* essais *switchs*) et aux essais non-*switchs*. Les tâches de type *task-switching* sont les tâches qui recrutent les formes les plus complexes de la flexibilité cognitive (Dajani & Uddin, 2015).

Par nature, les tâches évaluant la flexibilité mentale s'appuient sur les autres FE (*i.e.* le CI et la MdT). Avant que les enfants soient capables d'alterner, ils doivent donc être capables de manipuler plusieurs informations et de les inhiber à un moment donné. La progression

développementale de la flexibilité est donc souvent décrite comme plus longue que les deux autres FE (Davidson et al., 2006). Au cours d'une tâche classique de changement de réponse de type A-non-B, l'enfant doit retrouver un objet caché sous B après avoir été caché à plusieurs reprises sous A. La performance à cette tâche augmente à partir de la première année de vie et se poursuit tout au long de la période pré-scolaire (Thelen et al., 2001). La plupart des enfants de 3 ans sont capables de trier les cartes selon la première règle (*e.g.* la couleur) à la tâche DCCST (*Dimension Change Card Sort Test*, Frye et al., 1995 ; version adaptée du WSCT pour les plus jeunes enfants) mais ce n'est qu'à partir de 4 ans que les enfants sont capables de changer de règle (*e.g.* la forme) (Carlson, 2005 ; Garon, Bryson, & Smith, 2008). La flexibilité cognitive progresse ensuite rapidement au cours de l'enfance (Buttelman & Karbach, 2017) et continue à se développer linéairement jusqu'au début de l'âge adulte (Cepeda et al., 2001). Toutefois, s'adapter au changement demeure un processus relativement coûteux cognitivement, ce qui se traduit par des erreurs et des lenteurs selon la complexité de la tâche, même à l'âge adulte.

III. Les fonctions exécutives froides et chaudes

L'intérêt pour le développement des FE froides et chaudes est croissant depuis le début du XXI^e siècle. L'adolescence est une période du développement transitoire entre l'enfance et l'âge adulte marquée par d'importantes modifications physiques, sociales, cognitives et émotionnelles. Comme nous venons de le voir, le développement des FE à l'adolescence est synonyme d'amélioration. Cette période est aussi marquée par des vulnérabilités avec notamment une sensibilité accrue à la prise de risque ou à l'influence des pairs (Albert & Steinberg, 2011). Des chercheurs ont postulé que le fonctionnement des FE à l'adolescence pourrait être modulé par un contexte émotionnel et/ou social. Par exemple, Huizenga et al. (2007) ont utilisé une version modifiée de la *Iowa Gambling task* (IGT) pour étudier la capacité à différer la gratification. Cette capacité est considérée comme une FE chaude (Zelazo & Carlson, 2012) dans le sens où elle engage des aspects motivationnels et émotionnels en plus du contrôle de soi. Dans cette tâche, des stimuli chargés émotionnellement (tels que des gains et des pertes) sont manipulés, et les participants doivent inhiber les options attrayantes mais désavantageuses à long terme pour choisir des options peu attrayantes mais avantageuses à long terme. La réussite à cette tâche repose donc sur les capacités d'auto-régulation et la capacité à inhiber la tentation d'une gratification immédiate. Les enfants et les adolescents ont tendance à faire des choix générant une récompense immédiate. Ce n'est qu'à partir de l'âge adulte que les participants parviennent plus aisément à faire le choix le plus avantageux sur le long terme. Ces résultats indiquent que la capacité à s'auto-réguler dans ce contexte émotionnellement chargé semble évoluer progressivement au cours du développement de l'adolescent.

Certains modèles théoriques vont jusqu'à proposer des trajectoires développementales différentes entre les FE froides et chaudes. Les FE froides représentent l'ensemble des processus exécutifs qui fonctionnent dans un contexte dénué d'émotion *a priori* (*i.e.* le CI, la MdT et la flexibilité mentale) tandis que les FE chaudes sont les processus exécutifs qui fonctionnent dans un contexte chargé émotionnellement. Selon le modèle de Zelazo, les FE froides et chaudes se développent de façon linéaire, avec une augmentation des performances avec l'âge. Toutefois, le développement des FE chaudes serait retardé par rapport au développement des FE froides (Carlson, 2005 ; Prencipe et al., 2011 ; Zelazo & Carlson, 2012). Plusieurs résultats vont dans le sens de ce modèle. Les performances à une tâche de CI froid (*i.e.* tâche de Stroop classique) s'améliorent rapidement de 8 à 10 ans et se stabilisent entre 12 et 15 ans, alors que jusqu'à 15 ans au moins, les adolescents ne parviennent toujours pas à opérer le choix le plus avantageux à la tâche IGT (Prencipe et al., 2011). Toutefois, ce type de protocole expérimental comporte des limites. Il est en effet difficile de conclure à des spécificités de développement du CI froid et chaud avec des tâches qui ne mesurent pas exactement les mêmes processus exécutifs (Welsh & Peterson, 2014). En effet, la tâche de Stroop mesure essentiellement le contrôle de l'interférence froid et l'IGT implique aussi bien des capacités en CI chaud que les capacités à prendre en compte le feedback et à réajuster sa réponse comportementale. Les paradigmes qui évaluent le CI froid et chaud en proposant une version froide et chaude d'une même tâche (*e.g.* Aïte et al., 2018 ; Somerville et al., 2011 ; Salvia et al., 2021) permettent de mieux saisir le développement spécifique d'un type de CI dans un contexte neutre affectivement (*i.e.* froid) et dans un contexte chargé affectivement (*i.e.* chaud). Par exemple, pour mesurer le développement de la réponse inhibitrice motrice en fonction du contexte émotionnel, Salvia et al. (2021), ont proposé une tâche de type Stop Signal dans laquelle les participants devaient identifier la

direction d'une flèche (*i.e.* qui pointe à gauche ou à droite), dont la version froide était composée de signaux stop auditifs neutres (*i.e.* vocalisations neutres) et de signaux stop auditifs émotionnels pour la version chaude (*i.e.* vocalisations exprimant la peur et la colère). Les résultats montrent une progression linéaire avec l'âge, de sorte que les adultes retiennent plus efficacement leur réponse motrice que les adolescents, qui eux-mêmes réussissent mieux que les enfants. Ce développement est toutefois plus long dans le contexte chaud. En effet, il est plus difficile pour les adolescents âgés de 13 à 16 ans, de contrôler leur réponse impulsive dans le contexte émotionnellement chargé par rapport au contexte neutre. Ces résultats vont dans le sens de la théorie de Zelazo (Carlson, 2005 ; Prencipe et al., 2011 ; Zelazo & Carlson, 2012) qui suppose un développement plus tardif des FE chaudes.

Selon le type de CI évalué, il existe des différences développementales du contexte chargé émotionnellement. La réponse inhibitrice motrice chaude se développe ainsi plus tardivement que la réponse inhibitrice froide (Salvia et al., 2021) alors que le contrôle de l'interférence chaud semble suivre un développement quadratique avec un contrôle de l'interférence moins performant à l'adolescence (Aïte et al., 2018 ; Casey, 2015). Le modèle de Casey postule pour un développement plus différencié du CI chaud (Casey, 2015 ; Casey & Caudle, 2013 ; Casey et al., 2008). D'après ce modèle, le CI chaud se développe de façon non-linéaire à l'adolescence, résultant d'un déséquilibre entre un réseau sous-cortical émotionnel hyperactif et un réseau préfrontal encore immature pendant cette période. Les preuves de ce modèle proviennent d'études qui ont utilisé un contexte émotionnel chargé de la tâche de Go-NoGo (Hare et al., 2008 ; Somerville et al., 2011 ; Tottenham et al., 2011) ou encore la tâche de Stroop version froide et chaude (Aïte et al., 2018). Par exemple, Aïte et al. (2018) ont révélé un effet quadratique de l'âge sur la performance dans une version chaude de la tâche de Stroop, les adolescents affichant de moins bonnes capacités de contrôle des interférences

que les enfants et les adultes (*i.e.* effet d'interférence entre les essais congruents et incongruents, plus élevé chez les adolescents comparativement aux enfants et aux adultes). Le principe de cette tâche version froide et chaude repose sur l'inhibition d'une information non-pertinente (*i.e.* inhiber la lecture du mot). Pour les essais congruents de la version froide les participants doivent identifier la couleur de l'encre qui correspond au mot écrit (*e.g.* **rouge**) et dans la version chaude les participants doivent identifier l'émotion sur le visage qui correspond au mot écrit sous la photo (*e.g.* un visage exprimant la colère avec le mot « colère » écrit en-dessous) (*cf.* Figure 5). Pour les essais incongruents de la version froide, la couleur de l'encre est différente du mot écrit (*e.g.* **bleu**) et dans la version chaude, l'émotion sur le visage est différente du mot écrit en-dessous (*e.g.* un visage exprimant la colère avec le mot « tristesse » écrit en-dessous) (*cf.* Figure 5).

	Item congruent	Item incongruent	Réponses correctes
Tâche Stroop Froid	ROUGE	BLEU	« rouge »
Tâches Stroop Chaud			« colère »

Figure 5. Exemples d'items congruents et incongruents utilisés pour les deux versions de Stroop. Dans la version froide, les participants doivent indiquer la couleur de l'encre d'un mot nommant une couleur. Dans la version chaude, ils doivent identifier l'émotion exprimée sur un visage.

Au-delà de l'influence de l'émotion au sens large sur le CI, un autre sujet d'intérêt concerne l'influence que peuvent avoir la valence et l'intensité émotionnelle des stimuli sur les capacités de CI. Le modèle de Pessoa (Pessoa, 2009) postule que l'émotion et la cognition partagent le même *pool* de ressources attentionnelles. Les émotions peuvent donc avoir un effet positif ou négatif sur le CI en fonction de la pertinence de l'information émotionnelle pour la tâche en cours. De cette manière, si l'information émotionnelle est pertinente pour la tâche en cours, l'émotion améliorera alors l'efficacité des processus de contrôle cognitif (Pessoa et al., 2012). Ainsi, les stimuli à valence faiblement dangereuse amélioreraient les capacités d'inhibition, alors que des stimuli à valence hautement dangereuse les réduiraient (Pessoa et al., 2012).

Le développement typique dans un contexte émotionnel chargé a aussi été récemment exploré pour la MdT (Cromheeke & Mueller, 2016) et la flexibilité mentale (Schweizer et al., 2019). Par exemple, une étude comparant les performances chez des adultes (18-29 ans) et des adolescents (12-14 ans) à une tâche de N-back, a montré que les adolescents avaient des compétences similaires aux adultes dans la condition où ils devaient prêter attention aux expressions émotionnelles. En revanche, dans la condition où ils devaient prêter attention au genre, les compétences des adolescents étaient plus faibles lorsque les visages exprimaient la joie que lorsque les visages étaient neutres (Cromheeke & Muller, 2016). Ces résultats suggèrent une sensibilité plus importante pour les stimuli émotionnels chez les adolescents seulement lorsque l'attention aux informations émotionnelles doit être inhibée pour identifier le genre. Le développement de la MdT ne serait ainsi pas affecté par le contexte émotionnel en tant que tel, c'est plutôt l'inhibition requise pour la MdT qui serait affectée par le contexte émotionnel chargé à l'adolescence. Les adolescents ont une moindre sensibilité aux stimuli émotionnels dans une tâche de *set-shifting*. Globalement, les adolescents les plus jeunes (11-

14 ans) ont de moins bonnes performances que les groupes les plus âgés mais ils commettent moins d'erreurs dans la condition chargée émotionnellement par rapport à la condition neutre (Schweizer et al., 2019). Le développement de la flexibilité mentale semble ainsi être peu affecté par le contexte émotionnel chargé à l'adolescence. Il pourrait donc exister des différences développementales au sein des FE chaudes, de sorte que les FE chaudes ne se développent pas selon un construit unitaire chez une population au développement typique (Schweizer et al., 2020). Le CI semble être généralement affecté par les émotions à l'adolescence alors que la MdT et la flexibilité le seraient également mais dans une moindre mesure à cette même période du développement.

IV. Conclusion

Les FE sont des mécanismes généraux qui supervisent et manipulent les autres processus cognitifs (Miyake et al., 2000). Elles sont donc essentielles pour activer et réguler l'ensemble de l'activité cognitive de notre cerveau. Les trois FE décrites précédemment (*i.e.* le CI, la MdT et la flexibilité cognitive) sont relativement dépendantes et s'influencent les unes les autres. D'ailleurs, certaines des tâches censées mesurer une FE précise, engagent en réalité souvent d'autres FE. Par exemple, la tâche de n-back engage en plus de la MdT, les capacités de CI. Il peut ainsi s'avérer difficile de dissocier strictement ces trois FE. Le développement des FE est linéaire et progressif avec l'âge, de sorte que les adultes sont plus performants que les adolescents, qui eux-mêmes sont plus performants que les enfants. Toutefois, les émotions ont une incidence importante sur le développement de ces mêmes FE. Le développement des capacités de contrôle de soi, de régulation, de manipulation de l'information ou encore de

flexibilité cognitive sont affectées par un contexte émotionnel, particulièrement à l'adolescence. L'adolescence est une période critique du développement qui est associée à une sensibilité accrue aux informations affectives, à l'influence des pairs et à la récompense immédiate, résultant de capacités de régulation amoindries.

Avec ces connaissances, on comprend mieux pourquoi le dilemme de Paul relève du challenge à son âge. Pour déterminer son choix, il doit (1) manipuler en MdT les informations à traiter et chargées émotionnellement (règles de distanciation sociale, l'émulation de la retrouvaille avec les pairs, l'habitude de se prendre dans les bras, risque de contamination), (2) résister aux informations non-pertinentes et chargées émotionnellement (*e.g.* l'émulation de la retrouvaille avec les pairs, l'habitude de se prendre dans les bras) et (3) être flexible en s'adaptant aux nouvelles stratégies dans un contexte chargé émotionnellement (*e.g.* se saluer de loin). A ce moment de son développement, Paul, âgé de 13 ans, peut être d'autant plus gêné pour faire un choix réfléchi et fiable sachant que ses processus de régulation et de résistance sont amoindris par l'influence de ses émotions et du contexte social.

Haut Potentiel Intellectuel et développement cognitif

Lina, est une adolescente de 13 ans et amie de Paul. Elle se sent en décalage intellectuel par rapport à ses camarades de même âge. Elle a récemment fait un bilan cognitif avec un psychologue qui a mesuré ses compétences intellectuelles avec le WISC-V. Le psychologue lui a dit avoir identifié qu'elle est à Haut Potentiel Intellectuel (HPI).

Dans ce chapitre, nous allons expliquer la signification de HPI en décrivant d'abord l'évolution des modèles et des conceptions de l'intelligence qui permettent d'expliquer les capacités exceptionnelles (HP), notamment intellectuelles (HPI). Nous verrons que les modèles explicatifs du HP se sont progressivement complexifiés pour expliquer l'émergence du HP. Ensuite, nous allons montrer en quoi le développement du HPI est caractérisé par des compétences cognitives particulières, comme le raisonnement et les fonctions exécutives, et nous en décrirons les spécificités.

I. Les modèles théoriques du Haut Potentiel

Les individus à Haut Potentiel (HP) peuvent être définis par le fait d'avoir des capacités qui les distinguent de la norme par leurs supériorités. Aujourd'hui, plusieurs terminologies sont encore employées pour décrire cette atypie, par exemple : *gifted* (*i.e.* doués en français, terme généralement utilisé dans la littérature scientifique), surdoué, précoce, Haut Potentiel (HP), Haut Potentiel Intellectuel (HPI) ou encore Élève à Haut Potentiel (EHP). L'idée derrière le don ou le surdon est une conception plutôt innéiste de l'intelligence dont les hautes capacités toucheraient l'ensemble des domaines de la cognition (Spearman, 1904 ; Terman, 1916), de sorte qu'une personne est surdouée ou ne l'est pas, d'après un déterminisme génétique. La précocité, quant à elle, fait référence à de hautes capacités qui s'exprimeraient plus tôt dans un domaine spécifique de la cognition. Cette conception induit l'idée que l'intelligence est un construit multiple, dont les domaines cognitifs sont plus ou moins indépendants les uns des autres (Thurstone, 1938 ; Horn & Cattell, 1966 ; Gardner, 1983). De cette manière, une personne peut être précoce dans un seul domaine spécifique (*e.g.* en mathématiques, en vitesse de traitement ou en musique). Le terme de Haut Potentiel renvoie à l'idée que les hautes capacités sont des dispositions qui peuvent être ou pas, investies par la personne. Avec cette dénomination, le HP est vu comme une capacité exceptionnelle dont la manifestation ou non de ce potentiel est dépendante d'autres facteurs, tels que l'intelligence, la créativité, des caractéristiques personnelles ou encore l'environnement (Sternberg, 1999 ; 2001 ; Renzulli, 2006). Le HPI est un cas particulier du HP, dont sa définition est liée au développement des tests mesurant l'intelligence. Le HPI correspond à des performances intellectuelles supérieures à la norme à des tests les mesurant (Renzulli, 2006). Enfin, EHP (Ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse, 2019) est un terme utilisé que

très récemment, faisant référence à la prise en compte par l'Éducation nationale, de profils HP à besoins particuliers pour lesquels la scolarité doit être adaptée afin de garantir leur inclusion dans le système éducatif.

Cette longue liste, non exhaustive de qualificatifs, est l'héritage de plus d'un siècle de définitions de l'intelligence et par extension du HP. D'abord considérée comme un facteur unique et déterminé à la naissance au début du XXème siècle (*i.e.* il existe une intelligence), la conception de l'intelligence et des hautes capacités a progressivement évoluée vers la prise en compte de processus cognitifs multiples (*i.e.* il n'existe pas une mais des intelligences). Puis, des modèles systémiques et développementaux ont redéfinis l'émergence du HP dans un système multifactoriel (*i.e.* il existe l'intelligence mais pas que). Nous allons passer brièvement en revue certains modèles à la base de ces conceptions.

1. L'intelligence comme domaine général et domaine spécifique

L'intelligence a d'abord été considérée comme une caractéristique générale. Les premières tentatives de mesure de l'intelligence ont notamment été faites par Binet et Simon (1905), respectivement psychologue et psychiatre français. Ils ont élaboré une échelle métrique permettant de caractériser l'âge mental d'un enfant. Spearman (1904), s'est de son côté appuyé sur le calcul de corrélations entre les scores d'un individu dans des épreuves intellectuelles variées pour définir un facteur commun de réussite, le facteur général d'intelligence ou le facteur g. D'après cette conception, les personnes ayant un vocabulaire riche, ont tendance à avoir une bonne mémoire à court terme et à résoudre plus facilement des problèmes. A l'inverse, Thurstone (1938) a introduit l'idée qu'il n'existait pas un facteur g mais plutôt sept facteurs indépendants qui correspondent à sept formes d'intelligence

différentes. Dans la même veine, Gardner (1996) a proposé un modèle qui distingue 8 formes d'intelligence indépendantes mais cette idée reste spéculative et n'a pas été démontrée scientifiquement (Sternberg & Grigorenko, 2002 ; Warne et al., 2018).

La communauté scientifique a finalement abouti à une conclusion mixte associant l'existence du facteur g avec d'autres facteurs multidimensionnels de l'intelligence dans une relation hiérarchique (Carroll, 1993 ; Cattell, 1963 ; Horn & Cattell, 1966). Cette organisation hiérarchique est d'ailleurs devenue consensuelle dans les techniques de mesure des capacités intellectuelles (McGrew, 2009 ; Schneider, 2013). Le modèle CHC (Cattell – Horn – Carroll) postule l'existence d'une hiérarchie qui organise l'intelligence en trois niveaux (*cf.* Figure 6). La strate 3 est la plus générale et elle contient un unique facteur, le facteur g, qui correspond à la variance partagée par toutes les épreuves d'une même batterie d'évaluation des capacités intellectuelles (Schneider, 2013). Cette strate fournit une approximation des compétences mentales d'une personne. La strate 2 contient actuellement 16 sous-facteurs (Schneider & McGrew, 2012) qui correspondent aux aptitudes cognitives générales sur lesquelles le facteur g de l'intelligence est saturé. Parmi ces aptitudes cognitives générales, les aptitudes de raisonnement fluide (mises en jeu dans des tests d'induction et de logique), de compréhension verbale (mises en jeu dans des tâches verbales qui s'appuie sur la richesse du réseau conceptuel et l'organisation des mémoires à long terme), de mémoire à court-terme (mises en jeu dans des tests de mémoire auditive et visuelle sur le court terme) et de vitesse de traitement (mises en jeu dans des tests de précision visuo-motrice) sont les plus communément évaluées par les tests classiques de l'intelligence. Enfin, chaque aptitude générale est saturée par des aptitudes spécifiques et constituent la strate 1 du modèle. Chaque aptitude spécifique est évaluée dans les tests d'intelligence classique au moyen d'une tâche à partir de laquelle la spécificité a été inférée (*e.g.* subtest similitudes qui évalue la

richesse du réseau conceptuel en identifiant la similitude entre deux mots ; subtest matrices qui évalue la capacité à construire des suites logiques à partir d'un matériel abstrait).

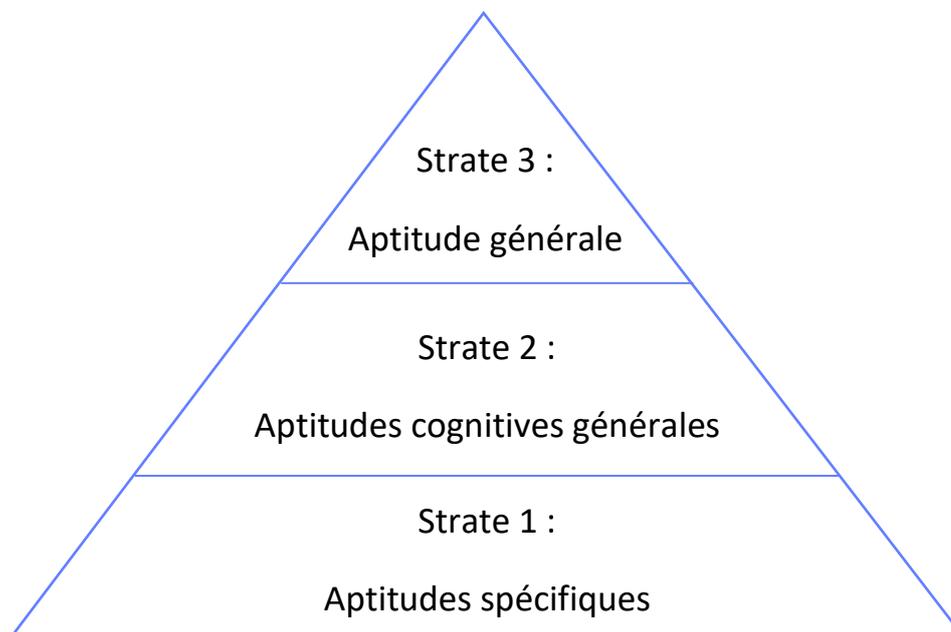


Figure 6. Le modèle CHC composé d'aptitudes spécifiques à la base qui se regroupent en aptitudes cognitives plus générales à la seconde strate. Un facteur g est dégagé des corrélations entre les aptitudes cognitives plus générales (Strate 1) (adapté de Carroll, 1993)

Le modèle CHC a été utilisé comme théorie de référence dans la construction de plusieurs tests d'intelligence, notamment pour la 5^{ème} édition de l'échelle de Wechsler (WISC-V). Les échelles de Wechsler sont des tests étalonnés (*i.e.* qui fournissent des scores obtenus en comparaison avec les personnes du même âge) qui se déclinent en trois adaptations selon les âges. La WPPSI (*Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence* en anglais) pour les enfants de moins de 7 ans, le WISC (*Wechsler Intelligence Scale for Children* en anglais) entre 7 et 16 ans et la version adulte pour les plus de 16 ans appelée WAIS (*Wechsler Adult Intelligence Scale* en anglais). Elles sont utilisées classiquement par les psychologues dans le cadre d'un bilan psychologique pour identifier le Haut Potentiel Intellectuel (HPI). Le WISC-V (Wechsler, 2016) est d'ailleurs l'échelle la plus utilisée en Europe (Evers et al., 2012).

Les échelles de Wechsler mesurent la manifestation des potentialités intellectuelles d'un individu en identifiant un score reflétant son aptitude générale, le QIT (*i.e.* le Quotient Intellectuel Total qui est une approximation du facteur *g*) et des scores d'indices reflétant le QI dans chacune des aptitudes cognitives générales évaluées. Par exemple, le WISC-V (Wechsler, 2016) est composé de 5 indices : Indice de Compréhension Verbale, Indice de Raisonnement Fluide, Indice Visuospatial, Indice de Mémoire de Travail et Indice de Vitesse de Traitement. La répartition de la population générale se fait autour de la courbe de Gauss selon la loi normale avec pour moyenne 100 et un écart-type de 15. Ainsi, obtenir un QI de 100 signifie que l'on a une performance identique à la moyenne des performances d'autres personnes du même âge. Plus le score de QI s'éloigne de 100, plus il est statistiquement rare, en termes de fréquence d'apparition. Ainsi, un score supérieur ou égal à 130, seuil placé à deux écarts-types de la moyenne, représente environ 2,2% de la population. C'est sur cet indice de rareté que se définit de manière opérationnelle un potentiel intellectuel considéré comme haut. Ainsi, un QIT supérieur à 130 est souvent utilisé comme critère pour identifier les personnes HPI, que ce soit en clinique ou dans la recherche. Ce critère est notamment recommandé par l'OMS (Delaubier, 2002). Toutefois, ce seuil d'identification est arbitraire, sans justification biologique ou cérébrale (Labouret, 2021) et varie selon les auteurs ou les pays. En France, par exemple, on privilégie le plus souvent le seuil de 130 alors qu'en Belgique les chercheurs se sont mis d'accord pour le situer à 125 (environ 4,8% de la population, soit une personne sur 21) (Brasseur & Cuche, 2017). Nous avons choisi pour la partie expérimentale de cette thèse (*cf.* Partie expérimentale) le critère d'un QIT supérieur ou égal 125, ce qui représente environ 3 300 000 de personnes concernées par le HPI en France. Ainsi, ce seuil choisi permet de généraliser nos résultats à une partie de la population suffisamment

rare, selon la distribution normale du QI, pour qu'elle soit considérée comme en décalage intellectuel par rapport à la norme.

Lina, adolescente présentée en résumé de ce chapitre, a donc été identifiée HPI parce qu'elle a obtenu un score de QIT supérieur à 130 à l'échelle WISC-V. Pour lui expliquer la signification de ce score, le psychologue lui a dit que son intelligence était très supérieure par rapport à la moyenne des personnes de son âge. Toutefois, le calcul du QI ne permet pas une mesure pure de la potentialité intellectuelle, il permet plutôt d'observer la manifestation du potentiel intellectuel à un moment donné.

2. Les modèles systémiques

Les modèles systémiques ont révisé la conception du HP en le considérant comme le résultat d'une combinaison de dispositions qui interagissent en système. Ainsi, le HPI correspondrait à l'une des facettes possibles du HP. Pour Renzulli (1978, 2006), la seule mesure du QI comme critère déterminant le HP est quelque peu restrictive. Les élèves ayant les QI les plus élevés, ont certes, plus de chances de réussir l'école, mais cette seule mesure n'est pas suffisante pour expliquer toute la complexité de la réussite scolaire (Guez et al., 2018). D'après le modèle des 3 anneaux (cf. Figure 7 ; Renzulli, 2006 ; 2011), une personne est HP si elle est en capacité de développer un comportement talentueux et ces comportements naissent de l'interaction et de la conjonction de trois composantes :

- Les hautes capacités intellectuelles, pouvant être identifiées au moyen des tests d'intelligence standardisés (QI élevé) ;
- La créativité, qui correspond à une grande flexibilité, fluidité et originalité ;

- L'engagement dans la tâche, correspondant à la forte motivation dirigée vers un domaine de connaissance particulier.

Renzulli (2006) distingue deux types de HP pouvant interagir l'un avec l'autre, le HP scolaire et le HP créatif-productif. Le HP scolaire, correspond à ce que mettent en évidence les tests de QI et à l'émergence d'un comportement talentueux au niveau académique. Le HP scolaire se traduit généralement par une réussite scolaire grâce à des capacités d'apprentissage supérieures à la norme. Le HP créatif-productif est également lié à une intelligence supérieure à la norme ainsi qu'à la capacité à réaliser des productions originales et créatives.

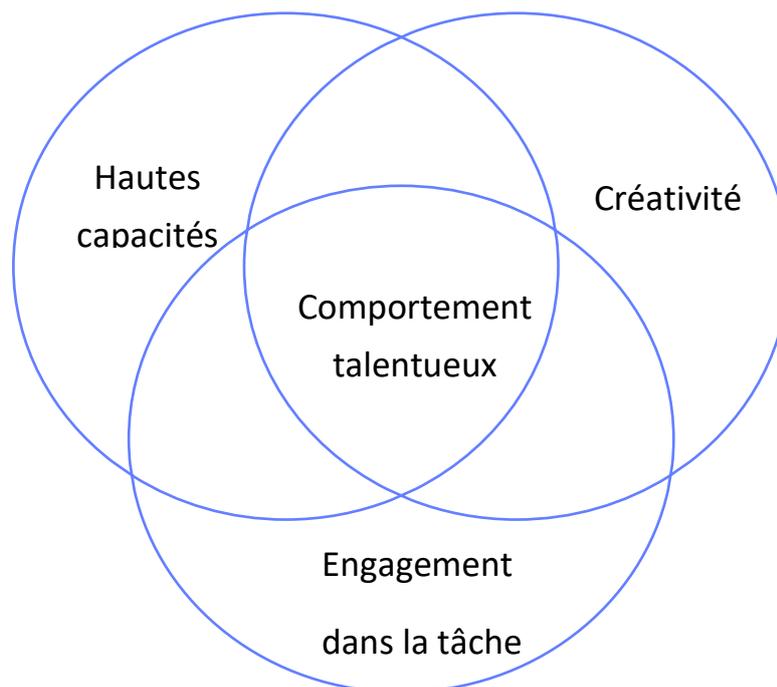


Figure 7. Le modèle des trois anneaux selon lequel le comportement talentueux naît de l'interaction de 3 composantes essentielles qui sont les hautes capacités, la créativité et l'engagement dans la tâche (adapté de Renzulli, 2011)

Pour Sternberg (1999), le QI seul ne permet pas non plus de rendre compte de l'étendue du potentiel d'un individu. Il propose un modèle triarchique de l'intelligence qui

comporte 3 formes (*i.e.*, intelligence analytique, intelligence créative et intelligence pratique). L'intelligence analytique correspond à la capacité d'analyser, d'évaluer et de comparer des informations dans le but de résoudre des problèmes. Elle est notamment dépendante des composants internes d'un individu, tels que ses processus exécutifs pour reconnaître et définir la nature du problème à résoudre. L'intelligence analytique est principalement évaluée par les tests d'intelligence. Les capacités analytiques sont ainsi fortement liées au facteur g (Sternberg, 2003). L'intelligence créative correspond à la capacité de créer, de générer des idées originales et adaptées aux problèmes relativement nouveaux. Elle est notamment dépendante du niveau d'expérience d'un individu, lui permettant de manifester un comportement intelligent, lors d'une activité relativement nouvelle. Les capacités créatives sont généralement mesurées par des tests spécifiques à la créativité, tel que le test d'Evaluation du Potentiel Créatif (EPoC ; Lubart et al., 2011). Enfin, l'intelligence pratique, correspond à la capacité d'utiliser et d'appliquer des connaissances acquises, dans des situations concrètes, pour résoudre des problèmes dans la vie quotidienne. Cette intelligence est alors dépendante de la capacité d'adaptation au contexte et à l'environnement.

D'après le modèle triarchique de l'intelligence, le HP serait la manifestation de performances exceptionnelles dans au moins un de ces 3 aspects de l'intelligence. Il existerait ainsi 4 types de HP selon ce modèle (Sternberg & Grigorenko, 2002). Le HP analytique, qui correspond au HPI (*i.e.* QI supérieur à la norme), est caractérisé par des capacités analytiques et déductives très performantes. Le HP créatif est caractérisé par de hautes capacités dans la génération d'idées nouvelles, originales et adaptées aux situations rencontrées. Le HP pratique est caractérisé par de hautes capacités pour faire face aux situations pragmatiques de la vie quotidienne. Enfin, le HP le plus élevé est caractérisé par des performances hors normes dans les 3 aspects de l'intelligence (*i.e.* analytique, créatif et pratique).

3. Les modèles développementaux

La dernière vague de modèles théoriques apporte l'aspect développemental en y intégrant des caractéristiques individuelles et environnementales. D'après ces modèles, le HP est défini par des capacités *a priori* et par la transformation de ces capacités en performances au cours du développement. En ce sens, le modèle différenciateur de la douance et du talent (MDDT, Gagné, 2004 ; 2005) insiste sur la différence entre le HP et le talent. Le HP correspond à la manifestation d'habiletés mentales ou physiques, naturellement développées tandis que le talent est le résultat du processus développemental, transformant les habiletés naturelles, en compétences élevées, sous l'influence de facteurs intra-personnels (*i.e.* caractéristiques personnelles liées aux traits physiques et mentaux), environnementaux (*i.e.* le milieu socio-économique, relations sociales et éducation) ainsi que du hasard.

Le modèle de Munich (*cf.* Figure 8 ; Heller et al., 2005) est assez similaire au modèle MDDT. Il s'agit d'un modèle multidimensionnel conceptualisé à partir d'une étude longitudinale sur le HP. D'après ce modèle, le développement du HP est multifactoriel :

- Les variables cognitives, perceptives, motrices et de connaissances de base constituent des prédispositions individuelles qui vont être des prérequis au développement futur de performances exceptionnelles.
- Les performances sont la transformation de ces prédispositions en hautes compétences dans des domaines variés (mathématiques, langues, sciences sociales, leadership, performances physiques, etc.)
- Le processus actif d'apprentissage représenté sous la forme d'un triangle (*cf.* Figure 8) constitue le passage au cours duquel l'individu va développer des connaissances sur la durée et atteindre un certain niveau d'expertise dans un ou plusieurs domaines.

- Les modérateurs sont constitués des caractéristiques de personnalité (*i.e.* capacité à gérer le stress, la motivation, l'engagement dans la tâche, désir de réussite, etc.) et environnementales (*i.e.* les conditions de vie de l'individu ; climat familial, éducation scolaire, ressources disponibles, évènements de vie). Les dispositions individuelles ont une incidence sur ces modérateurs, tout comme ces derniers influencent négativement ou positivement les dispositions individuelles. De même, les modérateurs personnels et environnementaux s'influencent entre eux. Ces influences réciproques vont impacter, à terme, le processus de développement des performances exceptionnelles.

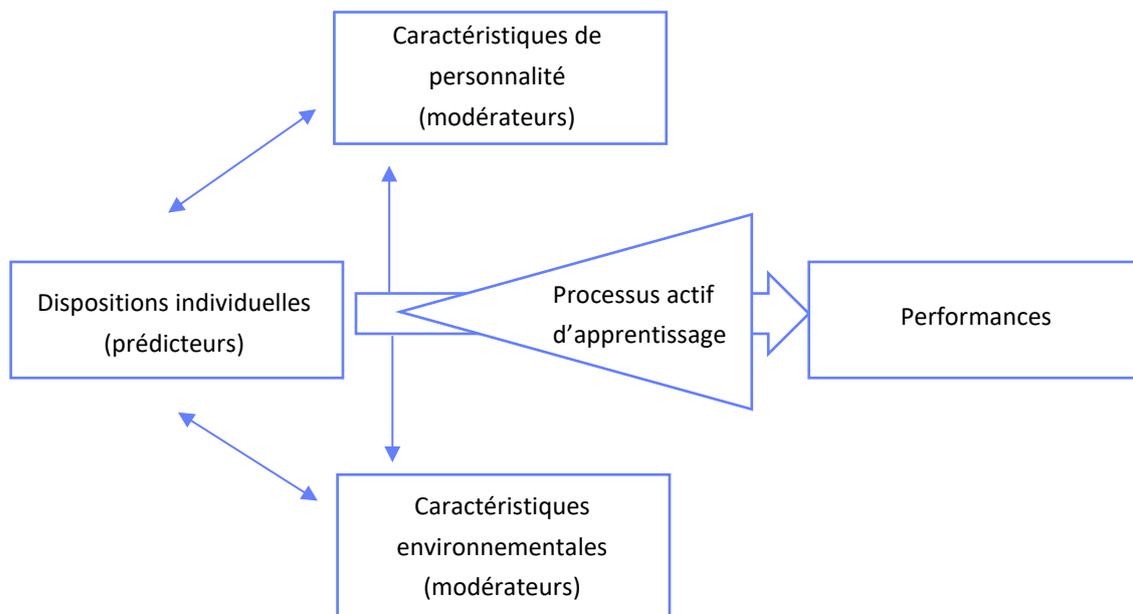


Figure 8. Le modèle Munich selon lequel les performances exceptionnelles apparaissent à partir de dispositions individuelles, après un processus développemental d'acquisition de connaissances, à terme d'expertise, sous l'influence de modérateurs personnels et environnementaux (adapté de Heller et al., 2005)

Nous venons de voir qu'il n'existe pas une conception unique du HP mais de nombreux modèles. Toutefois, toutes les définitions et tous les modèles placent l'intelligence au cœur du HP et même les détracteurs du QI en reconnaissent au moins sa valeur essentielle. Ainsi, si le HPI ne permet pas de rendre compte de toute la complexité du HP, il en est au moins une manifestation.

II. Le développement cognitif

1. Les caractéristiques cognitives

Le HPI est défini par des compétences intellectuelles supérieures à la norme à des tests les mesurant. Par définition, les caractéristiques cognitives des HPI sont celles mesurées par les tests de QI. Les HPI présentent ainsi généralement des performances en moyenne plus élevées en compréhension verbale, en raisonnement perceptif, en mémoire de travail ou encore en vitesse de traitement (Gauvrit & Clobert 2021). En plus de cela, les HPI présentent d'autres particularités cognitives qui ne sont pas directement évaluées par les échelles de QI.

Les enfants HPI ont une trajectoire développementale spécifique, avec des caractéristiques cognitives particulières (Steiner & Carr, 2003 ; Vaivre-Douret, 2011). Parmi toutes ces particularités, on retrouve par exemple un développement langagier plus riche et plus précoce. Avant l'âge de 2 ans, les enfants HPI ont un vocabulaire précis avec une expression orale aisée, une utilisation correcte de la syntaxe et des temps verbaux (Vaivre-

Douret, 2004 ; 2011). On repère également un potentiel mnésique plus grand chez les HPI. Par exemple, ces enfants développent précocement une base de connaissances plus vaste que leurs pairs (Steiner & Carr, 2003 ; Vaivre-Douret, 2004 ; 2011). Durant l'enfance et l'adolescence, ils disposent de capacités de mémorisation plus importantes que leurs pairs au développement typique (Coyle et al., 1998 ; Gaultney et al., 1996 ; Vaivre-Douret, 2004 ; 2011). Ils traitent généralement plus rapidement les informations (Duan et al., 2013 ; Johnson et al., 2003 ; Paz-Baruch et al., 2014), ce qui participe à optimiser leurs capacités d'apprentissage (Calero et al., 2011). Une autre caractéristique identifiée est la résolution de problèmes et la prise de décision. Très tôt, ils se montrent plus stratégiques, ils sont plus aptes à choisir et à utiliser de bonnes stratégies lorsqu'ils font face à des situations problématiques (Steiner & Carr, 2003). Ainsi, les enfants HPI ont généralement plus de facilité pour résoudre avec succès des problèmes qui se présentent à eux.

En résumé, les personnes HPI comme Lina, n'ont pas seulement un QI plus élevé dès l'enfance, elles peuvent présenter notamment un développement langagier plus riche et précoce, de hautes capacités en mémoire, une vitesse de traitement plus rapide et de meilleures capacités de résolution de problèmes.

2. Le raisonnement et les intuitions logiques

Les HPI seraient également de meilleurs raisonneurs. Des auteurs ont par exemple utilisé des syllogismes pour tester les performances de raisonnement déductif chez des enfants et adolescents, HPI et non HPI (Kokis et al., 2002). Voici un exemple de syllogisme pour lequel les participants doivent déterminer si la conclusion présentée suit logiquement les deux prémisses (qui doivent toujours être considérées comme vraies) :

Prémisse 1 : Tous les mammifères marchent ...

Prémisse 2 : Les baleines sont des mammifères ...

Conclusion : Les baleines marchent ...

Dans ce type de problème, la conclusion logique (*i.e.* les baleines marchent) entre en conflit avec la crédibilité du contenu puisque dans la réalité les baleines ne marchent pas. Typiquement, les enfants et les adolescents HPI ont un meilleur raisonnement déductif que les non HPI à ce genre de problème (Kokis et al., 2002). Les auteurs ont montré que les enfants et les adolescents HPI ont aussi un meilleur raisonnement inductif et probabiliste (Kokis et al., 2002). Des preuves d'un meilleur raisonnement chez l'adulte HPI existent également. Par exemple, si on présente un paquet de 10 cartes comprenant 7 cartes avec le chiffre « 1 » et 3 cartes avec le chiffre « 2 » et qu'on demande de deviner 10 fois de suite le chiffre inscrit sur la carte du dessus pour gagner 100 dollars à chaque fois, les adultes HPI adoptent généralement la meilleure stratégie, à savoir parier systématiquement sur le « 1 ». Les personnes ayant un QI moins haut, ont tendance à parier sept fois sur le 1 et trois fois sur le « 2 » (Stanovich & West, 2008). Cela n'est pas une mauvaise stratégie en soi mais pas la meilleure non plus, pour optimiser les gains.

Une explication de ces meilleures performances chez les HPI pourraient provenir de leur plus grande capacité pour corriger des intuitions erronées (Evans, 2011). D'après le modèle à double processus, les raisonneurs ont tendance à utiliser majoritairement le système intuitif, rapide et peu coûteux en ressources cognitives, au détriment du système délibéré, long et coûteux, par souci d'économie (Evans & Stanovich, 2013 ; Kahneman, 2011). Les raisonneurs qui parviennent à résoudre les problèmes correctement corrigeront leur réponse intuitive erronée après avoir pris le temps de délibérer (Evans & Stanovich, 2013 ;

Kahneman, 2011 ; Kahneman & Frederick, 2005 ; Morewedge & Kahneman, 2010). Compte tenu de cet effort mental pour corriger des biais de raisonnement, on observe généralement de faibles performances aux tâches de raisonnement. Ceux qui parviennent à résoudre correctement ces problèmes sont ceux dont la capacité cognitive est la plus élevée car ils seraient plus à même de corriger leur réponse intuitive (De Neys, 2006 ; De Neys & Verschueren, 2006 ; Evans & Stanovich, 2013 ; Kahneman, 2011 ; Kokis et al., 2002 ; Stanovich, 2011 ; Stanovich & West, 2000, 2008 ; Toplak et al., 2011). Toutefois, d'après des études récentes, les réponses correctes peuvent parfois être intuitives et ne doivent pas nécessairement être corrigées (Bago & De Neys, 2017, 2019), ce qui suggère que la délibération n'est pas toujours nécessaire pour raisonner correctement. Cette avancée dans la conception du raisonnement humain remet en question le modèle du double processus qui suppose que le raisonnement repose sur la délibération, et ce, d'autant plus, chez ceux qui possèdent des capacités cognitives et intellectuelles supérieures. D'autres études suggèrent que les personnes disposant de capacités cognitives plus élevées auraient simplement des intuitions plus efficaces (Raelison et al., 2021 ; Reyna, 2012 ; Reyna & Brainerd, 2011 ; Thompson et al., 2018). Pour tester cela, Raelison et al. (2020) ont mesuré d'une part les capacités cognitives à travers les matrices progressives de Raven de leur participants et d'autre part leurs performances de raisonnement en utilisant le paradigme à deux réponses qui permet de distinguer si la réponse fournie par les participants est de nature intuitive ou délibérée (*two-response paradigm* ; Bago & De Neys, 2017 ; Thompson et al., 2011). Dans le paradigme à deux réponses les participants doivent fournir deux réponses consécutives à un même problème. La première réponse, la réponse intuitive, doit être donnée sous contrainte temporelle et sous charge cognitive afin de limiter la délibération. Ensuite, les participants répondent une seconde fois, sans contrainte temporelle et sans charge cognitive, et peuvent

ainsi donner une réponse délibérée qui corrige ou non leur première réponse intuitive. Les résultats indiquent que, bien que les capacités intellectuelles soient associées au raisonnement délibéré, elles étaient plus prédictives de la réponse intuitive correcte. Cela valide l'idée que les personnes avec les plus hautes capacités intellectuelles seraient meilleures grâce à des intuitions correctes (Raoelison et al., 2020). Des études ont montré chez les typiques, que les performances intuitives se développent avec l'âge (Raoelison et al., 2021) et à notre connaissance aucune étude ne porte sur le développement des intuitions logiques des HPI. Il est probable que ce développement soit précoce compte-tenu de la spécificité de leur développement cognitif, marqué généralement par une précocité par rapport à la norme (Steiner & Carr, 2003 ; Vaivre-Douret, 2011).

En résumé, les personnes HPI comme Lina ont un raisonnement délibéré plus performant et une capacité à répondre intuitivement de façon logique. Nous allons voir que les processus exécutifs qui supervisent l'ensemble de ces domaines cognitifs se développent également précocement chez les enfants et les adolescents HPI (Arffa, 2007).

3. Les fonctions exécutives froides

Les preuves d'une meilleure efficacité des fonctions exécutives (FE) chez les HPI par rapport à leurs pairs au développement typique sont plurielles. Par exemple, des enfants et des adolescents HPI âgés de 6 à 15 ans sont plus performants à diverses tâches mesurant les FE (*i.e.* contrôle inhibiteur (CI), mémoire de travail (MdT) et flexibilité mentale) par rapport à leurs pairs avec un QI dans la moyenne (Arffa, 2007). Cette performance supérieure pourrait être liée à un fonctionnement cérébral particulier des HPI, notamment au niveau des aires préfrontales qui sont le siège des FE (Diamond, 2013). Plusieurs études qui comparent des

adultes HPI avec un groupe avec un QI dans la moyenne montrent une activation plus élevée des zones corticales préfrontales et du cortex pariétal inférieur chez les HPI Geake (2009). Au niveau neuroanatomique, le développement du cortex préfrontal des enfants et des adolescents HPI semble être différent de celui de leurs pairs au développement typique. Par exemple, l'épaisseur du cortex est plus mince chez les enfants HPI mais à partir de l'adolescence, les HPI ont un cortex cérébral plus épais que leurs pairs au développement typique, notamment dans les zones préfrontales (Geake, 2009). Ces spécificités cérébrales pourraient expliquer le fait que le système des FE constitue une caractéristique importante du HPI (Geake, 2009).

Le contrôle de l'interférence (*cf.* Chapitre 1) est un type de contrôle inhibiteur (CI) particulièrement efficace chez les HPI. Dès l'enfance, les HPI (*i.e.* âgés de 8 ans et 10 ans) sont plus rapides que leurs pairs non HPI lors d'une tâche d'inhibition automatique qui requiert peu d'effort mental (*i.e.* déplacer un joystick dans la direction d'un X correspondant à la couleur indiquée et ignorer un deuxième X d'une couleur différente) et ils sont plus rapides et résistent mieux à l'interférence à une tâche de Stroop couleur qui requière un effort mental plus important (*cf.* Chapitre 1) (Johnson et al., 2003). A l'adolescence, les HPI âgés de 12 ans sont plus rapides et ont de meilleures performances aux essais incongruents à une tâche de Flanker mesurant le contrôle de l'interférence (*cf.* Chapitre 1) par rapport à leurs pairs au développement typique (Liu et al., 2011). A 13 ans, ils sont également plus rapides que leurs pairs non HPI à une tâche de Flanker quand les essais incongruents sont précédés d'un essai congruent ou incongruent, quand les essais congruents sont précédés d'un essai incongruent et ils sont plus performants aux items incongruents que leurs pairs au développement typique (Liu et al., 2016). Ces résultats suggèrent une meilleure résistance à l'interférence chez les HPI (Liu et al., 2011 ; Liu et al., 2016). Une autre étude suggère que les HPI âgés de 11 ans en

moyenne, ont un contrôle exécutif plus efficace dans la tâche ANT dans laquelle le participant doit indiquer la direction d'un poisson cible (*i.e.* à gauche ou à droite) selon des conditions congruentes (*i.e.* les autres poissons pointent dans la même direction) et incongruentes (*i.e.* les autres poissons pointent dans la direction opposée) (*Attention Network Test* ; Rueda et al., 2004) sans pour autant se différencier de leurs pairs au développement typique en termes d'orientation de l'attention et au niveau de l'alerte à cette même tâche (Aubry et al., 2021). On retrouve des performances supérieures lorsqu'ils doivent inhiber leur réponse motrice (*cf.* Chapitre 1). Par exemple, à 11 ans, les HPI commettent moins d'erreurs à une tâche de Go/No-Go (*cf.* Chapitre 1) que leurs pairs du même âge (Duan et al., 2009). Les mesures en électrophysiologie rapportent en plus une latence P3 (*i.e.* latence liée à l'évaluation de la réponse) pour les items No-Go plus courte chez les HPI, ce qui suggère une inhibition de la réponse plus rapide chez les HPI âgés de 11 ans (Duan et al., 2009). De plus, les enfants HPI de 6 à 11 ans sont plus performants à la tâche SRTC (*Self-regulation and concentration test* ; Kuhl & Kraska, 1992 ; 1993) évaluant leur capacité à résister à la tentation, à ignorer les distractions et à une maintenir leur action (*i.e.* en présence d'une vidéo dans un coin de l'écran associée à une récompense variable) (Calero et al., 2007). Ainsi, le CI semble être une particularité du fonctionnement cognitif et exécutif des HPI dès l'enfance.

La MdT (*cf.* Chapitre 1) est également une FE fortement liée à l'intelligence chez les adultes (Ackerman et al., 2005) et chez les enfants (Giofré et al., 2013). D'après des études en SEM (*i.e.* modélisation par équation structurelle) qui analysent l'organisation structurelle des FE, toutes les FE sont corrélées à l'intelligence à 11-12 ans (Duan et al., 2010) et à 16-18 ans (Friedman et al., 2006). Toutefois, la MdT est la seule FE fortement corrélée à l'intelligence lorsque l'on contrôle les corrélations inter-FE dans les SEM à ces deux âges (Duan et al., 2010 ; Friedman et al., 2006). Cela suggère que la MdT est la FE qui occupe la place la plus centrale

dans le développement de l'intelligence. Dans ce contexte, les hautes capacités intellectuelles sont liées à de meilleures performances en MdT. Dès l'enfance, les HPI se distinguent de leurs pairs au développement typique par une plus grande capacité en MdT verbale et visuelle mesurée par différentes tâches (Aubry et al., 2021 ; Calero et al., 2007 ; Hoard et al., 2008 ; Johnson et al., 2003 ; Rodriguez-Naveiras et al., 2019 ; Viana-Saenz et al., 2020). Autrement dit, la MdT semble être une caractéristique importante du développement du HPI.

La flexibilité mentale (*cf.* Chapitre 1) est également une caractéristique du fonctionnement cognitif souvent attribuée aux HPI (Arffa, 2007). Cette caractéristique a notamment été identifiée en évaluant les compétences des HPI lorsqu'ils résolvent des problèmes (Jausovec, 1991 ; Steiner & Carr, 2003 ; Shore, 2000). Ils sont plus flexibles dans l'utilisation des stratégies, leur permettant d'être plus compétents pour résoudre des problèmes de logique. Au-delà de la résolution de problèmes, Spreen & Strauss (1998) ont montré que la performance au test TMT (*Trail Making Test*, Reitan, 1992) est significativement corrélée au QI chez les adultes. Le test TMT consiste à relier dans l'ordre croissant des chiffres répartis aléatoirement sur une planche (planche A). Dans une deuxième planche, il faut alterner entre relier des chiffres par ordre croissant et des lettres par ordre alphabétique (*e.g.* 1-A-2-B-3-C ...). Le participant doit donc constamment activer ou inhiber les suites arithmétiques et alphabétiques. La différence de temps de réponse entre la première planche et la seconde correspond au temps nécessaire au participant pour alterner entre deux consignes. Des enfants HPI âgés de 8 et 10 ans sont plus rapides au TMT que leurs pairs au développement typique, ce qui suggère que les enfants HPI ont de meilleures capacités en flexibilité mentale (Johnson et al., 2003). Les adolescents HPI ont également de meilleures capacités en flexibilité mentale, des HPI âgés de 12 ans sont plus rapides à une tâche de type *task-switching* (*cf.* Chapitre 1) que leurs pairs au développement typique (Duan & Shi, 2014).

L'ensemble de ces résultats suggèrent que les processus exécutifs sous-jacents à la régulation des émotions, des pensées et des comportements sont plus efficaces chez des individus HPI. Un CI plus performant permet de mieux contrôler l'impulsivité, de mieux résister aux éléments distrayants dans l'environnement et d'être plus attentif, in fine. Une MdT plus performante signifie une plus grande capacité à traiter mentalement différentes sources d'informations visuelles et auditives. Enfin, une flexibilité mentale plus performante suggère une plus grande capacité à s'adapter au changement, au changement de perspective et de point de vue, et envisager de nouvelles stratégies.

III. Conclusion

Lina est HPI. Nous venons de voir que cela signifie qu'elle a obtenu un QIT supérieur à 130 à un test standardisé évaluant l'intelligence. Le décalage qu'elle ressent par rapport à ses camarades de même âge peut être expliqué par la trajectoire développementale de ses fonctions cognitives qui est différente de celle de ses pairs au développement typique. En effet, le développement des fonctions cognitives est généralement qualifié de précoce et de plus performant tout au long du développement chez les HPI. Parmi les particularités cognitives, on retrouve généralement des capacités de mémorisation plus importantes, un développement langagier plus précoce, une vitesse de traitement plus rapide, de meilleures capacités de résolution de problèmes et un raisonnement analytique plus performant. L'ensemble des FE (*i.e.*, CI, MdT, et flexibilité cognitive) fonctionnent également plus efficacement chez les enfants et les adolescents HPI, ce qui suppose que les HPI sont plus

aptes à réguler leurs pensées et leurs comportements, que leurs pairs au développement typique.

Avec ces connaissances, on peut supposer que les caractéristiques développementales du HPI confèrent à Lina un avantage pour gérer la situation des retrouvailles avec ses camarades après l'obligation de maintenir une distance sociale. Toutefois, pour répondre au mieux à cette question, il faut explorer le développement des compétences socio-émotionnelles de la population HPI.

Haut Potentiel Intellectuel et développement socio-émotionnel

Lina, adolescente à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) de 13 ans, se retrouve dans la même situation problématique que Paul lors des retrouvailles avec leurs amis. Il est possible que Lina ait un avantage pour gérer cette situation chargée émotionnellement, compte-tenu des compétences supérieures des fonctions exécutives (FE) chez les HPI. Pourtant, nous allons voir tout au long de ce chapitre que le lien entre les hautes capacités intellectuelles et le développement socio-émotionnel est sujet à débat.

Les hypothèses s'opposent, le HPI est considéré comme un facteur protecteur ou à l'inverse un facteur de risque d'inadaptation sociale ou de développement de troubles psycho-affectifs. Après avoir passé brièvement en revue le développement du lien social, de l'hypersensibilité et les risques psychopathologiques dans la population du HPI, nous allons montrer en quoi le développement des capacités de régulation de la population HPI est crucial pour comprendre les compétences socio-émotionnelles. Nous nous intéresserons précisément au développement des FE chaudes chez le HPI, pour mieux cerner l'influence des émotions sur les processus exécutifs en charge de la régulation.

I. Le développement socio-émotionnel

1. Le développement du lien social

Est-ce que les individus à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) sont plus à risque d'être inadaptés socialement ? Globalement, être HPI n'est pas systématiquement synonyme de difficultés sociales. Il existe de nombreux exemples dans la littérature scientifique rapportant un investissement plutôt positif des relations sociales et une bonne intégration parmi les groupes de pairs pour les enfants et les adolescents HPI (Mouchiroud, 2004). Plusieurs études sont actuellement menées sur une cohorte longitudinale (EDEN) composée de 2002 enfants pour notamment déterminer si les HPI ont plus de difficultés socio-émotionnelles que leurs pairs au développement typique (Peyre et al. 2016). A l'âge de 5 ans, le niveau intellectuel des enfants a été mesuré par un bilan psychométrique (WPPSI-III, Wechsler, 2004) et les parents ont complété un questionnaire mesurant les difficultés émotionnelles, comportementales et sociales (SDQ, *Strengths and Difficulties Questionnaires*). A l'issue de cette évaluation, les parents d'enfants HPI (quotient intellectuel (QI) supérieur à 130) ne rapportent pas davantage de difficultés sociales chez leurs enfants que les parents d'enfants avec un QI dans la norme (Peyre et al. 2016). On retrouve des résultats similaires à l'adolescence dans d'autres études. Les adolescents HPI ne rencontrent pas davantage de difficultés relationnelles avec leurs camarades, d'anxiété sociale ou encore d'estime de soi plus basse que leurs pairs non HPI, scolarisés dans le même établissement scolaire (Vrignaud, 2002). Ils ne vivent pas plus de situations de rejets sociaux que les adolescents non HPI (Cohen et al., 1994) et la population HPI ne constitue pas une population plus à risque de subir du harcèlement à l'école par rapport à la population au développement typique (Peters et al., 2011). D'après ces études, les enfants

et les adolescents HPI semblent ne pas être plus inadaptés socialement que leurs pairs au développement typique. Ces résultats sont corroborés par les études longitudinales rapportant que les enfants HPI ont une vie sociale comparable aux tout-venants même s'ils ont une plus grande maturité dans leurs jugements (Gottfried et al., 1994). Certaines études rapportent même des compétences et des habiletés sociales plus élevées chez les HPI. Ils sont notamment perçus par leurs pairs comme étant moins agressifs et plus en mesure de développer des comportements pro-sociaux (Peairs et al., 2019).

Cependant, et bien que l'on puisse penser que les hautes capacités cognitives et exécutives (*cf.* Chapitre 2) confèrent un avantage pour développer de hautes habiletés sociales, d'autres chercheurs et cliniciens rapportent que les personnes HPI peuvent rencontrer diverses difficultés sociales comme le rejet ou l'isolement (Janos et al., 1985 ; Siaud-Facchin, 2012 ; Silvermann, 1993 ; Terrassier, 1979). En tout état de cause, la population HPI n'est pas une population homogène et il est possible que certains d'entre eux rencontrent des difficultés sociales du fait de l'interaction entre leurs hautes capacités cognitives et des facteurs environnementaux. Les enfants peuvent, par exemple, ressentir un décalage par rapport à leurs pairs du fait de leur maturité cognitive précoce. Manipulant des notions plus complexes et plus tôt que leurs camarades, les HPI peuvent avoir des centres d'intérêts différents. Ce phénomène est théorisé par le concept de dyssynchronie sociale (Terrassier, 1979). D'après cette théorie, ces décalages entraînent un effort d'adaptation constant de la part des HPI et peuvent amener ces enfants à vivre des difficultés d'intégration sociale.

Une autre manière d'étudier le lien entre QI et les comportements sociaux est de comparer les stratégies relationnelles des HPI par rapport aux non HPI directement au cours

d'une interaction sociale. Chung et al. (2011) ont analysé les comportements coopératifs d'adolescents HPI et non HPI au cours d'un jeu d'argent multi-joueurs impliquant de se montrer stratégique en fonction des conditions et en choisissant habilement soit d'investir en coopérant avec les autres soit de garder l'argent pour soi, dans le but de gagner le plus d'argent possible. Les adolescents HPI n'adoptent pas les mêmes comportements que les non HPI. Les HPI, motivés par le gain, sont plus stratèges et capables de se montrer coopératifs pour gagner plus alors que les non HPI vont être plus méfiants vis-à-vis de l'intention des autres, être plus sensibles à la perte et vont ainsi limiter la coopération au détriment d'un gain plus important (Chung et al., 2011). Ainsi, les adolescents au développement typique sont sensibles à l'influence des pairs et au contexte émotionnel de la situation tandis que les HPI le sont moins, ce qui semble leur permettre de prendre des décisions plus stratégiques. Les auteurs font l'hypothèse que ce décalage pourrait entraîner un manque de cohésion au cours des interactions sociales entre ces deux groupes. Certes, les HPI adoptent moins de comportements typiques à l'adolescence comme la méfiance ou la sensibilité à la perte, mais ces différences ne sont pas suffisantes pour présager à elles seules des difficultés d'adaptation plus systématiques, provoquant de l'isolement ou de l'exclusion. On pourrait même supposer que les meilleures capacités à comprendre les intentions de l'autre au cours d'une interaction (Chung et al., 2011) peuvent permettre un meilleur ajustement dans les relations sociales et de développer plus de comportements pro-sociaux (Peairs et al., 2019).

Sans remettre en cause les difficultés sociales rencontrées par certains HPI (Janos, et al., 1985 ; Siaud-Facchin, 2012 ; Silvermann, 1993), les données actuelles de la recherche tendent à nuancer l'hypothèse d'un ajustement socioaffectif systématiquement plus difficile chez les HPI par rapport à la population générale (Peyre et al., 2016 ; Mouchiroud, 2004 ; Brasseur, 2021). Les HPI peuvent rencontrer des difficultés sociales plus ou moins importantes

et en lien avec leurs compétences exceptionnelles, mais le haut QI n'est pas nécessairement un facteur de risque en soi.

2. L'hypersensibilité

Est-ce que les HPI sont plus hypersensibles que les non HPI ? Certains auteurs soutiennent que l'hypersensibilité serait constitutive du HPI tandis que d'autres relativisent ce lien supposé. L'hypersensibilité peut être définie comme une élévation de la sensibilité plus importante que la moyenne (Gauvrit & Clobert, 2021). Elle se décline sous l'angle sensoriel (*i.e.* sensibilité accrue aux stimuli sensoriels comme les sons, les images, les odeurs, la texture, etc.) et sous l'angle émotionnel (*i.e.* une meilleure perception des émotions et une expression plus intense des émotions). D'un point de vue sensoriel, plusieurs données sont en faveur d'une sensibilité accrue aux stimuli chez les HPI. Ce lien a notamment été démontré par une sensibilité plus élevée aux tâches de discrimination sensorielle chez les HPI (Acton & Schroeder, 2001 ; Deary, Bell, Bell, Campbell, & Fazal, 2004). Ainsi, on peut supposer que les HPI disposent d'habiletés plus sensibles *a minima* dans le domaine sensoriel.

Du point de vue émotionnel, une étude a révélé que les enfants HPI avaient des scores plus élevés de sensibilité sur le profil sensoriel de Dunn (Dunn, 1999) par rapport à un groupe contrôle de même âge et dans la norme (Gere et al., 2009). Ils ont notamment une réactivité émotionnelle et comportementale plus importante que leurs pairs. Ces résultats sont corroborés par d'autres études issues de la théorie de Dabrowski stipulant que les HPI présenteraient une hyperstimulabilité dans cinq domaines distincts : intellectuel, imaginaire, sensoriel, psychomoteur et émotionnel. En utilisant le questionnaire qui mesure l'hyperstimulabilité, en l'occurrence l'OEQ (*Overexcitability questionnaire*), les études ont

montré que les enfants et les adolescents HPI présenteraient une hyperstimulabilité plus importante, notamment sur le plan intellectuel, imaginaire et émotionnel (Piechowski & Colangelo, 1984 ; Miller et al., 1994). Plus récemment, la méta-analyse de Winkler & Voight (2016) confirme une hyperstimulabilité intellectuelle et imaginative chez les HPI (Yakmacsi-Guzel & Akarsu, 2006), l'effet de l'hyperstimulabilité émotionnelle est, quant à lui, significatif mais faible. Il est à noter que l'hyperstimulabilité ne serait peut-être pas tout à fait synonyme d'hypersensibilité.

D'après certains auteurs, les tests d'hyperstimulabilité tel que l'OEQ, sont finalement très proches des tests de personnalité mesurant la facette ouverture (Vuyk et al., 2016a ; 2016b). La facette ouverture correspond à la curiosité intellectuelle, imaginative, à l'attrait pour la nouveauté ou encore à une attention particulière donnée aux émotions. Comme pour l'OEQ, les jeunes adultes HP (talentueux académiquement) se distinguent de leurs pairs par une plus grande ouverture (Zeidner & Shani-Zinovich, 2011) et plus spécifiquement en ce qui concerne les aspects intellectuels et imaginatifs (Altaras-Dimitrijevic, 2012). De façon intéressante, Valpied (2018) a exploré les relations entre les hautes capacités intellectuelles, l'hypersensibilité et la facette ouverture dans sa thèse de doctorat. Des participants HPI adultes (avec un QI sur le 98^{ème} percentile) ont été invités à répondre au questionnaire HSPS (*Highly Sensitive Person Scale*), validé pour mesurer l'hypersensibilité, ainsi qu'à un test de personnalité (*Five-factor Model Personality Scale*, Valpied, 2018). Les résultats confirment que la facette ouverture est bien liée au HPI et que la facette ouverture est également liée à l'hypersensibilité. Cependant, le lien entre le HPI et l'hypersensibilité n'est pas significatif. Autrement dit, même si les HPI sont plus ouverts et notamment sur un plan intellectuel et imaginatif (Altaras-Dimitrijevic, 2012 ; Winkler & Voight, 2016) et que le trait de personnalité ouverture partage des similarités avec l'hypersensibilité ; l'hypersensibilité n'est pas pour

autant directement liée au HPI. Ce qui ne veut pas dire que les HPI ne peuvent pas être hypersensibles mais que l'hypersensibilité en soi n'est peut-être pas constitutive du HPI. Toutefois, l'ensemble de ces résultats ne concernent que les adultes, ils devraient être répliqués et notamment avec un échantillon composé de plus jeunes HPI.

Une autre façon d'étudier l'hypersensibilité émotionnelle est de se pencher sur la notion de la réactivité émotionnelle pouvant être évaluée au moyen de questionnaires mesurant cette dimension, comme l'ERS (*Emotion Reactivity Scale*, Nock et al., 2008) par exemple. Il s'agit d'un questionnaire adapté pour les jeunes adolescents et les adultes qui évalue l'expérience individuelle en matière de réactivité émotionnelle selon trois aspects : la sensibilité, l'intensité et la persistance. A notre connaissance, aucune étude n'a étudié la réactivité émotionnelle des HPI avec ce questionnaire. Les mesures physiologiques sont également intéressantes car elles permettent d'observer les réactions physiologiques immédiates face à des stimuli. Brasseur (2013) a réalisé dans sa thèse de doctorat une étude en recueillant diverses données physiologiques comme la fréquence cardiaque ou les niveaux de sudation et des mesures subjectives (via un auto-questionnaire) en situation émotionnelle (visionnage de séquences de films) sur des participants HPI (QIT > 125) et non HPI âgés de 17 ans en moyenne. Les résultats démontrent que les HPI n'ont pas un ressenti émotionnel plus intense que les non HPI, que ce soit au niveau des mesures physiologiques ou des réponses données au questionnaire (Brasseur, 2013). A l'inverse, Roberts et Lovett (1994) ont mis en évidence un niveau plus élevé de stress chez les adolescents HP (d'après leurs compétences académiques) après les avoir placés en situation d'échec par rapport à un groupe avec de bons résultats scolaires et un autre groupe avec des résultats moyens. Les résultats révèlent que les HP présentent plus de réactions physiologiques au stress et de réactions émotionnelles négatives que les adolescents des deux autres groupes (Roberts & Lovett, 1994).

La question de l'hypersensibilité chez les HPI est un domaine encore sujet à de vastes débats. Très souvent considérée comme un facteur de risque de développer des troubles psycho-affectifs chez les HPI, comme l'anxiété, les données récentes tendent à remettre en question ce lien systématique. Les HPI auraient une plus grande hyperstimulabilité/ouverture intellectuelle et imaginative mais pas nécessairement émotionnelle. Concernant la réactivité émotionnelle, il n'existe encore que trop peu de recherches à ce sujet. Toutefois, les résultats des recherches récentes suggèrent que les HPI n'auraient pas plus de difficultés que les non HPI sur diverses caractéristiques socio-émotionnelles en les comparant aux non HPI (Zeidner & Shani-Zinovich, 2011).

3. Psychopathologie : anxiété et dépression

Qu'en est-il du risque de développer des troubles anxieux et dépressifs pour les enfants et les adolescents HPI ? Globalement, il existe trois hypothèses autour de l'anxiété, de la dépression et de leurs liens avec le QI. Certains auteurs pensent que l'intelligence est un facteur de vulnérabilité aux troubles psychiatriques (Karpinski et al., 2018), d'autres que les hautes capacités intellectuelles confèrent de meilleures capacités de gestion des émotions et donc moins de risque de développer des troubles (Francis et al., 2016). La dernière hypothèse est que les individus ayant un haut QI ne seraient pas plus à risque de développer un trouble psychopathologique que la population générale.

A ce jour, plusieurs études rapportent une prévalence importante de l'anxiété chez les HPI. Guignard et Zesani (2004) montrent avec leur revue de la littérature que les enfants HP présenteraient généralement une anxiété-trait plus importante, c'est-à-dire une tendance constante à réagir avec appréhension, par rapport à la population générale. Les enfants HPI

(QIT > 130) auraient une prévalence de l'anxiété plus importante que les non HPI (Kermarrec et al., 2020). Les enfants HPI (QIT > 125) ont une anxiété de séparation plus importante que les non HPI (Simoes Loureiro et al., 2010). Les adultes HPI (QIT > 130) seraient également plus à risque de développer une anxiété sociale (Karpinski et al., 2018). Concernant la dépression, Guérolé et al. (2013b) ont trouvé que les enfants HPI (QI > 130) ont plus de troubles sur la dimension anxiété/dépression à la version française du *Child Behavior Checklist* (CBCL) que les enfants du groupe contrôle. Les résultats sont similaires à l'adolescence, à la même échelle, puisque les adolescents HPI (QIT > 130) présentent plus de troubles sur la dimension dépression que les non HPI (Bénonny et al., 2007).

A l'inverse, la méta-analyse de Martin et al. (2009) met en évidence que les niveaux d'anxiété et de dépression sont plus bas chez les HPI par rapport aux non HPI. Fait intéressant, les auteurs n'ont sélectionné que la littérature la plus robuste en termes de méthodologie pour arriver à ces conclusions. De plus, d'autres études rapportent que les HPI seraient moins sujets à l'anxiété que leurs pairs. Par exemple, les enfants et adolescents HPI (désignés HP par leurs professeurs et avec un QIT > 130) qui suivent des cours dans des classes spécialisées pour HP obtiennent des scores inférieurs au questionnaire RC-MAS (Reynolds & Richmond 1999) par rapport aux autres enfants (Scholwinski & Reynolds, 1985) ainsi que par rapport à un groupe contrôle avec un QIT dans la moyenne (Reynolds & Bradley, 1983). Enfin, des lycéens avec des compétences exceptionnelles au niveau académique ont un niveau d'anxiété inférieur aux élèves sans compétences exceptionnelles (Zeidner & Shani-Zinovich, 2011).

Enfin, d'autres études montrent que les niveaux de QI pourraient bien n'avoir aucune incidence sur les risques de troubles psycho-affectifs. Par exemple, l'étude menée avec la cohorte EDEN rapporte que les jeunes enfants HPI (QIT > 130) n'ont pas plus de difficultés

d'ordre comportemental ou émotionnel que les non HPI (Peyre et al., 2016). De plus, les enfants HPI (QIT > 130) obtiennent des scores dans la norme au questionnaire RC-MAS mesurant l'anxiété (Guénolé et al., 2013a) et d'autres enfants HPI (QIT > 120) obtiennent des scores similaires au groupe contrôle non HPI à un autre questionnaire mesurant l'anxiété (Rost & Czeschlik, 1994).

Les études présentent des conclusions contradictoires et sont source d'incertitudes pour les chercheurs et les professionnels de la santé mentale. Cette variabilité dans les résultats peut notamment être expliquée par des raisons méthodologiques (Francis et al., 2016 ; Martin et al., 2009). Martin et al. (2009) ont mis en avant diverses problématiques au niveau des échantillons qui composent les études de la littérature à ce sujet. Les études sont généralement réalisées sur de petits effectifs, souvent issus de programmes spéciaux pour enfants HPI et parfois sans groupe contrôle ou avec un groupe contrôle mal constitué (*i.e.* issu de la population générale et sans mesure de QI). De plus, les critères d'inclusion de la population HP diffèrent entre les études, de sorte que les niveaux de QI, quand ils sont choisis comme critères d'inclusion, varient (QI > 125, 130, 140, etc.). Parfois, ce sont d'autres critères que le QI qui sont privilégiés, comme le potentiel créatif. Ces différences d'échantillonnage rendent complexe la comparaison de ces études entre elles. De plus, les résultats des études ne sont pas toujours représentatifs de l'état de santé de la population générale des HP. Les participants sont généralement recrutés au sein de la population HP qui consulte des professionnels de la santé mentale comme les psychologues, ce qui suggère que ces personnes peuvent vivre des difficultés d'ordre psychologique. Les auteurs appellent ainsi à la prudence et fournissent des recommandations pour renforcer les recherches sur la santé mentale des enfants HPI. Ils recommandent par exemple de réaliser ces expériences sur de plus larges cohortes et de mieux expliquer les critères de définition des HP sélectionnés dans

les études. Cela permettrait de mieux capturer et expliquer les différences inter-individuelles au sein de la population HP.

Les résultats sont donc contradictoires sur la question du haut QI et du risque de développer des troubles psycho-affectifs. Certains auteurs supposent que de faire des analyses des profils cognitifs homogènes et hétérogènes aux tests d'intelligence, permettraient d'appréhender autrement la question du risque de développer des troubles psycho-affectifs dans cette population (Kermarrec et al., 2020). Toutefois, sachant que les enfants qui ont des difficultés d'auto-régulation présentent un risque accru de développer à l'âge adulte des troubles psycho-affectifs (*i.e.* troubles anxieux, de l'humeur ou de comportements) (Althoff et al. 2010), il apparaît fondamental de s'intéresser aux capacités de régulation émotionnelle durant l'enfance et l'adolescence des HPI.

D'après la littérature concernant le développement socio-émotionnel des HPI, on peut conclure que si les hautes capacités cognitives de Lina ne l'exemptent pas de tous risques de développer des troubles psycho-affectifs et des difficultés d'adaptation sociale, elle n'est pas pour autant plus à risque que la population générale. Pour mieux cerner le risque pour Lina, il est primordial d'étudier les processus en charge de la régulation des émotions.

II. La régulation et les fonctions exécutives chaudes

1. Le développement des capacités de régulation émotionnelle

Pour comprendre les différences de développement socio-émotionnel selon le QI, la question du développement des capacités de régulation et d'autorégulation chez les HPI est

critique. L'autorégulation concentre un ensemble de compétences, notamment de planification et d'activation des trois FE : l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité mentale (Diamond, 2013 ; Miyake et al., 2000). Compte-tenu des compétences précoces et supérieures en FE froides (*cf.* Chapitre 2) des enfants et des adolescents HPI, on pourrait supposer de meilleures capacités de régulation chez les HPI (Calero et al., 2007). De plus, les processus d'autorégulation sont également étroitement liés aux processus de régulation des émotions (Koole & Aldao, 2016) et les définitions actuelles de l'autorégulation incluent la régulation des émotions comme l'une des composantes clés. Plus précisément, les capacités d'autorégulation permettent aux individus de faire face à un environnement en constante évolution ou d'atteindre des objectifs en adaptant les processus émotionnels et cognitifs (Nigg, 2017). Dans ce contexte, les enfants HPI pourraient avoir un avantage compte-tenu de leur meilleure capacité d'adaptation socio-émotionnelle en comparaison aux non HPI (Francis et al., 2016).

Une des façons d'explorer les capacités de régulation des émotions est d'étudier le niveau d'intelligence émotionnelle (IE) chez les HPI. Plusieurs études rapportent une IE supérieure chez les HPI en comparaison aux non HPI. Par exemple, les adolescents HPI (issus de classes spéciales pour HPI) obtiennent des scores supérieurs par rapport aux adolescents non HPI au test MSCEIT (*Mayer-Salovey-Caruso Emotional Intelligence Test*, Mayer et al., 2003) qui mesure l'IE comme habileté (Zeidner et al., 2005). Autrement dit, les adolescents HPI auraient de plus grandes capacités pour percevoir et identifier les émotions et les utiliser pour mieux les comprendre et les réguler.

Cependant, les résultats sont plus contrastés quand on évalue l'IE trait dans la population HPI. L'IE trait est définie par la façon de réagir habituellement en situation

émotionnelle, on ne s'intéresse pas aux compétences (*i.e.* de meilleures connaissances) mais plutôt à notre manière de s'autoréguler spontanément. Des parents d'enfants HPI (QIT > 130) rapportent que leurs enfants sont plus capables de gérer le stress et sont même plus adaptables en comparaison à ce qui est rapporté par des parents d'enfant non HPI (Schwean et al., 2006). A l'inverse, d'autres études montrent que les HP auraient une IE trait plus faible par rapport aux tout-venants. Par exemple, Lee et Olszewski (2006) suggèrent que les adolescents HP (talentueux académiquement) auraient de meilleures capacités d'adaptation face à la nouveauté mais de moins bonnes compétences au niveau de la gestion du stress, ce qui suppose que les HPI régulent moins bien leurs émotions spécifiquement dans une situation de stress. Ces résultats sont corroborés par l'étude de Roberts et Lovett (1994) qui rapporte que les adolescents HP (talentueux académiquement) présentent plus de réactions physiologiques au stress après avoir été placés en situation d'échec. Les enfants et les adolescents HPI ne seraient donc pas plus vulnérables que la population générale en IE habileté. Concernant l'IE trait, il se pourrait que la gestion du stress soit quelque peu différente, du moins pour les HP talentueux académiquement. Des études complémentaires sont nécessaires pour pouvoir le confirmer.

Pour mieux comprendre leur manière de gérer les situations stressantes et les situations chargées émotionnellement au quotidien, il peut être pertinent d'interroger les stratégies de régulation employées par les HPI et de les comparer avec la population générale. L'ERQ-CA (*Emotion Regulation Questionnaire for Children and Adolescents*, Gross & John, 2003), version adaptée de l'ERQ (*Emotion Regulation Questionnaire*) pour les enfants et les adolescents, est un questionnaire auto-rapporté qui mesure l'utilisation préférentielle de deux types de stratégie de régulation émotionnelle : la réévaluation cognitive (*i.e.* la stratégie la plus élaborée qui permet de modifier la perception que nous avons d'une situation afin de

changer les émotions qu'elle génère) et la suppression expressive (*i.e.* stratégie qui consiste à éviter mentalement les émotions). D'après une étude de cas, les jeunes HPI seraient capables d'utiliser précocement la stratégie de réévaluation cognitive d'une situation (Sowa, McIntire, May et Bland, 1994). A notre connaissance, une seule étude a comparé les réponses d'enfants HPI (recrutés dans des classes spécialisées et avec une intelligence fluide supérieure à celle du groupe contrôle) au questionnaire ERQ. Les résultats montrent l'absence d'une différence significative entre les enfants HPI et les enfants non HPI pour les deux stratégies (Li et al., 2020). Ainsi les enfants HPI n'utiliseraient pas plus préférentiellement ou plus précocement la réévaluation cognitive ou la suppression expressive par rapport à leurs pairs au développement typique.

2. Les fonctions exécutives chaudes

La régulation des émotions repose sur un nombre conséquent de ressources cognitives, dont les FE. Les FE sont mêmes centrales pour la régulation du comportement et des émotions (Diamond, 2013 ; Miyake et al., 2000). Il est donc nécessaire de s'intéresser spécifiquement au développement des FE dans la population HPI pour mieux comprendre les capacités de régulation dont disposent les HPI. Une façon plus spécifique d'évaluer les compétences d'autorégulation, consiste à examiner l'influence des informations émotionnelles sur les compétences en FE. Cette procédure permet une évaluation spécifique de l'interaction complexe entre l'émotion et la cognition. Dans la population au développement typique, nous avons vu que le contexte chargé émotionnellement impacte plus le développement des FE (*i.e.* FE chaudes) qu'un contexte neutre affectivement (*i.e.* FE

froides), particulièrement à la période critique de l'adolescence (*cf.* Chapitre 1). L'étude des FE chaudes est pourtant moins explorée que celle des FE froides dans la population HPI.

Il existe des preuves indirectes qui suggèrent que les capacités intellectuelles pourraient impacter le développement des FE chaudes. (Austin, 2005). Par exemple, il a été montré que les adultes HPI ont de meilleures capacités d'attention sélective des stimuli affectifs par rapport aux non HPI (Fiori et Antonakis, 2012). Des études en électrophysiologie montrent que les adolescents HPI traitent plus rapidement une tâche de catégorisation des émotions et ont une meilleure détection des expressions émotionnelles que les non HPI (Liu et al., 2015a ; 2015b). Ces résultats sont corroborés par les études en IE habileté rapportant une meilleure connaissance et une meilleure gestion de l'information émotionnelle (Zeidner et al., 2005).

Deuxièmement, des études ont démontré que le QI prédit les compétences à la tâche *Iowa Gambling task* (IGT) (Demaree et al., 2010 ; Li et al., 2017 ; Webb et al., 2014). Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre de cette thèse, cette tâche est utilisée par certains chercheurs pour mesurer les FE chaudes puisque l'IGT engage des processus motivationnels et émotionnels en plus du contrôle de soi (Zelazo & Carlson, 2012). Fait intéressant, la réussite à l'IGT est dépendante du niveau de QI alors que l'IE n'est pas liée à la réussite à l'IGT (Demaree et al., 2010 ; Li et al., 2017 ; Webb et al., 2014), ce qui suggère que l'IE n'est pas une mesure prédictive des capacités de contrôle de soi dans un contexte chargé émotionnellement. A l'inverse, plus le niveau de QI est élevé, plus la capacité à s'auto-contrôler est performante à cette tâche. Ainsi, les enfants HPI (issus de classes spécialisées HPI et avec une intelligence fluide supérieure à celle du groupe contrôle) ont de meilleures performances à cette tâche comparativement aux non HPI (Li et al., 2017). Enfin, l'étude de Chung et al. (2011) présentée

au début de ce chapitre, rapporte que les adolescents HPI sont moins affectés que les non HPI par les informations socio-émotionnelles lors d'une tâche de prise de décision sociale. Toutes ces études mettent en lumière que les HPI pourraient bien avoir de meilleures compétences de contrôle de soi pour atteindre un objectif dans un contexte émotionnellement chargé par rapport aux non HPI.

Plus spécifiquement, les compétences d'enfants HPI (issus de classes spécialisées HPI et avec une intelligence fluide supérieure à celle du groupe contrôle) ont été comparées à celles d'enfants non HPI à une tâche de Stroop version chaude (*cf.* Chapitre 1) et à la Simon task version chaude, qui mesurent toutes deux les capacités de CI dans un contexte émotionnellement chargé (Li et al., 2020). Dans la Simon task version chaude, les participants doivent identifier l'émotion sur un visage en appuyant à gauche si le visage émotionnel exprime la peur et inversement si le visage exprime la joie. Pour les essais congruents, l'émotion à identifier est placée du côté de l'écran correspondant au côté de la réponse (*e.g.* visage de peur à gauche) et inversement pour les essais incongruents (*e.g.* visage de peur à droite). Il n'existe pas de différence significative entre les deux groupes QI à la Simon Task. Toutefois, les deux groupes QI montrent des patterns différents de contrôle cognitif face au contexte émotionnel à la tâche Stroop chaude. Les HPI témoignent d'une meilleure adaptation au conflit par rapport aux non HPI dans la tâche de Stroop chaude, face aux visages de peur, en commettant moins d'erreurs que les non HPI. Les données électrophysiologiques montrent aussi que les meilleures performances des enfants HPI étaient liées aux processus de détection du conflit, mais pas aux processus de résolution de conflits. Cette étude révèle quelques différences entre les enfants HPI et non HPI, suggérant que les HPI ont une meilleure résistance au conflit émotionnel face aux visages de peur en tout cas.

Enfin, deux études ont exploré le traitement de l'inhibition de la réponse chaude chez des participants adolescents HPI (QIT > 125) et de sexe masculin qui présentent des difficultés scolaires et sociales (Urben et al., 2018a ; 2018b). Dans une version de la tâche Stop Signal chaude dans laquelle les stimuli Go sont des cercles de couleurs et les essais Stop sont des visages émotionnels ou neutres qui apparaissent dans les cercles, les HPI ont une inhibition de la réponse moins performante que celle du groupe contrôle dans les conditions neutre et positive (*i.e.* un score SSRT plus élevé) alors que leur performance est meilleure dans la condition tristesse par rapport à la condition positive. Les adolescents au développement typique sont moins performants dans les deux conditions émotionnelles et meilleurs dans la condition neutre (Urben et al., 2018a). Les auteurs supposent que les émotions négatives favorisant par essence des comportements d'évitement, ceux-ci pourraient être renforcés chez les HPI qui ont un contrôle exécutif supérieur par rapport à la population générale (Arffa, 2007 ; Geake, 2009). À une autre version de la Stop signal dans laquelle les stimuli Go sont des visages émotionnels, neutres ou des cercles de couleur et le signal Stop est un carré rouge qui encadre les stimuli, les adolescents HPI sont plus impactés par le contexte émotionnel en comparaison aux non HPI (Urben et al., 2018b). Toutefois, notons que les résultats à ces deux études doivent être interprétés en considérant qu'ils ne concernent que les adolescents HPI qui présentent des difficultés notamment d'adaptation sociale. Il apparaît important de continuer l'exploration de l'influence de l'émotion sur les compétences exécutives que sont le CI, la MdT et la flexibilité mentale chez les HPI afin de mieux cerner les compétences d'autorégulation de cette population.

III. Conclusion

Même si les conclusions quant à la régulation émotionnelle sont contradictoires, les résultats des recherches récentes suggèrent que les HPI n'auraient pas plus de difficultés que les non HPI sur diverses caractéristiques socio-émotionnelles en les comparant aux non HPI (Zeidner & Shani-Zinovich, 2011). On considère actuellement que les HPI ne présenteraient pas un risque socio-émotionnel accru du fait de leur haut QI par rapport à la population générale (Brasseur, 2021). Les contradictions dans la littérature sont en partie expliquées par des biais méthodologiques et les différentes définitions du HP (talentueux académiquement, haut potentiel créatif, HPI, etc.) (Francis et al., 2016 ; Martin et al., 2009). De plus, la population HP n'est pas une population homogène et il est possible que certains d'entre eux rencontrent des difficultés psycho-affectives du fait de l'interaction entre leurs hautes capacités cognitives, les facteurs développementaux et les facteurs environnementaux. Pour continuer à mieux comprendre les résultats contradictoires, il est crucial de s'intéresser aux processus cognitifs en charge de la régulation des émotions dans la population HPI. En effet, les difficultés de régulation émotionnelle durant l'enfance prédisent un plus grand risque de développer des troubles affectifs à l'âge adulte (Althoff et al. 2010). Comprendre le développement de ces capacités chez l'enfant et l'adolescent HPI pourrait apporter un élément de réponse sur la question du risque du développement de troubles psycho-affectifs.

En l'état actuel des connaissances, il est difficile de prédire si le dilemme rencontré par Paul peut être résolu différemment par Lina. Si on se base sur les meilleures performances en termes de compétences exécutives froides retrouvées chez les HPI, Lina aurait un avantage par rapport à Paul pour résister aux informations non pertinentes, à manipuler des stratégies et à s'adapter aux nouvelles stratégies (*cf.* Chapitre 2). Concernant l'impact du contexte

émotionnel sur ces compétences exécutives, certaines études tendent à conférer un avantage aux HPI dans le sens où la résistance aux informations négatives serait supérieure chez cette population. Ainsi, Lina serait moins gênée par l'influence des émotions négatives. Selon d'autres études, le contexte émotionnel pourrait impacter l'inhibition de sa réponse plus fortement que Paul. Lina pourrait être plus gênée pour faire un choix réfléchi et fiable, sachant que l'influence de ses émotions et du contexte social pourraient amoindrir ses capacités de régulation.

OBJECTIFS DE RECHERCHE

La partie théorique de cette thèse nous a permis de mettre en évidence que les enfants et les adolescents à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) présentent un développement cognitif atypique généralement qualifié de précoce. Ils sont plus efficaces que leurs pairs au développement typique dans de nombreux domaines cognitifs (Vaivre-Douret, 2004, 2011), notamment en raisonnement logique (Kokis et al., 2002) et au niveau des fonctions exécutives (FE) (Arffa, 2007). Nous avons également souligné le rôle crucial des FE pour le développement de compétences complexes, comme la régulation des comportements, des pensées et des émotions (Diamond, 2013 ; Miyake et al., 2000). Par conséquent, si les HPI ont des compétences exécutives supérieures (Arffa, 2007), ils pourraient disposer de compétences plus efficaces pour s'auto-réguler.

A ce sujet, certaines études mettent en évidence que les enfants et les adolescents HPI ont bien des compétences socio-émotionnelles plus efficaces (Zeidner et al., 2005) et un moindre risque de développer des troubles psycho-affectifs comme l'anxiété et la dépression (Francis et al., 2016). Pour autant, d'après certains cliniciens et d'autres conclusions d'études empiriques, les HPI pourraient être plus vulnérables aux difficultés socio-émotionnelles que la population générale du fait de leur spécificités intellectuelles. Par exemple, les enfants et les adolescents HPI seraient hypersensibles (Siaud-Facchin, 2012) et cette sensibilité accrue pourrait les mettre en difficulté pour gérer leurs émotions. Ils pourraient se sentir en décalage intellectuel avec leurs pairs (Terrassier, 1979), ce qui peut les conduire à vivre des difficultés d'intégration sociale et ils présenteraient plus de symptômes anxieux et dépressif que la population générale (Kermarrec et al., 2020). Dans ce contexte de résultats contradictoires, nous souhaitons explorer plus finement avec la première étude le développement des capacités de régulation et de la réactivité émotionnelle des HPI de 9 ans jusqu'à 15-20 ans en utilisant des auto-questionnaires (Étude 1).

Un autre moyen d'étudier les capacités de régulation, est d'analyser l'influence directe des émotions sur les processus exécutifs en charge de la régulation des comportements et des émotions. Quelques études ont cherché à comparer les FE chaudes (*i.e.* dans un contexte chargé affectivement) des enfants, des adolescents et des adultes HPI par rapport à celles des non HPI (Li et al., 2020 ; Urben et al., 2018a, 2018b). Néanmoins, ces études n'ont pas exploré systématiquement le développement des différentes FE chaudes au cours du développement, entre l'enfance et l'adolescence, et selon les capacités intellectuelles. Elles n'ont pas non plus comparé systématiquement le développement de ces FE chaudes avec leur équivalent dans un contexte dénué d'informations émotionnelles (*i.e.* FE froides) au cours du développement et selon les capacités intellectuelles. Avec la deuxième et la troisième étude, nous avons pour objectif d'explorer le développement des 3 FE (*i.e.* contrôle inhibiteur, mémoire de travail et flexibilité mentale) dans des contextes émotionnellement neutres (FE froides) ou chargés émotionnellement (FE chaudes), en comparant la performance des HPI et des non HPI âgés de 9 ans à 15-20 ans (Étude 2), puis d'analyser l'évolution de l'organisation de ces FE au cours du développement en utilisant une modélisation en réseaux (Étude 3).

Enfin et sachant que les FE sont cruciales pour développement d'autres compétences complexes tel que le raisonnement logique (Diamond, 2013 ; Richland & Burchinal, 2013), le dernier objectif de cette thèse consiste à mieux comprendre le développement des capacités de raisonnement des adolescents HPI par rapport aux adolescents non-HPI. Bien que plusieurs études aient mis en évidence que les individus ayant de hautes capacités intellectuelles ont de meilleures capacités de raisonnement délibéré (Kokis et al., 2002 ; Stanovich & West, 2008), il reste à déterminer si ces meilleures compétences logiques relèvent d'une capacité accrue à inhiber une heuristique trompeuse, ou de l'émergence d'intuitions logiques plus précocement que chez les non-HPI. Pour cela, nous comparons dans la dernière étude de cette

thèse, la performance d'adolescents HPI et non HPI âgés de 10 à 17 ans à une tâche évaluant le raisonnement logique (Étude 4).

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Etude

1

Développement de la régulation et de la réactivité émotionnelle & Haut Potentiel Intellectuel

Hilscher, E., Boissin, I., Houdé, O., & Borst, G.

Résumé

Actuellement, un débat est en cours concernant l'existence ou non de caractéristiques affectives associées au Haut Potentiel Intellectuel (HPI). Trois hypothèses existent à ce sujet : (1) une évoque une sensibilité émotionnelle accrue et un risque accru de développer des troubles psychiatriques chez les HPI ; (2) une autre évoque des compétences socio-émotionnelles supérieures chez les HPI ; (3) la dernière évoque l'absence de différence entre les HPI et les non HPI. Pour tenter d'apporter un nouvel éclairage à ce débat, nous avons exploré le développement de la régulation émotionnelle et de la réactivité émotionnelle de 9 ans jusqu'à 20 ans en comparant les réponses des individus HPI avec des individus ayant un QI dans la norme ; à l'aide de questionnaires évaluant la régulation émotionnelle (DERS-18 et ERQ-CA) et la réactivité émotionnelle (ERS). Les résultats indiquent que les HPI n'ont pas plus de difficultés de régulation émotionnelle (DERS-18), qu'ils n'utilisent pas différemment les stratégies de régulation des émotions (ERQ-CA) et qu'ils n'ont pas une réactivité émotionnelle plus importante (ERS) que les non HPI. Ces résultats sont en adéquation avec l'hypothèse qui évoque que les enfants et les adolescents HPI n'ont pas plus de difficultés socio-émotionnelles que la population générale.

Mots clés : Haut potentiel intellectuel, Régulation émotionnelle, Réactivité émotionnelle, Hypersensibilité
Développement

Introduction

Les personnes à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) sont définies comme des personnes ayant des compétences intellectuelles supérieures à la norme. D'un point de vue cognitif, le développement des HPI est généralement qualifié de précoce (Steiner & Carr, 2003 ; Vaivre-Douret, 2011). Les enfants HPI disposent par exemple d'aptitudes langagières précoces, des capacités de mémorisation plus importantes ou encore d'une vitesse de traitement plus rapide (Vaivre-Douret, 2004 ; 2011). Cette avance développementale leur permet d'être généralement mature plus précocement dans différents domaines, notamment en raisonnement (Kokis et al., 2002) ou encore dans les apprentissages (Calero et al., 2011).

Au-delà de ces caractéristiques cognitives, d'autres chercheurs et cliniciens tentent de mettre en évidence l'existence de caractéristiques affectives chez les HPI. D'après la revue de la littérature de Guignard et Zenasni (2004), plusieurs caractéristiques émotionnelles sont fréquemment associées au HPI, comme une anxiété trait plus importante, une intensité affective et une hyperstimulabilité plus accrue ou encore une intelligence émotionnelle supérieure. Pourtant la question de caractéristiques affectives chez cette population, comme l'anxiété, est actuellement très débattue au sein de la communauté scientifique (cf. Introduction, Chapitre 3). Par exemple, certains résultats d'études suggèrent que l'intelligence est un facteur de vulnérabilité aux troubles psychiatriques (Karpinski et al., 2018), notamment à l'anxiété chez les enfants HPI (Kermarrec et al., 2020). D'autres suggèrent que les enfants et les adolescents HPI auraient moins de risque de développer des troubles anxieux ou dépressifs (Francis et al., 2016, Martin et al., 2009). D'autres encore rapportent que l'intelligence pourrait n'avoir aucune incidence sur le risque de développer un trouble chez l'enfant (Peyre et al., 2016 ; Guénoilé et al., 2013a). Cette variabilité dans les résultats pourrait être expliquée

par des raisons méthodologiques. En effet, la plupart des études ne clarifient pas correctement la définition qui est utilisée pour identifier les enfants avec un HPI, et, par ailleurs, ces études présentent de nombreux biais liés à la constitution des échantillons cliniques (Martin et al., 2009). Les auteurs appellent alors à la prudence quant à l'interprétation de ces résultats contradictoires (Martin et al., 2009). Ainsi, il n'est pas encore déterminé si les enfants et les adolescents HPI présentent ou non un risque accru de développer des troubles psycho-affectifs.

Toutefois, les enfants qui ont des difficultés d'auto-régulation présentent un risque accru de développer à l'âge adulte des troubles psycho-affectifs (*i.e.* troubles anxieux, de l'humeur ou de comportements) (Althoff et al., 2010). Dès lors, il apparaît fondamental d'explorer le développement de ces capacités de régulation chez cette population au cours de l'enfance et de l'adolescence afin de déterminer si ces capacités sont différentes de la population générale, et ainsi, de déterminer s'ils présentent un risque accru ou non de développer plus tard des troubles psycho-affectifs par rapport à la population générale.

Les capacités d'autorégulation permettent aux individus de faire face à un environnement en constante évolution ou d'atteindre des objectifs en adaptant les processus émotionnels et cognitifs (Nigg, 2017). Dans ce contexte, les enfants HPI pourraient être avantagés compte-tenu de leurs meilleures capacités cognitives et d'adaptation socio-émotionnelle en comparaison aux non HPI (Francis et al., 2016). En effet, les adolescents HPI ont des connaissances plus développées concernant les émotions et les processus de régulation que leurs pairs (Zeidner et al., 2005). Cependant, les résultats sont plus contrastés quand on évalue leur manière de réagir habituellement en situation émotionnelle. Par exemple, les enfants HPI sont plus adaptables et plus en capacité de gérer le stress en comparaison aux non HPI (Schwean et al., 2006). Les adolescents HPI n'ont pas un ressenti

émotionnel plus intense d'après des mesures physiologiques (fréquence cardiaque ou encore de sudation) en visionnant des séquences de films chargées émotionnellement. A l'inverse, d'autres résultats suggèrent qu'ils ont de moins bonnes compétences au niveau de la gestion du stress (Lee & Olszewski, 2006) et plus de réactions physiologiques au stress après une situation d'échec (Roberts & Lovett, 1994). Dès l'enfance, les HPI ont donc de meilleures connaissances émotionnelles et notamment des stratégies de régulation. Toutefois, les résultats sont plutôt mitigés concernant leur manière de réagir en situation émotionnelle.

Pour mieux comprendre leur manière de gérer les situations chargées émotionnellement au quotidien, il peut être pertinent d'interroger les stratégies de régulation employées par les HPI et de les comparer avec la population générale. Très peu d'études ont exploré le développement de deux types de stratégies de régulation chez les HPI : la réévaluation cognitive et la suppression expressive. D'après une étude de cas, les jeunes HPI seraient capables d'utiliser précocement la stratégie de réévaluation cognitive (*i.e.* stratégie élaborée qui permet de modifier la perception que nous avons d'une situation afin de changer les émotions qu'elle génère) d'une situation (Sowa et al., 1994). Au questionnaire ERQ (*Emotion Regulation Questionnaire* ; cf. Introduction, Chapitre 3), les enfants HPI répondent qu'ils n'utilisent pas plus préférentiellement ou plus précocement la réévaluation cognitive ou la suppression expressive par rapport à leurs pairs au développement typique (Li et al., 2020). A notre connaissance, il s'agit de la seule étude ayant proposé ce questionnaire à des HPI. Ainsi, il reste à déterminer si, au cours du développement, les HPI utilisent plus fréquemment ou non les stratégies de régulation émotionnelle en comparaison à leurs pairs au développement typique. Une autre manière de s'intéresser au développement des capacités de régulation serait d'évaluer si les HPI présentent plus de difficultés de régulation émotionnelle par rapport à leurs pairs tout-venant avec le questionnaire DERS-18 (Gratz &

Roemer, 2004) par exemple. Il s'agit d'un questionnaire adapté pour les jeunes adolescents et les adultes mesurant différentes difficultés de régulation des émotions. A notre connaissance, aucune étude n'a été menée avec ce questionnaire dans la population HPI.

Concernant l'hypersensibilité (*cf.* Introduction, Chapitre 3), plusieurs études issues de la théorie de Dabrowski, théorie princeps stipulant que les HPI présenteraient une sensibilité plus élevée aux stimuli, ont montré que les enfants et les adolescents HPI ont une hyperstimulabilité plus importante, notamment sur le plan intellectuel, imaginaire et émotionnel (Daniels & Piechowski 2009 ; Piechowski & Colangelo, 1984 ; Miller et al., 1994). Cliniquement, cette hypersensibilité émotionnelle est une caractéristique fréquemment associée au HPI (Siaud-Facchin, 2012) et cette sensibilité accrue pourrait les mettre en difficulté pour gérer leurs émotions. Toutefois, d'autres études montrent que l'hyperstimulabilité émotionnelle n'est pas nécessairement propre au HPI, uniquement l'hyperstimulabilité intellectuelle et imaginative (Winkler, 2016 ; Yamacsi-Guzel & Akarsu, 2006). Une autre façon d'étudier l'hypersensibilité émotionnelle, c'est avec le questionnaire de réactivité émotionnelle ERS (*Emotion Reactivity Scale*, Nock et al., 2008). A notre connaissance, aucune étude n'a étudié le développement de la réactivité émotionnelle des HPI avec ce questionnaire. Les études avec des mesures électrophysiologiques sont rares et indiquent des résultats contradictoires : les adolescents HPI n'ont pas un ressenti émotionnel plus intense en visionnant des séquences de films chargés émotionnellement (Brasseur, 2013) mais ils ont plus de réactions physiologiques au stress après une situation d'échec (Roberts & Lovett, 1994). Les résultats des recherches récentes suggèrent que les HPI n'auraient pas plus de difficultés que les non HPI sur diverses caractéristiques socio-émotionnelles en les comparant aux non HPI (Zeidner & Shani-Zinovich, 2011), et notamment en ce qui concerne l'hypersensibilité (Brasseur, 2013 ; Winkler, 2016 ; Yamacsi-Guzel & Akarsu, 2006).

L'objectif de cette étude est donc d'apporter un nouvel éclairage au débat en cours, en explorant le développement de la réactivité émotionnelle et de la régulation émotionnelle selon les capacités intellectuelles. Pour cela, nous utilisons des questionnaires auto-rapportés évaluant les difficultés de régulation des émotions (DERS-18), les stratégies de régulation des émotions (ERQ-CA) et la réactivité émotionnelle (ERS). Pour chacun des questionnaires nous analysons les réponses des participants enfants et adolescents HPI et non HPI répartis en 3 groupes d'âge : 9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans.

Si les HPI ont un développement cognitif précoce et ont de meilleures compétences émotionnelles (Francis et al., 2016 ; Martin et al., 2009 ; Zeidern et al., 2005 ; Zeidner & Shani-Zinovich, 2011), alors il est possible que les HPI aient des scores moins élevés aux questionnaires DERS et au questionnaire ERS et des scores plus élevés aux questionnaires ERQ-CA par rapport aux non HPI, et ce, à tout âge. Toutefois, si les HPI se distinguent de la norme par des caractéristiques affectives particulières, notamment une sensibilité émotionnelle plus forte (Siaud-Facchin, 2012) ou une anxiété plus importante (Kermarrec et al., 2020), alors les HPI devraient avoir des scores plus élevés à ces questionnaires, et ce, à tout âge. Enfin, s'il n'existe pas de différences entre les deux populations (Brasseur, 2013 ; Winkler, 2016 ; Peyre et al., 2016 ; Guénolé et al., 2013a), les scores aux différents questionnaires devraient être similaires, et ce, à tout âge.

Méthode

Participants

Pour cette étude, nous avons recruté 211 participants âgés entre 9 et 20 ans. Le critère d'inclusion des participants HPI est un quotient intellectuel supérieur ou égal à 125 mesuré avec les échelles Wechsler (WISC-IV : Wechsler, 2005 ; WISC-V : Wechsler, 2016 ; WAIS-IV : Wechsler, 2011) par un psychologue. Le groupe HPI est constitué de 71 participants recrutés au sein des centres de psychologie Cogito'Z (n = 14), par le réseau du DIEHP (Dispositif d'accueil des Elèves à Haut Potentiel) (n = 3), par l'association Mensa France (n = 5) et au sein d'une école française spécialisée dans l'accueil d'élèves tout-venant et d'élèves HPI du primaire au lycée (n = 49). Le groupe contrôle est composé de 140 participants. Ils ont été recrutés au sein de deux écoles privées françaises dont l'une est la même que celle du groupe de HPI recrutés en école (n = 50).

Afin de contrôler le niveau intellectuel de nos deux groupes, nous avons utilisé les subtests de similitudes et de matrices (WISC-V : Wechsler, 2016 ; WAIS-IV : Wechsler, 2011) pour tester le niveau intellectuel verbal et fluide des participants. Ces deux subtests sont les plus fiables pour identifier le HPI (Aubry & Bourdin, 2018). Un total de 31 participants du groupe contrôle dont les scores étaient inférieurs ou supérieurs à la normalité à l'un des deux subtests (c.-à-d., des notes standard égales ou inférieures à 7 ou égales ou supérieures à 13), dont 7 pour lesquels une erreur de programmation ne nous a pas permis de collecter de telles données, a été exclu de l'étude. Une différence significative a été trouvée pour le subtest de similitudes entre le groupe HPI et le groupe contrôle, $F(1,176) = 66,30, p < .001, \eta^2 = 0,27$. Les participants du groupe HPI avaient bien de meilleurs scores ($M = 11,72, ET = 2,63$) que les

participants du groupe contrôle ($M = 9,14$, $ET = 1,61$) en intelligence verbale. Une différence significative a également été trouvée pour le subtest de matrices entre le groupe HPI et le groupe contrôle, $F(1,176) = 13,68$, $p < .001$, $\eta^2 = 0,07$. Les participants du groupe HPI avaient bien de meilleurs scores ($M = 11,13$, $ET = 2,53$) que les participants du groupe contrôle ($M = 9,92$, $ET = 1,84$) en intelligence fluide.

Nous avons donc analysé les données de 180 participants, répartis selon trois groupes d'âge :

- Groupe 9 – 11 ans
 - 21 participants HPI (4 filles, 20 droitiers, $10,19 \pm 0,75$ ans),
 - 21 participants contrôle (11 filles, 18 droitiers, 11 ans)
- Groupe 12 – 14 ans :
 - 29 participants HPI (8 filles, 26 droitiers, $12,86 \pm 0,83$ ans)
 - 60 participants contrôle (34 filles, 55 droitiers, $13,33 \pm 0,73$ ans)
- Groupe 15 – 20 ans :
 - 21 participants HPI (6 filles, 20 droitiers, $15,86 \pm 1,06$ ans)
 - 28 participants contrôle (16 filles, 24 droitiers $15,93 \pm 1,12$ ans)

Tous étaient de langue maternelle française. L'étude a été menée en accord avec les normes nationales et internationales qui régissent la participation d'humains à la recherche. Le Comité d'Ethique de la Recherche de l'Université de Paris Cité a émis un avis favorable au projet de recherche le 16/06/2020 (N° IRB : 00012020-35) (cf. Annexe 1). Des livrets explicatifs ont été distribués à chacun des participants enfant et adolescent afin de les informer sur le propos de la recherche scientifique, le but de cette étude, sur leur consentement et leurs droits (cf. Annexe 2). La participation se faisait sur la base du volontariat, après l'obtention d'un consentement éclairé des participants majeurs ainsi que des participants mineurs et de leurs responsables légaux.

Matériel

Pour évaluer le développement de la régulation émotionnelle et de la réactivité émotionnelle de l'enfance à l'adolescence en fonction des capacités intellectuelles, les participants ont répondu à un questionnaire mesurant les difficultés de régulation émotionnelle (DERS-18), à un questionnaire mesurant l'utilisation des stratégies de régulation émotionnelle (ERQ-CA) et à un questionnaire mesurant la réactivité émotionnelle (ERS).

Difficulties in Emotion Regulation Scale – 18 items (DERS-18). Il s'agit de la version courte du questionnaire original DERS (Gratz & Roemer, 2004) adaptée pour les jeunes adolescents et les adultes (Victor & Klonsky, 2016). Dix-huit items sont présentés aux participants et sont répartis en 6 sous-dimensions (3 items par sous-dimension) mesurant différentes difficultés de régulation des émotions (c'-à-d., difficultés à s'engager dans des activités dirigées vers un but en ressentant des émotions négatives, difficultés à gérer ses émotions en ressentant des émotions négatives, manque de conscience de ses émotions, manque de clarté sur la nature de ses émotions, manque de stratégies de régulation émotionnelle et difficultés à accepter ses émotions). Les participants évaluent sur une échelle de Likert en cinq points la fréquence de chaque situation (1 = presque jamais, 2 = parfois, 3 = la moitié du temps, 4 = la plupart du temps, 5 = toujours). Un score total est calculé et un score élevé indique une plus grande difficulté à réguler ses émotions.

Emotion Regulation Questionnaire for Children and Adolescents (ERQ-CA). Il s'agit de la version révisée de l'ERQ (Gross & John, 2003) adaptée pour les enfants et les adolescents (10-18 ans). Ce questionnaire permet de mesurer l'utilisation préférentielle de deux types de stratégies de régulation émotionnelle. Au total dix items sont présentés aux participants, six items servent à mesurer la stratégie de la réévaluation cognitive (p. ex., « *quand je veux me*

sentir mieux par rapport à quelque chose, je change ma façon d'y penser ») et quatre autres items évaluent la suppression expressive (p. ex., « *je contrôle mes émotions en ne les montrant pas* »). Les participants évaluent sur une échelle de Likert en cinq points leur degré d'accord avec chaque affirmation (1 = pas du tout d'accord, 2 = un peu d'accord, 3 = moyennement d'accord, 4 = plutôt d'accord, 5 = tout à fait d'accord). Un score pour chaque stratégie est calculé et un score élevé indique une plus forte utilisation de la stratégie.

Emotion Reactivity Scale (ERS). Il s'agit d'un questionnaire adapté pour les jeunes adolescents et les adultes permettant d'évaluer l'expérience individuelle en matière de réactivité émotionnelle (Nock et al., 2008). Au total 21 items sont présentés aux participants et évaluent trois aspects de la réactivité émotionnelle : la sensibilité (8 items, p. ex., « *Mes sentiments me font facilement souffrir* »), l'intensité (10 items, p. ex., « *Quand je ressens des émotions, je les éprouve très fortement/intensément* ») et la persistance (3 items, p. ex., « *Quand quelque chose me bouleverse, je peux ne penser qu'à cela pendant un long moment* »). Les participants évaluent sur une échelle de Likert en quatre points leur degré d'accord avec chaque affirmation (0 = ça ne me correspond pas du tout, 1 = ça me correspond un peu, 2 = ça me correspond assez, 3 = ça me correspond beaucoup, 4 = ça me correspond parfaitement). Un score total est calculé et un score élevé indique une plus forte réactivité émotionnelle.

Procédure

Les participants recrutés en dehors des écoles ont réalisé l'expérience en ligne sur un ordinateur, individuellement dans un endroit calme. L'expérimentation en ligne a permis de réduire les contraintes temporelles et géographiques par rapport aux expérimentations en

laboratoire, et ainsi d'attirer un échantillon plus grand et plus diversifié de participants HPI. De plus, les résultats obtenus en laboratoire ont été répliqués avec des expériences en lignes à des tâches mesurant les fonctions exécutives (FE) (Barnhoorn, 2015 ; Crump et al., 2013), validant la fiabilité de l'expérimentation en ligne. Les participants recrutés dans les écoles ont réalisé la même expérience, individuellement, dans une salle au calme au sein de leur établissement scolaire, sur un ordinateur et sous la surveillance d'un adulte responsable (*i.e.* au moins un chercheur ou un professeur). L'expérience a été créée et diffusée à tous les participants à l'aide du logiciel en ligne Gorilla Experiment Builder (Cauldron Science, 2016). Il a été choisi pour sa praticité et sa précision pour l'enregistrement des temps de réponse en ligne, indépendamment du système d'exploitation et du type d'appareil utilisé (Anwyl-Irvine et al., 2019 ; 2021).

Les trois questionnaires de régulation et de réactivité émotionnelle font partis d'un protocole expérimental plus large qui comprend également des tâches mesurant les FE. Les résultats aux tâches évaluant les FE sont développés dans les études suivantes (*cf.* Etude 2 ; Etude 3). Au total, les participants doivent réaliser 4 sessions de 30 minutes chacune au cours desquelles ils effectuent des tâches mesurant les FE et complètent les questionnaires de régulation et de réactivité émotionnelle. Les tâches et les questionnaires sont présentés avec le même ordre fixe pour tous les participants afin de minimiser la variabilité interindividuelle causée par un effet d'ordre.

Chaque session démarre avec des instructions générales pour informer les participants sur les dispositions à tenir avant de se lancer dans l'expérience, à savoir : être assis confortablement et au calme, réaliser les tâches seul et rester attentif. Puis, les tâches s'enchaînent les unes après les autres (*cf.* figure 9). Les participants peuvent choisir librement de faire des pauses entre chaque tâche, ce qui peut faire varier le temps de passation total

entre les participants. Pour les participants en ligne, les sessions sont espacées automatiquement d'un délai minimal de 12h. Ils reçoivent une alerte par e-mail à chaque fois qu'une nouvelle session est ouverte. Pour les participants en école, c'est le chercheur qui contrôle le délai entre chaque session en fonction des créneaux proposés par les établissements. Un délai de 12h n'a pas pu être toujours respecté pour certains participants en école.

Afin de contrôler le niveau de motivation du participant tout au long de l'expérimentation, chaque session n'excède pas trente minutes de passation. L'attention du participant est également contrôlée à l'aide d'un test de contrôle attentionnel. Au cours de chaque session, le participant doit observer une photo de paysages et à la fin de chaque session, il doit identifier parmi une proposition de 4 photos celle qu'il a vu précédemment. Enfin, le participant est alerté au début de chaque session sur la nécessité de rester bien attentif et il est informé que ses données seront perdues s'il quitte une session en cours.



Figure 9. Représentation schématique du déroulement de l'expérimentation. Chaque session démarre avec des instructions générales, puis les tâches s'enchaînent les unes après les autres pour une durée d'expérimentation par session n'excédant pas une demi-heure. Les participants peuvent choisir librement de faire des pauses entre chaque tâche. Un test de contrôle de l'attention est présenté à chaque session. Les sessions sont espacées d'un délai minimal de 12h pour les participants en ligne. Pour les participants en école, c'est le chercheur qui contrôle le délai entre chaque session.

Résultats

Les données ont été traitées et analysées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2017) et des packages suivants (par ordre alphabétique) : *dplyr* (Wickham et al., 2020), *ez* (Lawrence, 2016), et *tidyr* (Wickham & Henry, 2020). Des analyses bayésiennes ont également été utilisées pour quantifier les preuves contre (BF10) ou pour (BF01) l'hypothèse nulle (Jarosz & Wiley, 2014). Les analyses bayésiennes ont été réalisées à l'aide du logiciel JASP (JASP Team, 2022).

DERS-18

Le questionnaire DERS permet de mesurer les difficultés de régulation des émotions. Nous avons calculé pour chaque participant un score total qui correspond à la moyenne des réponses données aux items par le participant, de sorte qu'un score élevé indique une plus grande difficulté à réguler ses émotions.

Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur le score total, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 2,92, p = .232$. La preuve de cette absence d'interaction est forte, $BF_{01} = 28,47$, ce qui signifie que l'effet des capacités intellectuelles ne varie pas en fonction de l'âge quant aux difficultés de régulation des émotions. L'effet principal du groupe QI n'est pas significatif, $X^2(1) = 0,50, p = .480$, et de l'âge non plus, $X^2(2) = 3,62, p = .163$.

ERS

Le questionnaire ERS permet d'évaluer l'expérience individuelle en matière de réactivité émotionnelle. Nous avons calculé pour chaque participant un score total qui correspond à la moyenne des réponses données aux items par le participant, de sorte qu'un score élevé indique une plus forte réactivité émotionnelle.

Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur le score total, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) comme facteurs fixes, a montré que

l'interaction Groupe QI x Age est significative, $X^2(2) = 6,54$, $p = .038$, ce qui signifie que la réactivité émotionnelle est différente selon les capacités cognitives à travers les âges. Il existe un effet principal de l'âge, $X^2(2) = 12,08$, $p = .002$, mais pas du groupe QI, $X^2(1) = 0,38$, $p = .537$. Les analyses *post-hoc* pour comparaison appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent qu'il n'y a pas de différences significatives pour le groupe HPI entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = 0,04$, $p = 1.00$, ni entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = 0,96$, $p = .793$. En revanche pour le groupe contrôle, il existe un effet quadratique. La différence est significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -2,82$, $p = .019$ et entre les 12-14 ans et les 15-20 ans, $Z = -2,74$, $p = .024$, tels que les participants du groupe contrôle âgés de 12-14 ans expriment avoir une réactivité émotionnelle moins importante qu'à 9-11 ans et qu'à 15-20 ans.

ERQ-CA

Le questionnaire ERQ-CA permet de mesurer l'utilisation préférentielle de deux types de stratégies de régulation émotionnelle. Nous avons calculé pour chaque participant un score pour chacune des stratégies (*i.e.* la réévaluation cognitive et la suppression expressive) qui correspond à la moyenne des réponses données par le participant à chacun des items évaluant l'une ou l'autre stratégie, de sorte qu'un score élevé indique une plus forte utilisation de la stratégie de régulation.

Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur le score total de la réévaluation cognitive, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 0,14$, $p = .932$. La preuve de cette absence d'interaction est importante, $BF_{01} = 5,72$, ce qui signifie

que l'effet des capacités intellectuelles ne varie pas en fonction de l'âge quant à l'utilisation de la stratégie de réévaluation cognitive. L'effet principal du groupe QI n'est pas significatif, $X^2(1) = 0,05$, $p = .821$, et de l'âge non plus, $X^2(2) = 2,02$, $p = .365$.

Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur le score total de la *suppression expressive*, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 1,11$, $p = .574$. La preuve de cette absence d'interaction est forte, $BF_{01} = 24,83$, ce qui signifie que l'effet des capacités intellectuelles ne varie pas en fonction de l'âge quant à l'utilisation de la stratégie de suppression expressive. L'effet principal du groupe QI n'est pas significatif, $X^2(1) = 0,03$, $p = .864$, mais l'effet de l'âge est significatif, $X^2(2) = 19,79$, $p < .001$.

Tableau 1. Moyennes et écarts-types (entre parenthèses) aux questionnaires DERS, ERS et ERQ-CA, selon le groupe d'âge et le groupe QI.

Groupes âge	Groupes QI	DERS	ERS	ERQ-CA	
				Réévaluation cognitive	Suppression expressive
9 - 11 ans	Groupe HPI	2,93 (1,45)	2,00 (1,38)	3,37 (1,35)	2,37 (1,31)
	Groupe Contrôle	3,05 (1,39)	2,15 (1,29)	3,43 (1,18)	2,42 (1,29)
12 – 14 ans	Groupe HPI	2,90 (1,40)	1,99 (1,50)	3,02 (1,37)	2,74 (1,43)
	Groupe contrôle	2,79 (1,26)	1,63 (1,24)	3,15 (1,09)	2,72 (1,34)
15 – 20 ans	Groupe HPI	2,69 (1,47)	1,77 (1,48)	3,12 (1,28)	3,82 (1,19)
	Groupe contrôle	2,93 (1,29)	2,10 (1,28)	3,32 (1,08)	3,49 (1,23)

Discussion

L'objectif de cette première étude était d'explorer le développement de la régulation émotionnelle (DERS et ERQ-CA) et de la réactivité émotionnelle (ERS) selon les capacités intellectuelles à l'aide de questionnaires auto-remplis dont les consignes invitent le participant à répondre selon sa propre expérience personnelle.

De façon intéressante, nous avons trouvé qu'il n'existe pas de différence développementale entre le groupe HPI et le groupe contrôle concernant les difficultés de régulation des émotions (DERS-18). Autrement dit, les HPI ne sont pas plus en difficultés pour réguler leurs émotions que les participants au développement typique, et ce à tout âge. Nous n'avons également pas trouvé de différence significative concernant l'utilisation des deux stratégies (la réévaluation cognitive et la suppression cognitive) (ERQ-CA) entre le groupe HPI et le groupe contrôle. Ainsi, la fréquence d'utilisation de ces deux types de stratégies ne diffère pas entre le groupe HPI et le groupe contrôle, et ce, à tout âge. Li et al. (2020) ont également trouvé qu'il n'existait pas de différence significative à ce même questionnaire entre un groupe d'enfant HPI et un groupe contrôle, tous deux âgés de 10 ans en moyenne. Nos résultats confirment qu'il n'existe pas de différence entre les HPI et les non HPI dès 9 ans et jusqu'à 15-20 ans. Enfin, l'interaction est significative concernant la réactivité émotionnelle (ERS). Il existe un effet quadratique significatif pour le groupe contrôle, les adolescents au développement typique de 12-14 ans ont une réactivité émotionnelle moins forte que les 9-11 ans et les 15-20 ans. Toutefois, aucune différence n'existe au cours du développement pour le groupe HPI. Il n'existe également pas de différences entre les deux groupes QI, les HPI ne rapportent pas une réactivité émotionnelle plus importante que leurs pairs au développement typique.

Ces résultats valident l'hypothèse qui évoque que les enfants et les adolescents HPI n'ont pas plus de difficultés socio-émotionnelles que la population générale (Brasseur, 2013 ; Winkler, 2016 ; Peyre et al., 2016 ; Guénoles et al., 2013a). Cette hypothèse est d'ailleurs celle qui semble faire le plus consensus aujourd'hui pour décrire des enfants et des adolescents HPI avec également l'hypothèse évoquant de meilleures compétences émotionnelles (Francis et al., 2016 ; Martin et al., 2009 ; Zeidern et al., 2005). D'après cette dernière hypothèse, les HPI auraient un accès plus précoce et aisé au vocabulaire et aux concepts et ils seraient dès lors mieux équipés que la population générale pour comprendre les causes et les conséquences de leurs états émotionnels, et ainsi mieux les réguler. Nos résultats ne vont pas dans ce sens puisque les HPI de notre échantillon ne semblent pas avoir moins de difficultés pour s'autoréguler que la population générale. Ils ne semblent pas non plus utiliser plus préférentiellement la réévaluation cognitive (*i.e.* la stratégie la plus élaborée qui consiste à modifier la perception que nous avons d'une situation afin de changer les émotions qu'elle génère) ou plus préférentiellement la suppression expressive (*i.e.* la stratégie qui consiste à éviter mentalement les émotions) que la population générale. Compte-tenu de cette absence de différence avec la population générale concernant les difficultés de régulation et l'utilisation des stratégies de régulation, durant l'enfance et l'adolescence, on pourrait supposer que les HPI ne présentent pas un risque accru de développer plus tard des troubles psycho-affectifs en comparaison à la population générale.

Concernant la réactivité émotionnelle, on ne s'intéresse plus aux difficultés ressenties ni aux stratégies de régulation de la personne mais plutôt à la manière de réagir quotidiennement face aux émotions. A notre connaissance, peu d'études ont visé l'exploration de la réactivité émotionnelle chez les HPI. La notion de réactivité émotionnelle est proche de celle d'intensité affective, d'hyperstimulabilité et d'hypersensibilité qui peuvent

être définies comme une sensibilité accrue à toute stimulation émotionnelle. Plusieurs études ont montré que les enfants et les adolescents HPI présenteraient une hyperstimulabilité plus importante, notamment sur le plan intellectuel, imaginaire et émotionnel (Daniels & Piechowski 2009 ; Piechowski & Colangelo, 1984 ; Miller et al., 1994). Cliniquement, l'hypersensibilité est souvent rapportée par les patients HPI (Siaud-Facchin, 2012). Toutefois, d'autres études montrent que l'hyperstimulabilité émotionnelle ne serait pas nécessairement propre au HPI (Winkler, 2016 ; Yamacsi-Guzel & Akarsu, 2006). Notre étude basée sur un auto-questionnaire, rend compte également d'une réactivité émotionnelle similaire entre les HPI et le groupe contrôle. Contrairement à ce qui a longtemps été qualifié comme une caractéristique du HPI, la réactivité émotionnelle n'est pas identifiée comme spécifique au HPI, dans notre échantillon en tout cas. Notre étude invite ainsi à nuancer les propos des cliniciens qui rapportent une hypersensibilité émotionnelle systématique chez les HPI.

Nos résultats indiquent toutefois que dans la population au développement typique, les adolescents de 12-14 ans rapportent ressentir avec moins d'intensité leurs émotions en comparaison des plus jeunes (9-11 ans) et des plus âgés (15-20 ans). Ce résultat pourrait être considéré comme étonnant compte-tenu d'une sensibilité accrue à la prise de risque ou à l'influence des pairs spécifiquement à l'adolescence (Albert & Steinberg, 2011), résultant d'un déséquilibre entre un réseau sous-cortical émotionnel hyperactif et un réseau préfrontal encore immature (Somerville et al., 2011). Toutefois, on peut supposer que par souci de désirabilité sociale face à ces questionnaires auto-remplis, les adolescents de 12-14 ans ont pu minimiser d'autant plus leurs ressentis se traduisant dans les scores par une réactivité émotionnelle moins forte.

Des études supplémentaires pourraient être menées avec un échantillon plus jeune (âge < 9 ans) et plus âgé (âge > 20 ans) afin de confirmer nos résultats dans une période développementale plus large. Au-delà, il serait intéressant d'envisager une étude longitudinale et en intra-sujet, ces études permettent de caractériser plus fidèlement le développement d'une population en évitant l'effet de la variabilité inter-sujet.

Notre expérience comporte au moins trois limitations majeures. La première est liée à la composition de notre échantillon. Les participants HPI ont tous effectué un bilan psychologique, ce qui implique qu'ils aient ressenti un jour le besoin de consulter auprès d'un spécialiste des maladies mentales. Ceci constitue une différence notable, par rapport à l'échantillon contrôle, qui n'a pas été recruté sur la base d'un bilan psychologique. Il pourrait être pertinent de recruter un échantillon contrôle sur cette base-là ou alors *a minima* de contrôler le facteur de la santé mentale en proposant une évaluation brève des difficultés d'ordre psychologique à l'ensemble des participants. En outre, la collecte de données socio-démographiques pourrait permettre d'analyser leurs influences sur le lien avec les capacités intellectuelles et les capacités de régulation émotionnelle.

La deuxième limite est l'absence de standardisation dans la passation des subtests de similitudes et de matrices au cours de l'expérience. Les participants ont répondu aux subtests sur ordinateur, en individuel sans la présence d'un psychologue pour accompagner et respecter certaines règles de passation ; par exemple la possibilité d'avoir des relances au subtest de similitudes. En outre, les participants ont répondu en tapant sur un clavier d'ordinateur. La validité des notes standards identifiées pour qualifier le niveau intellectuel chez les participants est donc discutable. Il serait intéressant de standardiser et de généraliser la passation sur ordinateur des subtests de similitudes et de matrices, validés comme mesures

fiables pour identifier le HPI (Aubry & Boudin, 2018). Cela permettrait de faciliter l'identification du niveau intellectuel avec une version courte pour de futures recherches.

La dernière limite concerne les conditions de passation. Pour les participants ayant réalisé l'expérience en ligne, nous ne pouvions pas contrôler l'environnement dans lequel l'expérience a été effectuée par le participant alors que les participants en école ont réalisé l'expérience dans une salle sous la surveillance d'un adulte responsable. Pour pallier ce problème, les participants en ligne et leurs représentants légaux ont été largement informés du besoin de réaliser l'expérience individuellement dans un endroit au calme. De plus, un délai minimal de 12h entre chaque session était automatique pour les participants en ligne alors que pour les participants en école ce délai a parfois été raccourci en fonction des créneaux proposés par les établissements. Ces différences dans les conditions de passation entre ceux qui étaient en ligne et ceux qui étaient en école peuvent avoir une incidence sur l'analyse des résultats. Des analyses complémentaires pourraient être menées afin de vérifier cela.

Pour terminer, les résultats vont donc dans le sens d'une absence de différences entre les HPI et la population générale à des auto-questionnaires mesurant les difficultés de régulation émotionnelle, les stratégies de régulation utilisées et la réactivité émotionnelle. Des études supplémentaires pourraient être menées avec un échantillon plus jeune (âge < 9 ans) et plus âgé (âge > 20 ans) afin de confirmer nos résultats au cours d'une période développementale plus large. Au-delà, il serait intéressant d'envisager une étude longitudinale et en intra-sujet. Ces études permettent de caractériser plus fidèlement le développement d'une population en évitant l'effet de la variabilité inter-sujet.

De plus, les auto-questionnaires ne permettent pas une évaluation instantanée de l'influence des émotions sur les processus en charge de l'auto-régulation. Les fonctions

exécutives (FE) sont connues pour jouer un rôle prépondérant dans le développement des capacités de régulation de la pensée, des comportements, et des émotions (Diamond, 2013 ; Miyake et al., 2000). Un autre moyen d'étudier les capacités d'auto-régulation est d'explorer l'interaction complexe entre l'émotion et les processus cognitifs sous-jacents à la régulation, en évaluant l'influence des émotions sur les FE. Il reste donc à déterminer s'il existe une différence de patterns développementaux entre les FE selon le contexte émotionnel et selon les capacités intellectuelles. Cette thématique est développée dans l'étude 2 et 3 de cette thèse.

Etude

2

Développement des fonctions exécutives froides et chaudes & Haut Potentiel Intellectuel

Hilscher, E., Boissin, E., Menu, I., Houdé, O., & Borst, G.

Résumé

Les HPI présentent un développement précoce des fonctions exécutives (FE : contrôle inhibiteur (CI), mémoire de travail (MdT), et flexibilité mentale). Un moyen d'étudier plus spécifiquement les capacités de régulation est d'analyser l'influence directe des émotions sur ces processus exécutifs en charge de la régulation des comportements et des émotions. Dans cette deuxième étude, nous avons étudié le développement des FE à l'aide de plusieurs tâches les mesurant (Stroop, Stop signal, N-back et Alternate task-switching) dans des contextes dénués d'émotions (FE froides) et chargés émotionnellement (FE chaudes) entre 9 et 20 ans, en comparant les performances et les temps de réaction des individus HPI avec ceux des individus ayant un QI dans la norme. Les résultats montrent que les trajectoires développementales des FE froides et chaudes sont différentes selon les capacités intellectuelles. De manière générale, pour tous les participants, les émotions affectent les performances des FE (à l'exception de la Stroop pour laquelle le contexte émotionnel n'a pas d'incidence chez les HPI). Toutefois, les HPI sont moins impactés précocement par les émotions. Quelle que soit la charge émotionnelle, les HPI disposent généralement de compétences exécutives plus efficaces et un développement plus précoce comparé à leurs pairs pour qui le CI et la MdT chaudes se développent plus tardivement que le CI et la MdT froides, conformément au modèle de Zelazo. La flexibilité mentale a un développement plus tardif par rapport aux deux autres FE dans la population au développement typique.

Mots clés : Haut potentiel intellectuel, Fonctions exécutives froides et chaudes, Emotion, Développement

Introduction

Les personnes à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) sont définies comme des personnes ayant des compétences intellectuelles supérieures à la norme. D'un point de vue cognitif, le développement des HPI est généralement qualifié de précoce (Steiner & Carr, 2003 ; Vaivre-Douret, 2011). Les enfants HPI disposent par exemple d'aptitudes langagières précoces, des capacités de mémorisation plus importantes ou encore d'une vitesse de traitement plus rapide (Vaivre-Douret, 2004 ; 2011). Cette avance développementale leur permet d'être généralement mature plus précocement dans différents domaines, notamment en raisonnement (Kokis et al., 2012) ou encore dans les apprentissages (Calero et al., 2011).

De manière générale, les fonctions exécutives (FE : contrôle inhibiteur (CI), mémoire de travail (MdT) et flexibilité mentale, Miyake et al., 2000) supervisent l'exécution de ces grands domaines cognitifs. Ce sont un ensemble de processus cognitifs de haut niveau essentiels pour la régulation de la pensée, des comportements et des émotions dans l'objectif d'atteindre un but (Diamond, 2013 ; Miyake et al., 2000). Elles sont donc cruciales pour activer et réguler l'ensemble de l'activité cognitive de notre cerveau.

Beaucoup d'études rapportent un développement précoce et plus performant des FE froides, c'est-à-dire les FE mesurées dans un contexte émotionnellement neutre, chez les HPI par rapport à leurs pairs au développement typique (*e.g.* Arffa, 2007). Toutefois, peu d'études ont cherché à explorer le lien entre les capacités cognitives et les FE chaudes, c'est-à-dire les FE qui sont mesurées dans un contexte émotionnellement chargé (Zelazo & Carlson, 2012). Ainsi, il reste à explorer si les enfants et les adolescents HPI ont de meilleures performances ou non que leurs pairs au développement typique à des tâches mesurant les FE chaudes.

Prenons l'exemple du contrôle inhibiteur (CI), processus central du développement cognitif et émotionnel (*cf.* Introduction, Chapitre 1). Il permet de résister aux automatismes, tentations ou interférences et de s'adapter aux situations complexes (Diamond, 2013). Selon le modèle de Houdé (1995), l'inhibition cognitive serait nécessaire pour réguler l'activation des différentes stratégies dans des situations non familières et conflictuelles. Houdé propose une théorie selon laquelle les processus inhibiteurs sont au cœur du développement. En effet, se développer c'est apprendre à détecter les conflits et à inhiber l'heuristique erronée, pour activer l'algorithme exact adapté au contexte. Les capacités de CI, sous-tendues par le cortex préfrontal, se développent progressivement de l'enfance jusqu'à la fin de l'adolescence (Luna et al., 2010). Il existe des différences développementales des capacités de CI selon les niveaux intellectuels (Harnishfeger & Bjorklund, 1994). En effet, dès l'enfance les HPI sont plus rapides que leurs pairs non HPI, lors d'une tâche d'inhibition automatique qui requiert peu d'effort mental (*i.e.* déplacer un joystick dans la direction d'un X correspondant à la couleur indiquée et ignorer un deuxième X d'une couleur différente) et ils sont plus rapides et résistent mieux à l'interférence à une tâche de Stroop couleur (Stroop, 1935, *cf.* Introduction, Chapitre 1) dans laquelle ils doivent inhiber l'information non pertinente (*i.e.* couleur dénommée par le mot) pour traiter l'information pertinente (*i.e.* la couleur de l'encre) (Johnson et al., 2003). A l'adolescence, ils sont plus rapides et plus performants que leurs pairs non HPI à une tâche de Flanker (Liu et al., 2011 ; Liu et al., 2016). Ils sont également plus performants lorsqu'ils doivent inhiber leur réponse motrice à une tâche de Go/No-Go (Duan et al., 2009). Enfin, les enfants HPI sont plus performants à la tâche SRTC (*Self-regulation and concentration test*, *cf.* Introduction, Chapitre 1) qui évalue leur capacité à résister à la tentation, à ignorer les distractions et à maintenir leur action (Calero et al., 2007).

La MdT est définie par la capacité à maintenir et à manipuler mentalement des informations (*cf.* Introduction, Chapitre 1). Cette FE est un processus central du développement intellectuel (Ackerman, 2005 ; Duan et al., 2010 ; Friedman et al., 2006). Elle se développe lentement avec l'âge dans la population générale (Crone et al., 2006 ; Pascual-Leone, 2000). Dès l'enfance, les HPI se distinguent de leurs pairs au développement typique par une plus grande capacité en MdT verbale et visuelle mesurée par différentes tâches (Aubry et al., 2021 ; Calero et al., 2007 ; Hoard et al., 2008 ; Johnson et al., 2003 ; Rodriguez-Naveiras et al., 2019 ; Viana-Saenz et al., 2020). Autrement dit, la MdT semble être une caractéristique importante du développement du HPI.

La flexibilité mentale, c'est-à-dire la capacité à s'adapter aux changements dans notre environnement, permet de changer de perspective, de changer de point de vue, et d'envisager de nouvelles stratégies (*cf.* Introduction, Chapitre 1). La flexibilité mentale engage le CI pour inhiber le point de vue ou la stratégie et la MdT pour pouvoir traiter et manipuler plusieurs points de vue ou stratégies simultanément. Son développement dans une population au développement typique est ainsi plus tardif que le CI et la MdT (Davidson et al., 2006 ; Diamond, 2013). Cette FE est une caractéristique du fonctionnement cognitif souvent attribuée aux HPI (Arffa, 2007). Cette caractéristique a notamment été identifiée en évaluant les compétences des HPI lorsqu'ils résolvent des problèmes (Jausovec, 1991 ; Steiner & Carr, 2003 ; Shore, 2000). Ils sont plus flexibles dans l'utilisation des stratégies, leur permettant d'être plus compétents pour résoudre des problèmes de logique. Au-delà, les enfants HPI sont plus rapides que leurs pairs au développement typique au test TMT (*Trail Making Test* ; *cf.* Introduction, Chapitre 3), évaluant la flexibilité mentale (Johnson et al., 2003). Enfin, les adolescents HPI sont plus rapides à une tâche de type *task-switching* (*cf.* Introduction, Chapitre 1) que leurs pairs au développement typique (Duan & Shi, 2014). L'ensemble de ces

résultats suggèrent que les processus exécutifs sous-jacents à la régulation des émotions, des pensées et des comportements sont plus efficaces chez des individus HPI.

Bien que ces études sur les FE froides (*i.e.* mesurées dans un contexte émotionnellement neutre) renseignent sur les compétences exécutives des individus HPI et par extension sur leurs capacités d'auto-régulation, elles ne permettent pas d'étudier plus finement l'influence des émotions sur ces processus. Au sein de la population au développement typique, l'étude des FE chaudes a récemment fait l'objet d'une attention particulière car les FE suivent des trajectoires développementales différentes selon la charge émotionnelle du contexte. Deux principaux modèles ont été proposés pour rendre compte de ces différences. Selon le modèle de Zelazo (Prencipe et al., 2011 ; Zelazo & Carlson, 2012), les FE chaudes et froides présentent un développement linéaire, et le développement des FE chaudes est retardé par rapport à celui des FE froides (*e.g.* la réponse inhibitrice ; Salvia et al., 2021). À l'inverse, le modèle neurodéveloppemental de Casey (Casey et al., 2008 ; Casey, 2015 ; Casey & Caudle, 2013) postule pour un développement non-linéaire des capacités du contrôle inhibiteur chaud à l'adolescence, résultant d'un déséquilibre entre un réseau sous-cortical émotionnel hyperactif (*i.e.* une activité striatale ventrale plus forte que les enfants et les adultes) et un réseau préfrontal encore immature pendant cette période (*e.g.* le contrôle des interférences ; Aïte et al., 2018). À ce jour, peu d'études ont exploré le lien entre les capacités intellectuelles et le développement des FE chaudes.

Il existe des preuves indirectes suggérant que les HPI pourraient avoir des compétences supérieures à des tâches mesurant les FE chaudes. Par exemple, certaines études montrent que les adolescents HPI témoignent d'une meilleure compréhension et d'une meilleure gestion des émotions (Test d'intelligence émotionnelle de Mayer–Salovey–

Caruso, Zeidner et al., 2005). D'autres études montrent que les adolescents HPI traitent plus rapidement une tâche de catégorisation des émotions et ont une meilleure détection des expressions émotionnelles (Liu et al., 2015a, 2015b). De plus, quand ils répondent à une tâche avec des informations affectives, les adultes HPI ont une attention sélective plus rapide (Fiori & Antonakis, 2012). Nous pouvons donc présumer que ce traitement plus rapide des informations émotionnelles par les HPI, couplé à de meilleures compétences exécutives, leur permettent in fine d'être plus performants à des tâches mesurant les FE chaudes par rapport aux non HPI. Certains résultats vont dans le sens de cette hypothèse. Par exemple, dans des jeux avec récompense qui engagent des aspects motivationnels et émotionnels en plus du contrôle de soi (*e.g. Iowa Gambling Task*), les adolescents HPI ont de meilleures performances que les non HPI (Chung et al., 2011 ; Li et al., 2017). Ainsi, les capacités exécutives particulièrement efficaces chez cette population, leurs permettent de mieux résister au contexte émotionnel dans ce type de tâche.

Concernant plus spécifiquement le CI chaud, très peu de recherches ont exploré son développement chez les HPI. Li et al. (2020) ont montré que des enfants HPI âgés de 10 ans commettaient moins d'erreurs que les non HPI dans une tâche émotionnelle de contrôle de l'interférence face aux visages exprimant la peur uniquement (*i.e.* tâche de Stroop version chaude ; *cf.* Introduction, Chapitre 1 et 3), ce qui suggère que les enfants HPI ont un meilleur contrôle de l'interférence dans un contexte émotionnel négatif par rapport aux non HPI. Chez des adolescents HPI de sexe masculin avec des difficultés scolaires et sociales, l'inhibition de la réponse est moins performante que celle du groupe contrôle dans la condition neutre et positive mais, dans la condition tristesse, la performance des HPI est nettement meilleure par rapport à la condition positive, à une tâche de Stop signal chaude (Urban et al., 2018a ; *cf.* Introduction, Chapitre 1 et 3). Dans une autre étude, les auteurs rapportent que l'inhibition

de la réponse des HPI est moins performante par rapport aux non HPI, et ce, d'autant plus si cette inhibition s'opère dans un contexte émotionnel. Ces résultats pourraient soulever l'hypothèse plus générale d'un déficit de l'inhibition de la réponse chez des HPI adolescents de sexe masculin avec des difficultés socio-émotionnelles et notamment face aux émotions (Urban et al., 2018b). Ces résultats ne sont donc pas suffisants pour qualifier le développement du CI chaud au sein de la population HPI. Il reste à déterminer plus finement le développement des deux types de CI chaud dans une population HPI plus large et composée d'enfants et d'adolescents.

De plus, à notre connaissance, aucune étude n'a étudié le lien entre les deux autres FE (*i.e.* la MdT et la flexibilité mentale) et les capacités intellectuelles dans un contexte chargé émotionnellement. L'objectif de cette étude consiste à déterminer s'il existe ou non des différences en termes de trajectoires développementales des FE froides et chaudes selon les capacités intellectuelles. Pour cela, nous mesurons deux types de CI, la MdT et la flexibilité mentale dans des contextes neutres et chargés émotionnellement.

Le contrôle de l'interférence est mesuré avec les tâches de Stroop version froide (*i.e.* neutre émotionnellement) et de Stroop version chaude (*i.e.* chargé émotionnellement) (Aïte et al., 2018 ; *cf.* Introduction, Chapitre 1), dans lesquelles il est demandé aux participants d'inhiber l'information non pertinente (*i.e.* inhiber la lecture du mot) et d'identifier la couleur de l'encre (Stroop froid) ou d'identifier l'émotion sur la photo d'un visage (Stroop chaud). La deuxième évaluation du CI est réalisée avec la tâche Stop Signal version froide et chaude (*e.g.* Salvia et al., 2021 ; *cf.* Introduction, Chapitre 1) permettant de mesurer l'inhibition de la réponse en demandant aux participants de retenir leur réponse motrice (*i.e.* l'identification de l'orientation d'une flèche) lorsqu'ils entendent un « bip » (Stop Signal froid) ou lorsqu'ils

entendent une voix exprimant une émotion négative (Stop Signal chaud). La MdT est mesurée avec la tâche de N-back (*cf.* Introduction, Chapitre 1), version froide et chaude, dans laquelle les participants doivent identifier une photo de visage neutre ou de paysage (N-back froid) ou identifier une photo de visages émotionnels si elle correspond à celle vue deux essais précédemment (N-back chaud). Enfin, la flexibilité mentale est évaluée avec une tâche type Task-Switching (*cf.* Introduction, Chapitre 1) version froide et chaude, dans laquelle il est demandé aux participants d'alterner entre deux stratégies de réponse, d'identifier soit la forme soit la couleur selon la localisation du stimulus (Alternate Task Switching froid) et d'identifier soit la forme soit l'émotion sur un visage selon la localisation du stimulus (Alternate Task Switching chaud).

Pour chacune des tâches, nous analysons les performances et les temps de réaction des participants du groupe HPI et des participants du groupe contrôle répartis en 3 groupes d'âge : 9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans. Compte-tenu de l'efficacité des fonctions exécutives chez les HPI (Arffa, 2007) et de leur meilleur traitement des informations émotionnelles (Liu et al., 2015a ; 2015b ; Zeidner et al., 2005), nous nous attendons à ce que (i) les performances des HPI soient supérieures et que leur temps de réaction soit inférieur à ceux du groupe contrôle à 9-11 ans, à 12-14 ans et à 15-20 ans dans les tâches versions froides et chaudes de chaque tâche.

Pour le groupe contrôle, si le modèle du déséquilibre à l'adolescence (Casey, 2015 ; Casey & Caudle, 2013) est correct, alors (ii) la performance devrait augmenter et le temps de réaction devrait diminuer avec l'âge dans les tâches version froide et (iii) la performance devrait être plus faible et le temps de réaction plus long dans les tâches version chaude que dans les tâches version froide chez les 12-14 ans mais pas chez les 9-11 ans et les 15-20 ans.

En outre, si le modèle de Zelazo (Zelazo & Carlson, 2012) est correct, alors (ii) la performance devrait augmenter et le temps de réaction devrait diminuer avec l'âge dans les tâches version froide et version chaude et (iii) la performance devrait s'améliorer et le temps de réaction devrait diminuer plus tôt dans les versions froides que dans les versions chaudes de chaque tâche.

Pour le groupe HPI, nous nous attendons à ce que (ii) le développement des FE froides soit progressif avec une augmentation des performances et une diminution du temps de réaction avec l'âge dans les tâches version froide. Pour les FE chaudes, si les adolescents HPI traitent plus efficacement les informations émotionnelles que leurs pairs au développement typique (Zeidner et al., 2005 ; Liu et al., 2015a, 2015b) alors (iii) la performance à des tâches version chaude devrait augmenter et le temps de réaction devrait diminuer linéairement avec l'âge, comme pour les FE froides. Si le contexte émotionnel altère les performances des FE à l'adolescence chez les HPI (Urban et al., 2018a ; 2018b), alors (iii) la performance devrait être plus faible et le temps de réaction plus long dans les versions chaudes que dans les versions froides.

Méthode

Participants

Pour cette étude, nous avons recruté 211 participants âgés entre 9 et 20 ans. Le critère d'inclusion des participants HPI est un quotient intellectuel supérieur ou égal à 125 mesuré avec les échelles Wechsler (WISC-IV : Wechsler, 2005 ; WISC-V : Wechsler, 2016 ; WAIS-IV : Wechsler, 2011) par un psychologue. Le groupe HPI est constitué de 71 participants recrutés

au sein des centres de psychologie Cogito'Z (n = 14), par le réseau du DIEHP (Dispositif d'accueil des Elèves à Haut Potentiel) (n = 3), par l'association Mensa France (n = 5) et au sein d'une école française spécialisée dans l'accueil d'élèves tout-venant et d'élèves HPI du primaire au lycée (n = 49) Le groupe contrôle est composé de 140 participants. Ils ont été recrutés au sein de deux écoles privées françaises dont l'une est la même que celle du groupe de HPI recrutés en école (n = 50).

Afin de contrôler le niveau intellectuel de nos deux groupes, nous avons utilisé les subtests de similitudes et de matrices (WISC-V : Wechsler, 2016, WAIS-IV : Wechsler, 2011) pour tester le niveau intellectuel verbal et fluide des participants. Ces deux subtests sont les plus fiables pour identifier le HPI (Aubry & Bourdin, 2018). Un total de 31 participants du groupe contrôle dont les scores étaient inférieurs ou supérieurs à la normalité à l'un des deux subtests (c.-à-d., des notes standard égales ou inférieures à 7 ou égales ou supérieures à 13), dont 7 pour lesquels une erreur de programmation ne nous a pas permis de collecter de telles données, a été exclu de l'étude. Une différence significative a été trouvée pour le subtest de similitudes entre le groupe HPI et le groupe contrôle, $F(1,176) = 66,30, p < .001, \eta^2 = 0,27$. Les participants du groupe HPI avaient de meilleurs scores ($M = 11,72, ET = 2,63$) que les participants du groupe contrôle ($M = 9,14, ET = 1,61$) en intelligence verbale. Une différence significative a également été trouvée pour le subtest de matrices entre le groupe HPI et le groupe contrôle, $F(1,176) = 13,68, p < .001, \eta^2 = 0,07$. Les participants du groupe HPI avaient de meilleurs scores ($M = 11,13, ET = 2,53$) que les participants du groupe contrôle ($M = 9,92, ET = 1,84$) en intelligence fluide.

Nous avons donc analysé les données de 180 participants, répartis selon trois groupes d'âge :

- Groupe 9 – 11 ans
 - 21 participants HPI (4 filles, 20 droitiers, $10,19 \pm 0,75$ ans),
 - 21 participants contrôle (11 filles, 18 droitiers, 11 ans)
- Groupe 12 – 14 ans :
 - 29 participants HPI (8 filles, 26 droitiers, $12,86 \pm 0,83$ ans)
 - 60 participants contrôle (34 filles, 55 droitiers, $13,33 \pm 0,73$ ans)
- Groupe 15 – 20 ans :
 - 21 participants HPI (6 filles, 20 droitiers, $15,86 \pm 1,06$ ans)
 - 28 participants contrôle (16 filles, 24 droitiers $15,93 \pm 1,12$ ans)

Tous étaient de langue maternelle française. L'étude a été menée en accord avec les normes nationales et internationales qui régissent la participation d'humains à la recherche. Le Comité d'Ethique de la Recherche de l'Université de Paris Cité a émis un avis favorable au projet de recherche le 16/06/2020 (N° IRB : 00012020-35) (*cf.* Annexe 1). Des livrets explicatifs ont été distribués à chacun des participants enfant et adolescent afin de les informer sur le propos de la recherche scientifique, le but de cette étude, sur leur consentement et leurs droits (*cf.* Annexe 2). La participation se faisait sur la base du volontariat, après l'obtention d'un consentement éclairé des participants majeurs ainsi que des participants mineurs et de leurs responsables légaux.

Matériel

Pour évaluer le développement des FE de l'enfance à l'adolescence en fonction du contexte émotionnel, les participants effectuent deux tâches mesurant le contrôle inhibiteur (Stroop et Stop signal), une tâche mesurant la flexibilité cognitive (Alternate task-switching) et une tâche mesurant la mémoire de travail (N-back). Pour chaque tâche, il existe une version

chaude (*i.e.* avec la manipulation expérimentale d'ajout d'informations émotionnelles) et une version froide (*i.e.* sans manipulation expérimentale du contexte émotionnel).

Stroop froid & chaud

La tâche de Stroop (Stroop, 1935) est classiquement utilisée pour mesurer le contrôle de l'interférence. Les versions froides et chaudes de la Stroop (Aïte et al., 2018) engagent des processus d'inhibition et des processus de régulation des émotions.

Stimuli. La version froide (*cf.* figure 10) est composée de 16 items combinant quatre noms de couleur différents (« rouge », « jaune », « bleu » et « vert ») avec les couleurs d'encre correspondantes (RGB codes couleur : 255,0,0, 255,255,0, 0,112,192, 0,176,80). Quatre items sont congruents (*e.g.* le mot « rouge » est écrit en rouge) et 12 items sont incongruents (*p. ex.*, le mot « rouge » est écrit en bleu). Les mots sont présentés au centre de l'écran (police Arial) sur un fond blanc. De la même façon pour la version chaude (*cf.* figure 10), 4 photos de visage en noir et blanc exprimant la joie, la peur, la tristesse et la colère (1 homme, 1 femme) provenant de la collection d'expressions faciales Racially Diverse Affective Expressions (RADIATE) (Conley et al., 2018), ont été combiné avec quatre mots écrits en noir (police Courier New) nommant les émotions correspondantes (*i.e.* « JOIE », « PEUR », « TRISTESSE », « COLERE »). Quatre items congruents (*e.g.* un visage exprimant la colère avec le mot « COLERE » écrit sous la photo) et 12 items incongruents (*e.g.* un visage exprimant la joie avec le mot « COLERE » écrit sous la photo) ont été créé. Les visages avec le mot écrit en-dessous sont présentés au centre de l'écran sur un fond blanc.

Procédure. Les participants doivent inhiber une information non pertinente (*i.e.* inhiber la lecture du mot) pour activer la réponse pertinente dans le contexte de la version

froide (*i.e.* Identifier la couleur de l'encre d'un mot qui lui-même dénomme une couleur) et de la version chaude (*i.e.* identifier l'émotion sur le visage et pas le mot écrit en-dessous). Dans les deux tâches, les participants doivent répondre en pressant 4 touches du clavier avec leurs deux doigts index et majeur de la main gauche et de la main droite (p. ex., la touche « Z » pour la couleur « rouge » et pour l'émotion « colère »). Il est demandé de répondre le plus rapidement possible sans faire d'erreurs. Les temps de réaction sont mesurés dès la présentation du stimulus jusqu'à la réponse du participant.

Chacune des deux versions du Stroop comporte 64 essais expérimentaux. Trente-deux items congruents et 32 items incongruents sont présentés aléatoirement, avec la restriction que pas plus de quatre items congruents ou incongruents ne peuvent s'afficher d'affilée dans chaque bloc pour chacune des deux versions du Stroop. Les essais expérimentaux sont précédés de deux blocs d'entraînement de 16 essais. Pour la version froide, un premier bloc d'essai sert à familiariser les participants avec les boutons réponse ; ils doivent pour cela identifier la couleur sur des points colorés avec les 4 couleurs utilisées pour le reste de l'expérience (chacune des quatre couleurs est présentée quatre fois). Un second bloc est composé de huit essais congruents et de huit incongruents de manière à entraîner les participants à la tâche réelle. Dans la version chaude, chaque visage exprimant une émotion est présenté quatre fois dans un premier bloc puis, 8 essais congruents et 8 incongruents sont présentés dans un second bloc.

Les deux versions de la Stroop étaient originellement créées pour mesurer un effet d'amorçage négatif (Egner, 2007 ; Pritchard & Neumann, 2009). Ainsi, un nombre égal de paires (amorces/cibles) de type congruent-congruent, congruent-incongruent, incongruent-incongruent, incongruent-congruent ont été créées. Pour répondre à notre question de

recherche, nous avons restreint nos analyses aux items congruents et incongruents présentés en amorce (*i.e.* le premier item de chaque paire) car ils sont exemptés de l'effet de l'amorçage négatif. Pour chaque essai, les stimuli restaient à l'écran jusqu'à ce que le participant donne une réponse, dans une limite de temps de 3000 ms. Une croix de fixation noire apparaît sur un fond blanc pendant 1500 ms entre les paires d'amorce et de cible et pour 500 ms entre l'amorce et la cible.

	Item congruent	Item incongruent	Réponses correctes
Tâche Stroop Froid	ROUGE	BLEU	« rouge »
Tâches Stroop Chaud	 COLERE	 TRISTESSE	« colère »

Figure 9. Exemples d'items congruents et incongruents utilisés pour les deux tâches de Stroop. Dans la version froide, les participants doivent indiquer la couleur de l'encre d'un mot nommant une couleur. Dans la version chaude, ils doivent identifier l'émotion exprimée sur un visage.

Stop signal (SST) chaud & froid

La tâche de Stop signal (SST) implique des processus d'inhibition d'une réponse motrice (Band et al., 2003 ; Verbruggen & Logan, 2009). Les versions froides et chaudes de la SST (Salvia et al., 2021) engagent des processus d'inhibition et des processus de régulation des émotions.

Stimuli. Pour chacune des deux versions froide et chaude de la SST (*cf.* figure 10), on présente aux participants des flèches pointant à droite ou à gauche (*i.e.* les stimuli « Go »). Le signal stop utilisé pour la version froide du SST est un signal sonore (*i.e.* un bip) (Bedard et al., 2002 ; Logan & Cowan, 1984 ; Logan et al., 1997) alors que pour la version chaude, ce sont des vocalisations non verbales issues et adaptées de la base de données de Montreal Affective Voices (MAV) (Belin et al., 2008), qui sont des interjections de la voyelle /a/, exprimant soit la peur, soit la colère (*i.e.* des cris). Au total, quatre signaux stop émotionnel (deux voix de femme et deux voix d'homme) ont été utilisés dans la version chaude de la SST. Les signaux stop dans les deux versions ont été raccourcis pour durer 300ms.

Procédure. Pour chaque essai Go, une flèche orientée à droite ou à gauche apparaît à l'écran. Les participants doivent presser avec leurs index la touche J pour répondre à droite et la touche F pour répondre à gauche, le plus rapidement possible et sans commettre d'erreurs. Pour moitié des essais, la flèche pointe à gauche et pour l'autre moitié, la flèche pointe à droite. Chaque essai Go démarre avec la présentation d'une croix de fixation blanche sur un fond noir durant 500 ms, suivi par une flèche blanche sur un fond noir durant 1000 ms puis un écran noir durant 1000 ms (*cf.* figure 10). Les essais Stop commencent comme un essai Go avec la présentation d'une flèche mais après un délai (stop signal delay, SSD), un signal stop sonore se déclenche (*cf.* figure 10). Les participants ont pour consigne de se retenir d'appuyer sur les boutons réponse dès qu'ils entendent le signal stop. Le délai initial entre la présentation d'une flèche et le signal stop (*i.e.* le SSD) a été fixé à 350 ms. Ce SSD s'ajuste ensuite de façon dynamique tout au long de l'expérience, si le participant réussit à inhiber la réponse motrice à l'essai Stop qui précède alors le SSD augmente de 50 ms à l'essai suivant (jusqu'à un délai maximal de 1000ms), alors que s'ils échouent à inhiber leur réponse, le SSD diminue de 50 ms

à l'essai suivant (jusqu'à un délai de 0ms) (Logan et al., 1997). Cette procédure permet de maximiser la probabilité de réussir à inhiber à 50% des essais stop pour chaque condition.

Chacune des deux versions du SST comporte 128 essais expérimentaux. Deux blocs de 48 essais Go et de 16 essais Stop, sont présentés de façon pseudo-aléatoire. Dans la version chaude, chacune des 4 vocalisations est présentée 8 fois de façon aléatoire. Les essais expérimentaux sont précédés d'un bloc expérimental de 4 essais pour familiariser les participants aux boutons réponse qui est suivi d'un second bloc de 16 essais (12 essais Go, 4 essais Stop) pour familiariser les participants à la tâche.

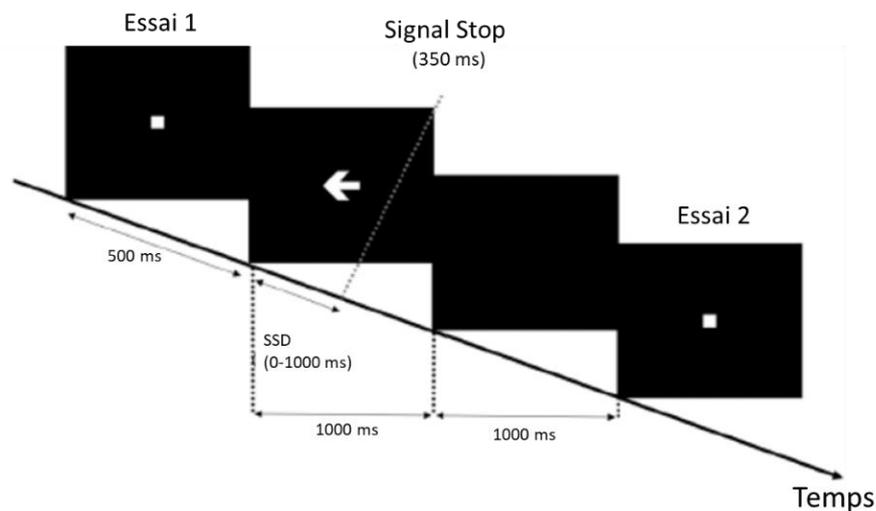


Figure 10. Exemples d'items congruents et incongruents utilisés pour les deux tâches de Stroop. Dans la version froide, les participants doivent indiquer la couleur de l'encre d'un mot nommant une couleur. Dans la version chaude, ils doivent identifier l'émotion exprimée sur un visage.

N-back chaud & froid

La tâche de N-back utilisée pour cette expérience implique des processus de mémorisation et de régulation des émotions. Inspirée de la EN-back task (Casey et al., 2018), elle est composée d'une seule condition de charge mnésique élevée (2-back) et a été divisée en deux versions, une avec des stimuli émotionnels et l'autre avec des stimuli neutres.

Stimuli. Pour chacune des deux versions froide et chaude de la N-back (*cf.* figure 11), on présente aux participants des photos de visages et de paysages. Pour la version froide, les photos présentées sont des paysages issus de précédentes études sur la perception (Park et Chun, 2009, Casey et al., 2018) ainsi que des visages neutres issus de la collection NimStim (Totenham et al., 2009) et de la collection RADIATE (Conley et al., 2018). Pour la version chaude, les photos de visages émotionnels exprimant la joie et la peur sont également issues des collections NimStim et RADIATE.

Procédure. Chacune des deux versions est composée de 8 blocs de 10 essais. Pour chaque essai, on demande aux participants de répondre en appuyant sur la touche « F » du clavier si la photo correspond à celle vu deux essais précédemment (rang n-2) et d'appuyer sur la touche « J », si elle ne correspond pas. Il est demandé aux participants de répondre à chaque essai. Chaque essai démarre avec une croix de fixation de 1000 ms, suivi par la présentation d'un stimulus pendant 2000 ms. Pour chaque bloc de 10 essais, 2 sont des cibles, 2-3 sont des leurres et les autres ne le sont pas (*i.e.* stimuli présentés une fois par bloc). Au total dans chacune des deux versions de la tâche (froide et chaude), il y a 80 essais dont 16 essais cibles. Quarante essais pour chaque type de stimulus (*i.e.* visages exprimant la joie, visages exprimant la peur, visages neutres et photos de paysages) sont présentés.

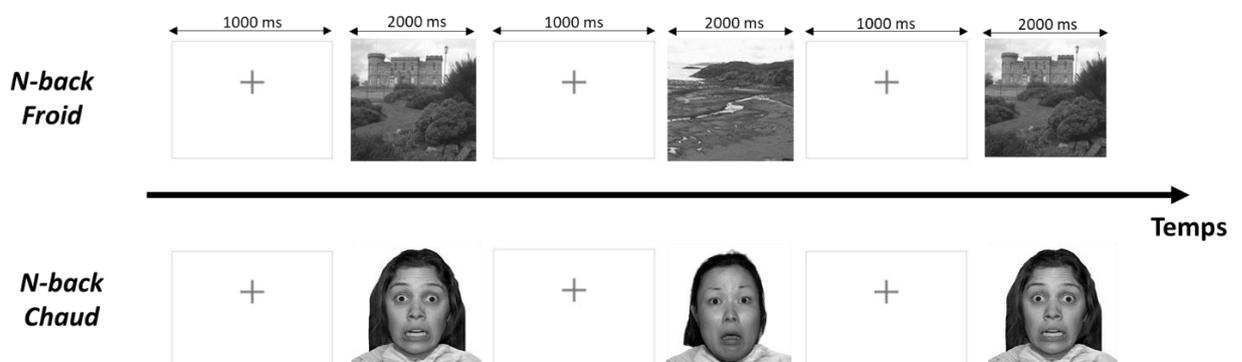


Figure 11. Exemples d'items utilisés pour les deux tâches de N-back. Dans la version froide, les participants doivent identifier la photo d'un visage émotionnel s'il correspond à la même que celle présentée deux essais

précédemment. Dans la version chaude, ils doivent identifier la photo d'un visage neutre ou d'un paysage s'il correspond à la même que celle présentée deux essais précédemment.

Alternate task-switching (ATS) chaud & froid

L'ATS mesure classiquement les capacités de flexibilité cognitive en demandant au participant de répondre à deux tâches en alternance (Monsell, 2003, Vandierendonck, Liefoghe & Verbruggen, 2010).

Stimuli. Dans la version froide de la tâche (*cf.* figure 12), on présente aux participants des formes (un carré ou un rectangle), colorés (bleu, RVB code couleur : 0,176,80 ou vert, RVB code couleur : 0,176,240) placés soit au-dessus, soit en-dessous d'une ligne noire. Le participant doit désigner la couleur si la forme est au-dessus de la ligne et le type de forme si la forme est en-dessous de la ligne. Dans la version chaude de la tâche (*cf.* figure 12), on présente une photo d'un visage exprimant une émotion dans une forme carré ou dans un rectangle de couleur grise, placés soit au-dessus, soit en-dessous d'une ligne noire. Les photos de visage en noir et blanc exprimant la joie et la peur (1 homme, 1 femme) proviennent de la collection d'expressions faciales Racially Diverse Affective Expressions (RADIATE) (Conley et al., 2018). Le participant doit identifier le type d'émotion si la forme est présentée au-dessus de la ligne ou le type de forme (carré ou rectangle) si elle est présentée en-dessous de la ligne.

Procédure. Traditionnellement, le participant alterne entre deux stratégies tous les n essais (2, 3, etc.) et n est constant (Rogers & Monsell, 1995). Suite à une erreur de programmation de la tâche, la proportion des essais switchs et non-switchs n'est pas la même entre les participants (*cf.* Annexe 4) et l'ordre d'apparition des essais switchs et des essais non-switchs est aléatoire. Chacune des deux versions (froide et chaude) de l'ATS commence avec

un premier entraînement de 8 essais, durant lequel les participants doivent identifier si la couleur est verte ou bleue pour la version froide et identifier si le visage exprime la peur ou la joie, pour la version chaude. Le second entraînement composé de 8 essais invite les participants à identifier si la forme est un rectangle ou un carré. Durant la condition mixte (*cf.* figure 12), il est demandé aux participants d'alterner entre les deux tâches, selon la localisation de la forme par rapport à une ligne noire présentée au centre de l'écran. Dans la version froide, si la forme est placée au-dessus de la ligne et que la forme est bleue, le participant doit appuyer sur la touche F du clavier ou sur la touche J si la forme est verte. Dans la version chaude, si la forme est placée au-dessus de la ligne, le participant doit appuyer sur la touche F de son clavier si c'est la peur, et appuyer sur la touche J si c'est la joie. Si la forme est placée en-dessous de la ligne, le participant doit appuyer sur la touche F si la forme est un carré et appuyer sur la touche J si la forme est un rectangle. Les participants débutent cette condition mixte avec une première phase d'entraînement composé de 16 essais, avant de démarrer la phase expérimentale. Chacune des deux versions comporte au total 128 essais expérimentaux. Avant chaque essai, une croix de fixation noire sur un fond blanc s'affiche à l'écran pendant 500 ms, puis chaque stimulus est affiché à l'écran pendant 2000 ms maximum.

	En-dessous de la ligne	Réponses correctes	Au-dessus de la ligne	Réponses correctes
Alternate task-switching Froid		« CARRE »		« VERT »
Alternate task-switching Chaud		« RECTANGLE »		« PEUR »

Figure 12. Exemples d'items utilisés pour les deux tâches de l'ATS. Dans la version froide, les participants doivent identifier la couleur (bleu ou vert) si la forme est présentée au-dessus de la ligne ou le type de forme (carré ou rectangle) si elle est présentée en-dessous de la ligne. Dans la version chaude, les participants doivent identifier le type d'émotion (joie ou peur) si la forme est présentée au-dessus de la ligne ou le type de forme (carré ou rectangle) si elle est présentée en-dessous de la ligne.

Les participants ont également effectué une tâche mesurant l'inhibition latente et une autre mesurant les ajustements pro et réactifs (*i.e.* la tâche AX-CPT) mais dans une seule version froide. Elles ne sont pas présentées dans cette thèse car elles sortent du cadre de la présente étude qui s'intéresse au développement des FE froides et chaudes.

Procédure

Il s'agit de la même procédure que pour l'étude 1. Les participants, recrutés en dehors des écoles, ont réalisé l'expérience en ligne sur un ordinateur, individuellement, dans un endroit calme. L'expérimentation en ligne a permis de réduire les contraintes temporelles et géographiques par rapport aux expérimentations en laboratoire et ainsi d'attirer un échantillon plus grand et plus diversifié de participants HPI, limitant ainsi les biais de recrutement. De plus, les résultats obtenus en laboratoire ont été répliqués avec des

expériences en lignes avec des tâches mesurant les fonctions exécutives (Barnhoorn, 2015 ; Crump et al., 2013), validant la fiabilité de l'expérimentation en ligne. Les participants recrutés dans les écoles ont réalisé la même expérience, individuellement, dans une salle au calme au sein de leur établissement scolaire, sur un ordinateur et sous la surveillance d'un adulte responsable (*i.e.* au moins un chercheur ou un professeur). L'expérience a été créée et diffusée à tous les participants à l'aide du logiciel en ligne Gorilla Experiment Builder (Cauldron Science, 2016). Il a été choisi pour sa praticité et sa précision pour l'enregistrement des temps de réponse en ligne, indépendamment du système d'exploitation et du type d'appareil utilisé (Anwyl-Irvine et al., 2019 ; 2021).

Les tâches mesurant les FE froides et chaudes font partie d'un protocole expérimental plus large, comprenant également les questionnaires de régulation et de réactivité émotionnelle. Les résultats aux questionnaires sont développés dans l'étude précédente (*cf.* étude 1). Au total, les participants doivent réaliser 4 sessions de 30 minutes chacune au cours desquelles ils effectuent des tâches mesurant les FE froides et chaudes et complètent les questionnaires de régulation et de réactivité émotionnelle. Les tâches et les questionnaires sont présentés avec le même ordre fixe pour tous les participants, afin de minimiser la variabilité interindividuelle causée par un effet d'ordre. Ainsi les versions froides et chaudes d'une même tâche ne sont pas présentées lors d'une même session, permettant de minimiser un effet d'apprentissage de la tâche.

Chaque session démarre avec des instructions générales pour informer les participants sur les dispositions à tenir avant de se lancer dans l'expérience, à savoir : être assis confortablement et au calme, réaliser les tâches seul et rester attentif. Puis, les tâches s'enchaînent les unes après les autres (*cf.* figure 9, étude 1). Les participants peuvent choisir

librement de faire des pauses entre chaque tâche, ce qui peut faire varier le temps de passation total entre les participants. Pour les participants en ligne, les sessions sont espacées automatiquement d'un délai minimal de 12h. Ils reçoivent une alerte par e-mail à chaque fois qu'une nouvelle session est ouverte. Pour les participants en école, c'est le chercheur qui contrôle le délai entre chaque session en fonction des créneaux proposés par les établissements. Un délai de 12h n'a pas pu être toujours respecté pour certains participants en école.

Afin de contrôler le niveau de motivation du participant tout au long de l'expérimentation, chaque session n'excède pas 30 minutes de passation. L'attention du participant est également contrôlée à l'aide d'un test de contrôle attentionnel. Au cours de chaque session, le participant doit observer une photo de paysages et à la fin de chaque session, il doit identifier parmi une proposition de 4 photos, celle qu'il a vu précédemment. Enfin, le participant est alerté au début de chaque session sur la nécessité de rester bien attentif et il est informé que ses données seront perdues s'il quitte une session en cours.

Résultats

Pour répondre à nos questions de recherche, nos analyses portent sur l'ensemble des tâches évaluant les FE chaudes et froides. Chacune des 4 tâches a été analysée indépendamment les unes des autres. Plusieurs types de scores ont été calculés (*cf.* Annexe 3, Tableau 2 et Tableau 3) :

- Une moyenne des bonnes réponses (%) et des temps de réaction en ms (TR) aux différents types d'essais selon le contexte émotionnel (froid, chaud), le groupe QI

(groupe HPI, groupe contrôle) et le groupe d'âge (9-11 ans, 12-14 ans et 15-20 ans) pour toutes les tâches,

- Des scores d'interférence en fonction du contexte émotionnel (froid, chaud), du groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle) et du groupe d'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) pour la tâche de Stroop,
- Un score SSRT (ms) en fonction du contexte émotionnel (froid, chaud), du groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle) et du groupe d'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) pour la tâche SST, en appliquant la méthode d'intégration (Verburgggen et al., 2019). Pour cela, nous avons préalablement et uniquement sélectionné les données des participants, pour lesquels les hypothèses, sous-tendant l'indépendance du *horse-race model*, sont respectées (Verburgggen et al., 2019). Un SSRT est considéré comme fiable (Brand et al., 2003) si les trois hypothèses du *horse-race model* suivantes sont respectées : (1) la moyenne des temps de réaction à tous les essais Go doit être supérieure à la moyenne des temps de réactions aux essais Stop échoués, (2) la probabilité d'inhiber doit être supérieur à 25% et inférieur à 75% et (3) la probabilité d'omettre de répondre aux essais Go ne doit pas être supérieure à 15% (Verburgggen et al., 2019).

Les données ont été traitées et analysées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2017) et des packages suivants (par ordre alphabétique) : *dplyr* (Wickham et al., 2020), *ez* (Lawrence, 2016), *ggplot2* (Wickham, 2016), et *tidyr* (Wickham & Henry, 2020).

1. Performance

Stroop

La tâche de Stroop est utilisée classiquement pour mesurer le contrôle inhibiteur (*i.e.* le contrôle de l'interférence). La tâche se compose (1) d'essais incongruents pour lesquels l'inhibition de la réponse automatique est requise pour répondre correctement (*i.e.* inhiber la lecture du mot pour identifier la couleur de l'encre dans la version froide ou pour identifier l'émotion sur une photo dans la version chaude), et (2) d'essais congruents (condition contrôle), pour lesquels la réponse automatique correspond à la réponse attendue et ne requiert pas l'utilisation des processus inhibiteurs (*i.e.* la couleur de l'encre à identifier correspond au mot qui est écrit dans la version froide et l'émotion à identifier correspond à l'émotion sur la photo dans la version chaude). Nous avons calculé pour chaque type d'essai (essais incongruents et essais congruents) un pourcentage de bonnes réponses par participant pour la version froide et pour la version chaude de la tâche et un score d'interférence entre les deux types d'essais pour la version froide et la version chaude (*cf.* Figure 13).

Condition essais incongruents. Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur la performance aux essais incongruents, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) et le contexte émotionnel (froid, chaud) comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 7,92, p = .019$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge selon les capacités cognitives des participants pour les essais incongruents (*i.e.* les essais pour lesquels l'inhibition est requise). L'interaction Groupe QI x Age est tendancielle, $X^2(2) = 4,52, p = .104$. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel est significative, $X^2(1) = 4,05, p = .044$. L'interaction Groupe

Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 33,58, p < .001$. Il y a un effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 9,90, p = .001$, mais pas du contexte émotionnel, $X^2(1) = 0,002, p = .963$. L'effet principal de l'âge est significatif, $X^2(2) = 20,83, p < .001$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que la différence de performance est significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -2,35, p = .038$, et tendancielle entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -1,66, p = .098$, tels que les 15-20 ans réussissent mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes réussissent mieux que les 9-11 ans.

La différence développementale au niveau du traitement des contextes émotionnels a, par la suite, été explorée en réalisant les analyses pour chacun des deux groupes QI séparément. Chez les HPI, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes met en évidence que l'interaction Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 2,62, p = .269$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel ne varie pas en fonction de l'âge chez les HPI. Il n'y a pas d'effet principal de l'âge, $X^2(2) = 3,33, p = .189$, mais il y a un effet principal du contexte émotionnel, $X^2(1) = 8,70, p = .003$.

Chez le groupe contrôle, un modèle de régression à effet dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes révèle que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 2,62, p < .001$, ce qui semble suggérer que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez le groupe contrôle. Il y a un effet principal de l'âge, $X^2(2) = 17,99, p < .001$, mais pas du contexte émotionnel, $X^2(1) = 0,01, p = .965$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni en contexte chaud révèlent que la différence de performance n'est pas significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -1,19, p =$

.233, ce qui signifie que le groupe contrôle des 12-14 ans ne réussit pas mieux que les 9-11 ans en contexte chargé émotionnellement. La différence est tendancielle entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -1,94$, $p = .105$, signifiant que les 15-20 ans réussissent mieux que les 12-14 ans en contexte chargé émotionnellement. En contexte froid, les performances sont significativement différentes entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -3,15$, $p = .003$, ce qui signifie que le groupe contrôle âgé de 12-14 ans réussit mieux que les 9-11 ans en contexte neutre. La différence n'est pas significative entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -1,09$, $p = .274$, signifiant que les 15-20 ans ne réussissent pas mieux que les 12-14 ans en contexte neutre.

Condition essais congruents. On observe que les performances plafonnent aux essais congruents (*i.e.* aux essais sans conflits qui permettent de vérifier que la tâche a été bien comprise et réussie par les participants) ($M = 87,61$, $ET = 32,95$). Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur la performance aux essais congruents, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) et le contexte émotionnel (froid, chaud) comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 15,18$, $p < .001$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge selon les capacités cognitives des participants pour les essais congruents. L'interaction Groupe QI x Age est significative, $X^2(2) = 10,32$, $p = .006$. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel est significative, $X^2(1) = 9,80$, $p = .002$. L'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 14,20$, $p < .001$. Il y a également un effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 13,70$, $p < .001$, mais pas du contexte émotionnel $X^2(1) = 0,39$, $p = .534$. Il y a un effet principal de l'âge, $X^2(2) = 35,53$, $p < .001$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que la différence de performance est significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -3,47$, $p = .001$, $b = -0,09$, et entre

12-14 et 15-20 ans, $Z = -2,59$, $p = .009$, $b = -0,06$, tels que les participants âgés de 15-20 ans réussissent mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes réussissent mieux que les 9-11 ans.

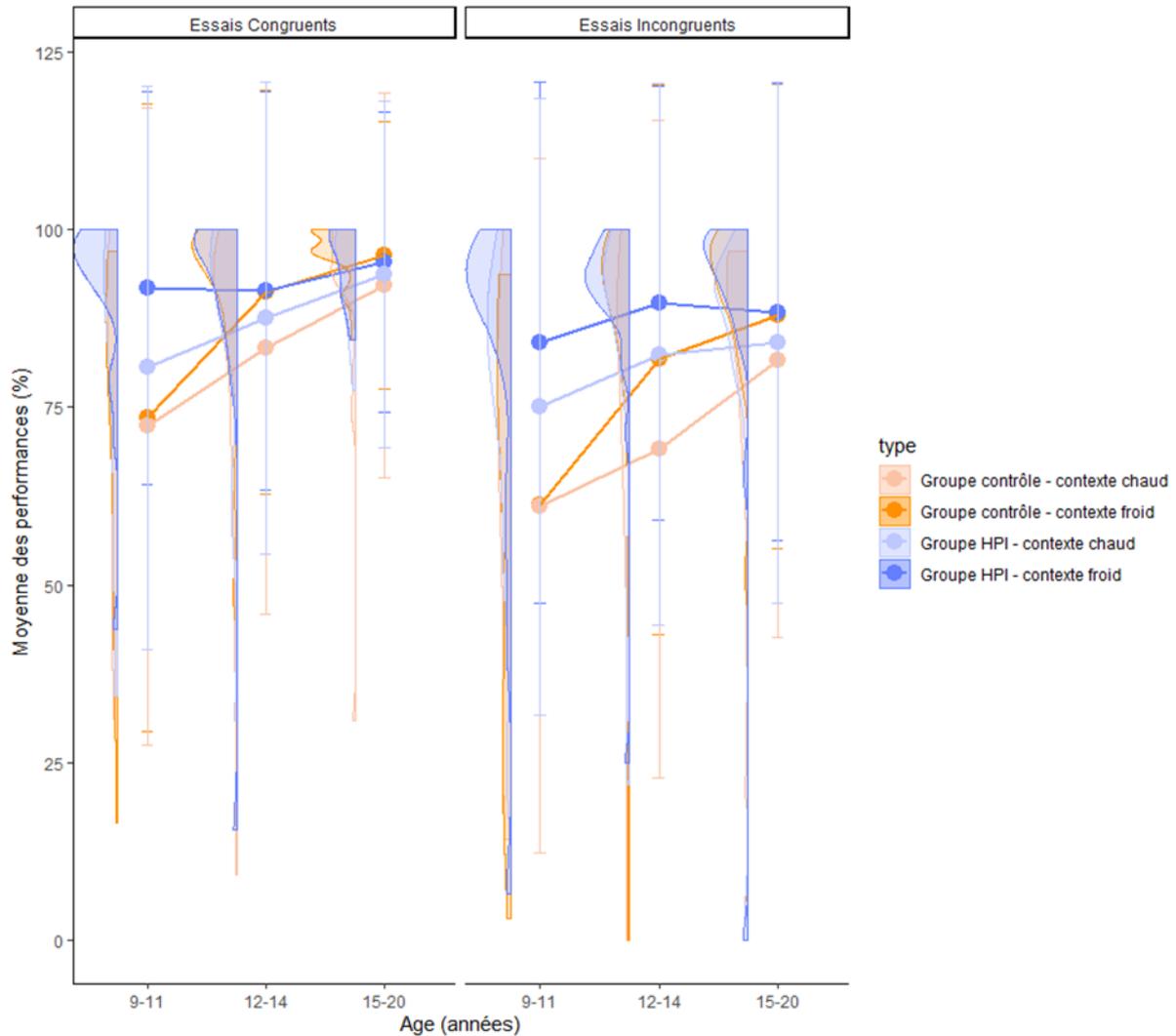
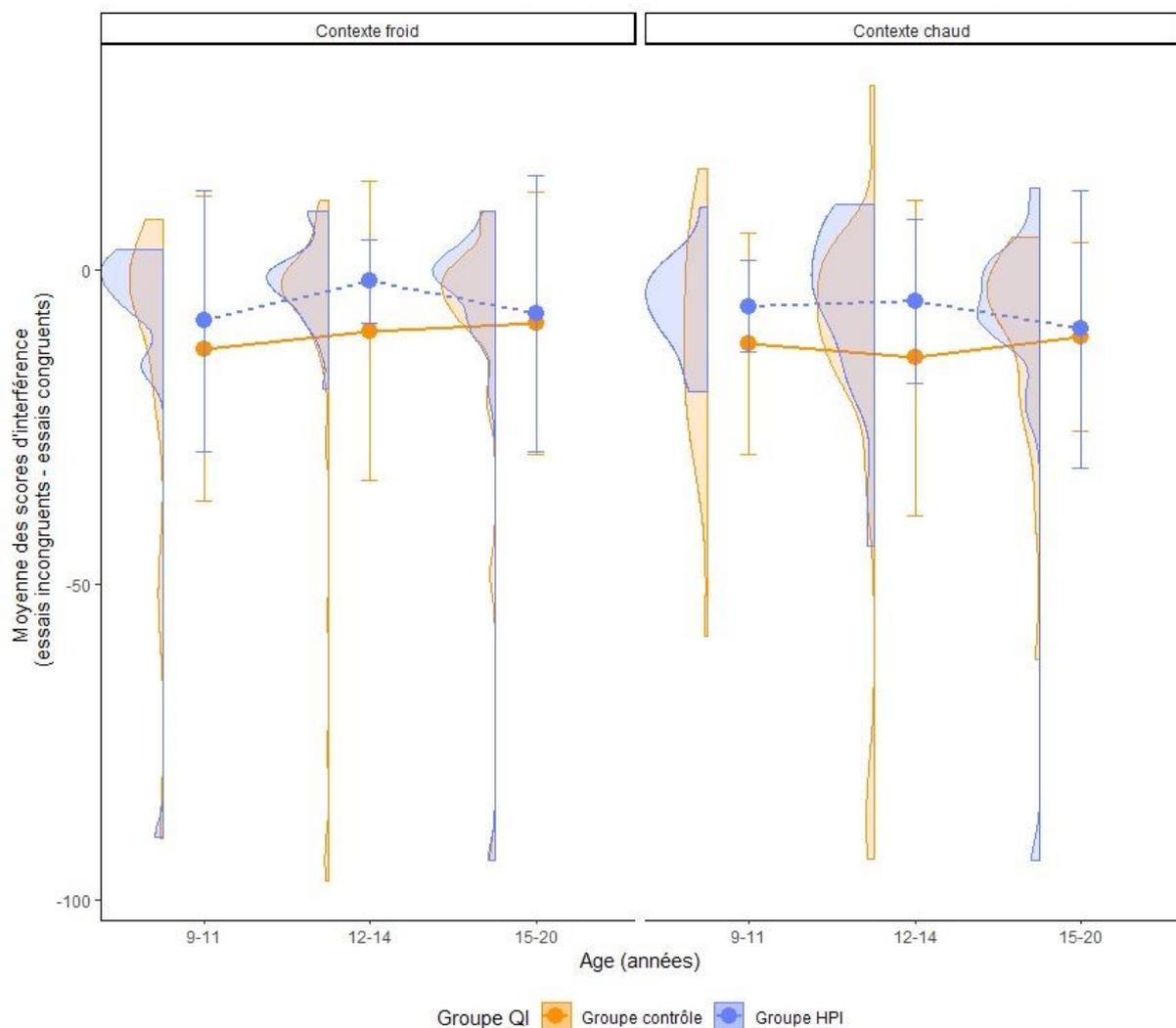


Figure 13. La moyenne des performances (%) et la répartition des réponses aux essais congruents et incongruents en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche Stroop. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur -type de la moyenne.

Score d'interférence. Enfin, le score d'interférence obtenu par le calcul de la différence de performance entre les essais incongruents et les essais congruents (essais incongruents – essais congruents) est un score synthétique qui permet d'estimer les capacités d'inhibition, de sorte qu'une différence plus faible représente de meilleures capacités d'inhibition (cf.

Figure 14). Un modèle de régression à effet mixte, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI, l'âge, le contexte émotionnel comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 0,04$, $p = .979$, ce qui suggère que la différence entre les contextes émotionnels en fonction de l'âge et selon les capacités cognitives des participants n'a pas été trouvée pour le score d'interférence. L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 0,67$, $p = .714$. L'interaction groupe QI x Contexte émotionnel n'est pas non plus significative, $X^2(1) = 0,04$, $p = .842$. Enfin, l'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel n'est pas significative,



$X^2(2) = 0,61$, $p = .737$. Il n'y a pas d'effet principal de l'âge, $X^2(2) = 0,46$, $p = .795$, ni du groupe QI, $X^2(1) = 0,46$, $p = .497$, ni du contexte émotionnel, $X^2(1) = 0,02$, $p = .895$.

Figure 14. La moyenne des scores d'interférence (bonnes réponses aux essais incongruents – bonnes réponses aux essais congruents) en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche de Stroop.

N-back

La tâche de N-back est utilisée classiquement pour mesurer la mémoire de travail. La tâche invite le participant à identifier si une photo de paysage, ou de visage neutre dans la version froide et des visages émotionnels dans la version chaude, correspond ou ne correspond pas à celle vu deux essais précédemment (condition n-2). Nous mesurons le pourcentage de bonnes réponses pour tous les essais par participant et dans chacune des deux versions froide et chaude (cf. Figure 15).

Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur la performance, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) et le contexte émotionnel (froid, chaud) comme facteurs, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 11,22$, $p = .004$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge et selon les capacités cognitives des participants à la tâche de N-back (*i.e.* lorsqu'ils doivent mémoriser des informations visuelles sur le court terme). L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 3,25$, $p = .197$. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel est significative, $X^2(1) = 5,83$, $p = .016$. L'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 28,99$, $p < .001$. Il y a un effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 6,81$, $p = .009$, et du contexte émotionnel, $X^2(1) = 68,51$, $p < .001$. L'effet principal de l'âge est significatif, $X^2(2) = 7,04$, $p < .030$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que la différence de performance n'est pas significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -1,53$, $p = .126$, tels que les

participants âgés de 12-14 ans ne réussissent pas mieux que les 9-11 ans. La différence est significative entre les 12-14 ans et les 15-20 ans, $Z = -2,35$, $p = .038$, tels que les 15-20 ans réussissent mieux que les 12-14 ans.

La différence développementale au niveau du traitement des contextes émotionnels a, par la suite, été explorée en réalisant les analyses pour chacun des deux groupes QI séparément. Chez les HPI, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes met en évidence que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 11,22$, $p = .004$, ce qui suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez les HPI. Il y a un effet principal du contexte émotionnel, $X^2(1) = 18,59$, $p < .001$, mais pas de l'âge, $X^2(2) = 0,21$, $p = .899$. Les analyses *post-hoc* pour comparaison appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni en contexte chaud révèlent que la différence de performance n'est pas significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = 0,52$, $p = .606$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -1,04$, $p = .597$. En contexte froid, la différence de performance n'est pas non plus significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -0,42$, $p = 1$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = 0,34$, $p = 1$. Cela signifie que les HPI âgés de 15-20 ans ne réussissent pas mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes ne réussissent pas mieux que les 9-11 ans en contexte neutre et chargé émotionnellement. Concernant la différence de performance entre le contexte froid et le contexte chaud, les analyses *post-hoc* révèlent que la différence est significative à tous les âges. Ainsi, les HPI réussissent mieux en contexte froid qu'en contexte chaud à 9-11 ans, $Z = 4,31$, $p < .001$, à 12-14 ans, $Z = 8,09$, $p < .001$, et à 15-20 ans, $Z = 2,71$, $p = .007$.

Chez le groupe contrôle, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes révèle que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 27,21, p < .001$, ce qui indique que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez le groupe contrôle. Il y a un effet principal du contexte émotionnel, $X^2(1) = 64,22, p < .001$, et de l'âge, $X^2(2) = 7,43, p = .024$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni en contexte chaud révèlent que la différence de performance est significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -2,99, p = .006$, elle est également significative entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -2,81, p = .006$, tels que les participants du groupe contrôle âgés de 15-20 ans réussissent mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes réussissent mieux que les 9-11 ans en contexte chargé émotionnellement. En contexte froid, la différence de performance n'est pas significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -1,92, p = .111$, et elle n'est pas significative non plus entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -1,27, p = .203$, tels que les participants du groupe contrôle âgés de 15-20 ans ne réussissent pas mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes ne réussissent pas mieux que les 9-11 ans en contexte neutre.

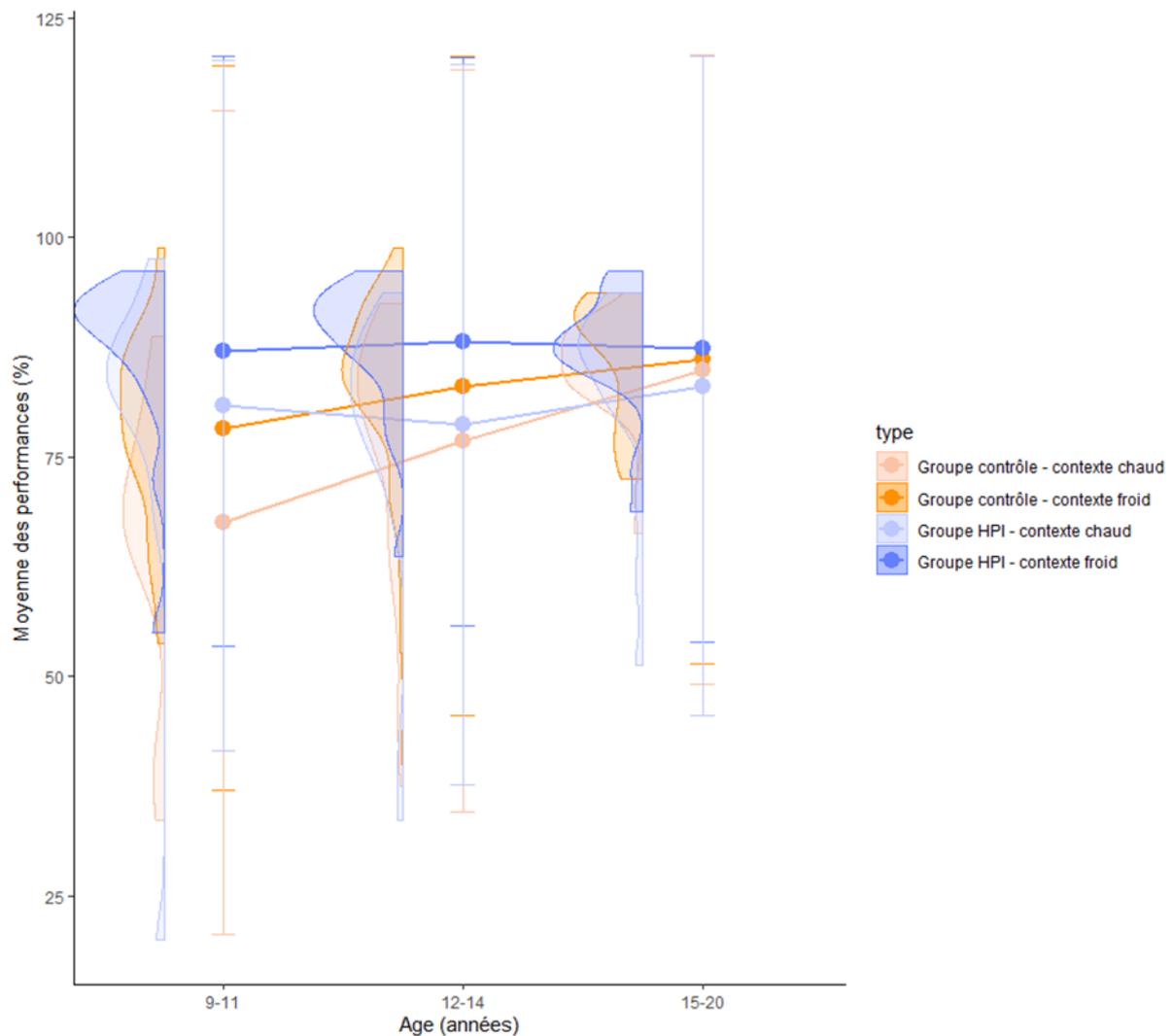


Figure 15. La moyenne des performances (%) et la répartition des réponses à la tâche de N-back en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle). Les barres d'erreurs indiquent l'erreur -type de la moyenne.

Alternate task-switching

La tâche ATS est utilisée classiquement pour mesurer la flexibilité mentale. La tâche invite le participant à alterner entre deux stratégies de réponse. Nous mesurons le pourcentage de bonnes réponses pour (1) les essais switchs, pour lesquels la règle à utiliser pour répondre a changé par rapport à l'essai précédent (*i.e.* le participant doit changer de stratégie de réponse en identifiant la forme après avoir identifié la couleur et vice-versa dans la version froide ou en identifiant la forme après avoir identifié l'émotion et vice-versa dans la

version chaude), et (2) pour les essais non-switchs (condition contrôle), pour lesquels la règle à utiliser pour répondre n'a pas changé par rapport à l'essai précédent (*i.e.* le participant doit identifier à au moins deux reprises consécutives la forme ou alors la couleur la version froide, la forme ou alors l'émotion dans la version chaude) (*cf.* Figure 16). Pour voir des résultats supplémentaires, se reporter à l'Annexe 4.

Condition essais switchs. Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur les essais switchs, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) et le contexte émotionnel (froid, chaud) comme facteurs, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 4,34, p = .114$. Cela suggère qu'il n'existe pas de différence significative entre les âges, en fonction des contextes émotionnels et selon les capacités cognitives des participants pour les essais switchs (*i.e.* les essais pour lesquels les participants alternent entre deux stratégies). L'interaction Groupe QI x Age est tendancielle, $X^2(2) = 5,54, p = .063$. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(1) = 0,46, p = .498$. L'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 8,41, p = .015$. Il y a un effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 13,93, p < .001$, du contexte émotionnel, $X^2(1) = 15,24, p < .001$, et de l'âge, $X^2(2) = 40,32, p < .001$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que la différence de performance est significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -2,92, p = .004$, et entre les 12-14 ans et les 15-20 ans, $Z = -3,07, p = .004$, tels que les 15-20 ans réussissent mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes réussissent mieux que les 9-11 ans.

La différence développementale au niveau du traitement des contextes émotionnels a été explorée en réalisant les analyses pour chacun des deux groupes QI séparément. Chez les

HPI, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes met en évidence que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 11,29, p = .004$, ce qui suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez les HPI. Il y a un effet principal du contexte émotionnel, $X^2(1) = 21,28, p < .001$, et de l'âge, $X^2(2) = 6,69, p = .035$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que les performances en contexte chaud ne sont pas significativement différentes entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -0,47, p = .642$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -1,49, p = .272$. Les performances en contexte froid ne sont pas non plus significativement différentes entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -1,83, p = .134$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -0,95, p = .342$. Cela signifie que les HPI âgés de 15-20 ans ne réussissent pas mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes ne réussissent pas mieux que les 9-11 ans en contexte neutre et chargé émotionnellement. Concernant la différence de performance entre le contexte froid et le contexte chaud, les analyses *post-hoc* révèlent que la différence est significative à tous les âges. Ainsi, les HPI réussissent mieux en contexte froid qu'en contexte chaud à 9-11 ans, $Z = 4,61, p < .001$, à 12-14 ans, $Z = 10,90, p < .001$, et à 15-20 ans, $Z = 6,43, p < .001$.

Chez le groupe contrôle, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes, révèle que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 7,70, p = .021$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez le groupe contrôle. Il y a un effet principal du contexte émotionnel, $X^2(1) = 14,16, p < .001$, et de l'âge, $X^2(2) = 42,97, p < .001$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que la différence de performance est significative en contexte chaud entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -2,76, p = .012$, et entre 12-14 ans et 15-20

ans, $Z = -2,11$, $p = .035$, tels que les participants du groupe contrôle de 15-20 ans réussissent mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes réussissent mieux que les 9-11 ans en contexte émotionnellement chargé. La différence de performance est significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -4,10$, $p < .001$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -2,41$, $p = .016$, tels que les participants du groupe contrôle, âgés de 15-20 ans, réussissent mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes réussissent mieux que les 9-11 ans en contexte neutre.

Condition essais non-switchs. Un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI, l'âge, le contexte émotionnel comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 0,93$, $p = 0,628$. Cela suggère qu'il n'existe pas de différence significative entre les âges en fonction des contextes émotionnels et selon les capacités cognitives des participants aux essais non-switchs (*i.e.* les essais pour lesquels le participant applique la même stratégie de réponse). L'interaction Groupe QI x Age est tendancielle, $X^2(2) = 5,32$, $p = .070$, ce qui suggère que l'effet des capacités intellectuelles varie en fonction de l'âge. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(1) = 2,01$, $p = .156$. L'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 0,76$, $p = .684$. Il y a un effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 11,72$, $p < .001$, du contexte émotionnel, $X^2(1) = 74,88$, $p < .001$, et de l'âge, $X^2(2) = 30,99$, $p < .001$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées, réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni, révèlent que la différence de performance est significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -2,88$, $p = .008$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -2,88$, $p = .008$, tels que les 15-20 ans réussissent mieux que les 12-14 ans, qui eux-mêmes réussissent mieux que les 9-11 ans. Il existe enfin un effet principal du contexte émotionnel, $X^2(1) = 74,88$, $p < .001$.

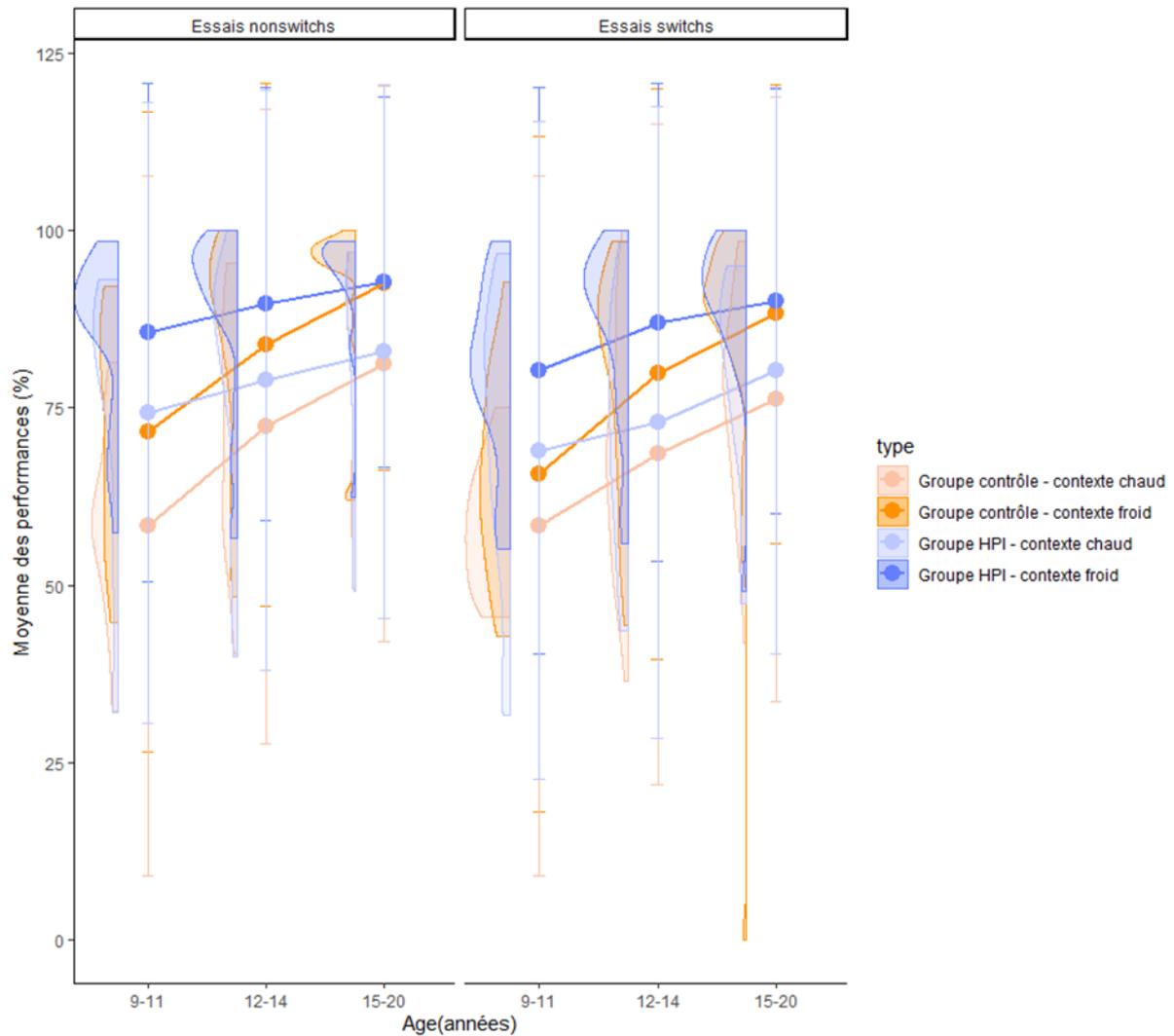


Figure 16. La moyenne des performances (%) et la répartition des réponses aux essais non-switchs et aux essais switchs en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche ATS. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type de la moyenne.

2. Temps de réaction

Stroop

La tâche de Stroop est utilisée classiquement pour mesurer le contrôle inhibiteur (*i.e.* le contrôle de l'interférence). La tâche se compose (1) d'essais incongruents pour lesquels

l'inhibition de la réponse automatique est requise pour répondre correctement (*i.e.* inhiber la lecture du mot pour identifier la couleur de l'encre dans la version froide ou pour identifier l'émotion sur une photo dans la version chaude), et (2) d'essais congruents (condition contrôle), pour lesquels la réponse automatique correspond à la réponse attendue et ne requiert pas l'utilisation des processus inhibiteurs (*i.e.* la couleur de l'encre à identifier correspond au mot qui est écrit dans la version froide et l'émotion à identifier correspond à l'émotion sur la photo dans la version chaude). Pour les essais réussis seulement, nous avons calculé pour chaque type d'essai (essais incongruents et essais congruents) une moyenne des temps de réaction par participant pour la version froide et pour la version chaude de la tâche (*cf.* Figure 17). Pour chaque participant et dans chaque version de la tâche, les TR sont considérés comme aberrants s'ils sont supérieurs ou inférieurs à 2,5 de la MAD (*i.e.* Median Absolute Deviation) (14,1% des essais ont été exclus pour les analyses suivantes).

Condition essais incongruents. Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur les TR aux essais incongruents, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) et le contexte émotionnel (froid, chaud) comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 35,42, p < .001$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge selon les capacités cognitives des participants pour les essais incongruents (*i.e.* les essais pour lesquels l'inhibition est requise). L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative $X^2(2) = 3,62, p = .163$. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel est significative, $X^2(1) = 10,87, p < .001$. L'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 14,35, p < .001$. Il n'y a pas d'effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 0,58, p = .447$. L'effet principal du contexte émotionnel est significatif, $X^2(1) = 62,97, p < .001$ et l'effet principal de l'âge est tendanciel,

$\chi^2(2) = 5,34, p = .069$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que la différence de TR est significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = 3,09, p = .004$, tels que les participants âgés de 12-14 ans sont plus rapides que les 9-11 ans. La différence n'est pas significative entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = 1,251, p = .021$, tels que le temps de réaction ne diffère pas entre 12-14 ans et 15-20 ans. Concernant la différence de TR entre les deux groupes de QI, les analyses *post-hoc* ne révèlent aucune différence significative à chaque groupe d'âge pour chacun des contextes émotionnels. Ainsi, les HPI ne sont pas plus rapides que le groupe contrôle en contexte froid à 9-11 ans, $Z = -1,276, p = .403$, à 12-14 ans, $Z = 1,77, p = .232$, et à 15-20 ans, $Z = 0,56, p = .575$. Les HPI ne sont pas plus rapides que le groupe contrôle en contexte chaud à 9-11 ans, $Z = 0,77, p = .886$, à 12-14 ans, $Z = -1,206, p = .683$, et à 15-20 ans, $Z = -0,129, p = .898$.

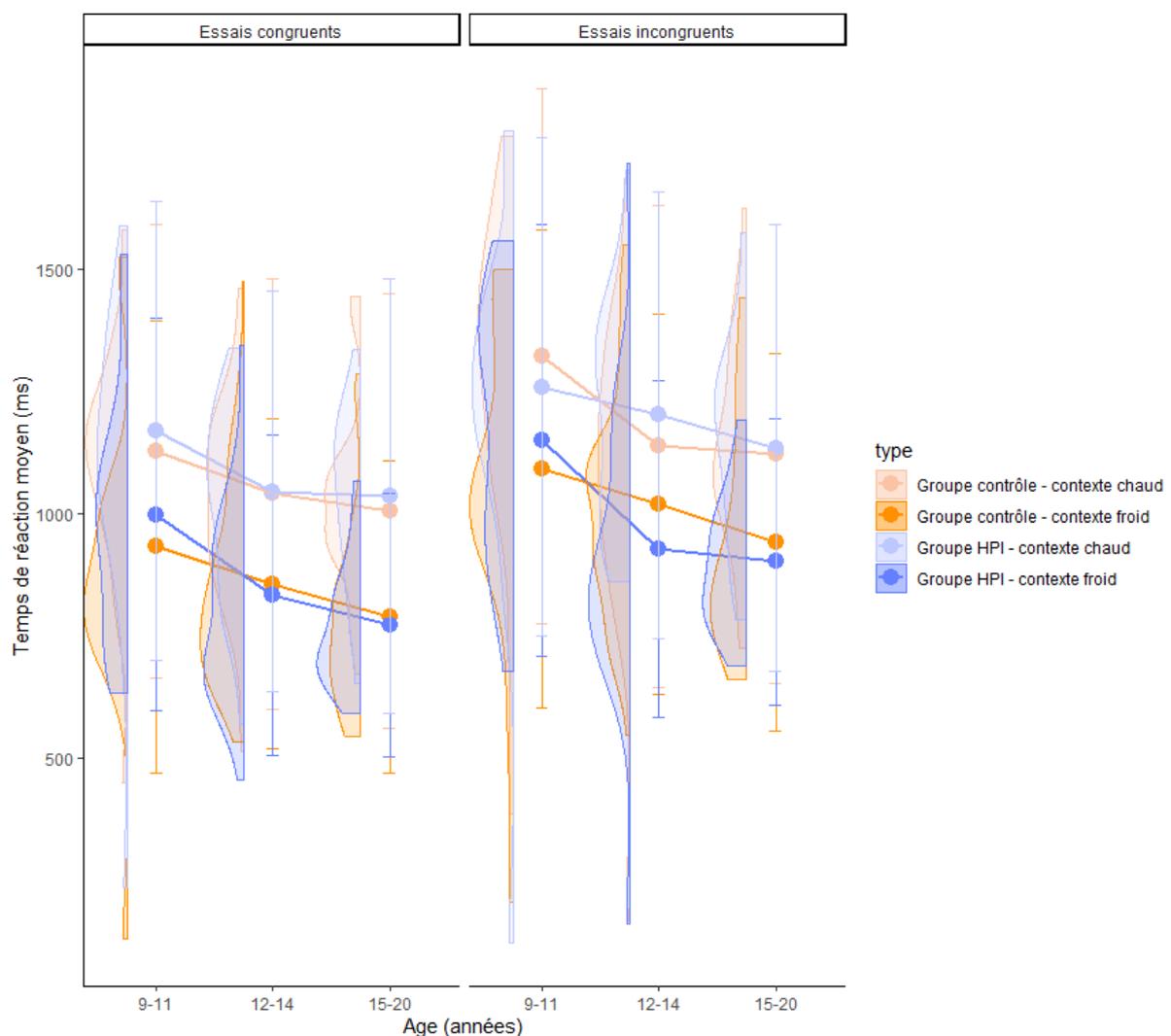
La différence développementale au niveau du traitement des contextes émotionnels a, par la suite, été explorée en réalisant les analyses pour chacun des deux groupes QI séparément. Chez les HPI, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes met en évidence que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $\chi^2(2) = 28,72 p < .001$, ce qui suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez les HPI. Il y a un effet principal de l'âge, $\chi^2(2) = 14,33, p < .001$. Il y a un effet principal du contexte émotionnel, $\chi^2(1) = 15,32 p < .001$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni en contexte chaud révèlent que la différence des TR n'est pas significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = 1,09, p = .555$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = 0,23, p = .816$, tels que les HPI de 15-20 ans ne sont pas plus rapides que les 12-14 ans, qui eux-mêmes ne sont pas plus rapides que les 9-11 ans en contexte chargé émotionnellement. En contexte froid, les performances sont significativement différentes

entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = 3,22$, $p = .003$, tels que les HPI âgés de 12-14 ans sont plus rapides que les 9-11 ans en contexte neutre émotionnellement. La différence n'est pas significative entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = 0,26$, $p = .80$, tels que les 15-20 ans ne sont pas plus rapides que les 12-14 ans en contexte neutre émotionnellement.

Chez le groupe contrôle, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes révèle que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 13,20$, $p = .001$, ce qui suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez le groupe contrôle. Il y a un effet principal de l'âge, $X^2(2) = 6,14$, $p = .046$, et du contexte émotionnel, $X^2(1) = 58,22$, $p < .001$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni en contexte chaud révèlent que la différence des TR n'est pas significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = 1,46$, $p = .289$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = 0,32$, $p = .751$, tels que les 15-20 ans ne sont pas plus rapides que les 12-14 ans, qui eux-mêmes ne sont pas plus rapides que les 9-11 ans en contexte chargé émotionnellement. En contexte froid, les TR ne sont pas significativement différents entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = 0,34$, $p = .375$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = 1,32$, $p = .375$, tels que les 15-20 ans ne sont pas plus rapides que les 12-14 ans, qui eux-mêmes ne sont pas plus rapides que les 9-11 ans en contexte neutre émotionnellement.

Condition essais congruents. Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur les TR aux essais congruents, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) et le contexte émotionnel (froid, chaud) comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 3,56$, $p = .168$. Cela

suggère que l'effet du contexte émotionnel ne varie pas en fonction de l'âge selon les capacités cognitives des participants pour les essais congruents (*i.e.* aux essais sans conflits qui permettent de vérifier que la tâche a été bien comprise et réussie par les participants). L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 1,91, p = .384$. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(1) = 1,10, p = .295$. L'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 4,22, p = .121$. L'effet principal du contexte émotionnel est significatif, $X^2(1) = 60,38, p < .001$, mais pas du groupe QI, $X^2(1) =$



1,19, $p = .275$, et l'effet principal de l'âge est significatif, $X^2(2) = 5,70, p = .058$.

Figure 17. Les TR moyen (ms) et la répartition des TR aux essais congruents et incongruents en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche Stroop. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur -type de la moyenne.

Score d'interférence. Enfin, le score d'interférence obtenu par le calcul de la différence de temps de réaction entre les essais incongruents et les essais congruents (essais incongruents – essais congruents) est un score synthétique qui permet d'estimer les capacités d'inhibition, de sorte qu'une différence plus faible représente de meilleures capacités d'inhibition (*cf.* Figure 18). Un modèle de régression à effet mixte, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI, l'âge, le contexte émotionnel comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 4,40$, $p = .111$, ce qui suggère que l'interférence ne varie pas selon les contextes émotionnels en fonction de l'âge et selon les capacités cognitives des participants. L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 0,39$, $p = .822$. L'interaction groupe QI x Contexte émotionnel n'est pas non plus significative, $X^2(1) = 0,94$, $p = .332$. Enfin, l'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) =$

1,34, $p = .511$. Il n'y a pas d'effet principal de l'âge, $X^2(2) = 0,54$, $p = .764$, ni du groupe QI, $X^2(1) = 0,01$, $p = .932$, ni du contexte émotionnel, $X^2(1) = 0,02$, $p = .877$.

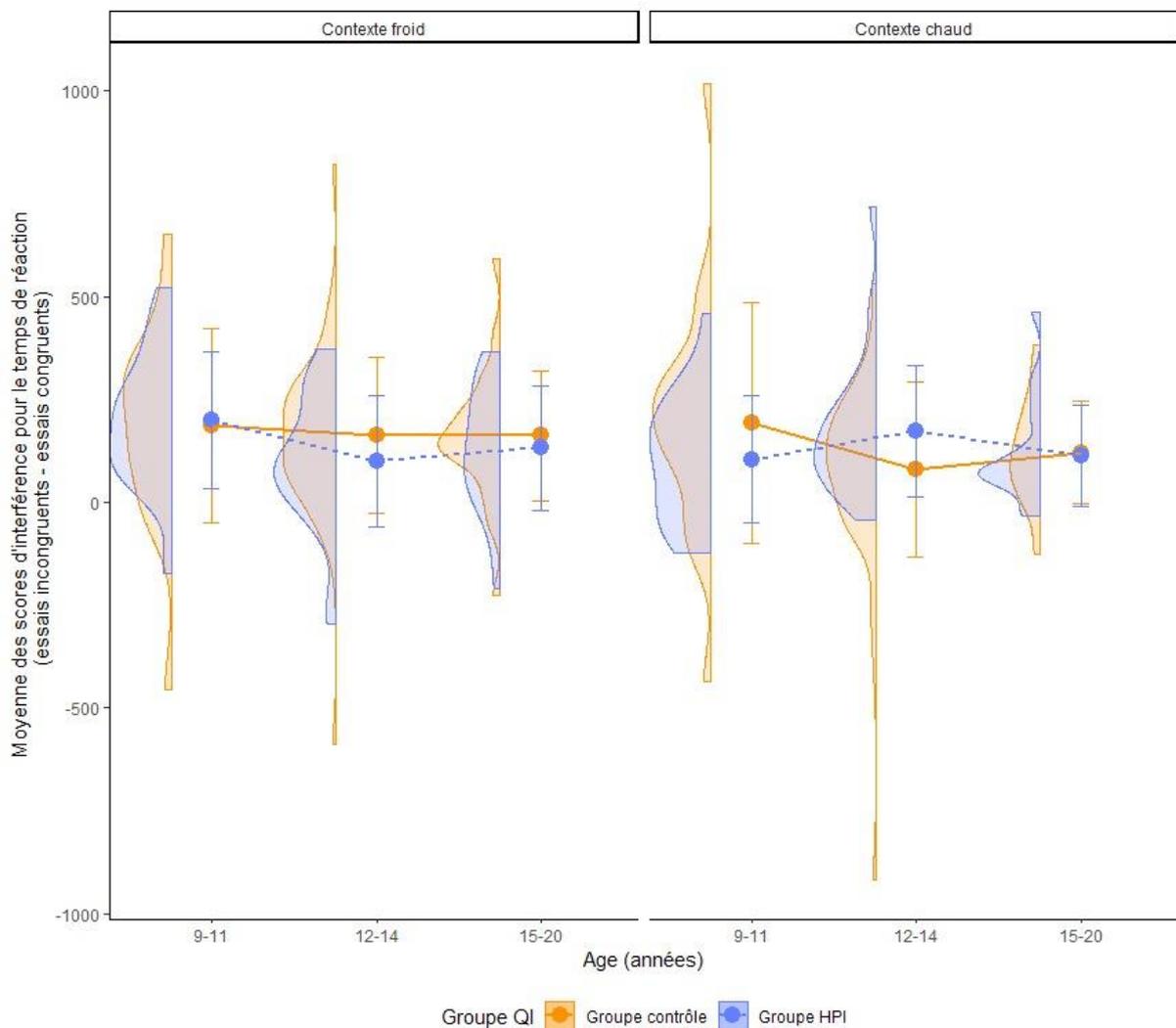


Figure 18. La moyenne des scores d'interférence pour le temps de réaction (bonnes réponses aux essais incongruents – bonnes réponses aux essais congruents) en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche de Stroop.

Stop signal

La tâche de SST est utilisée classiquement pour mesurer la capacité d'inhiber une réponse motrice initiée. La tâche invite le participant à (1) identifier le sens de la flèche dans les essais Go et (2) retenir leur réponse motrice lorsqu'un signal d'arrêt est présenté avec différents délais après un essai Go (*i.e.* les essais

Stop) (Logan, 1994 ; Logan & Cowan, 1984). Un score SSRT (Stop Signal Reaction Time) est calculé par participant pour la version froide et pour la version chaude de la tâche (cf. Figure 19). Ce score apporte une mesure des capacités d'inhibition, de sorte qu'un SSRT plus faible représente de meilleures capacités d'inhibition.

Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur le score SSRT, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) et le contexte émotionnel (froid, chaud) comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 1,82, p = .403$. Cela suggère qu'il n'existe pas de différence significative entre les âges en fonction des contextes émotionnels et selon les capacités cognitives des participants pour le SSRT. L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 0,67, p = .714$. L'interaction groupe QI x Contexte émotionnel n'est pas significative non plus, $X^2(1) = 0,04, p = .842$. Enfin, l'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 0,61, p = .737$. Il n'y a pas d'effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 0,46, p = .497$, du contexte émotionnel, $X^2(1) = 0,02, p = .895$, et de l'âge, $X^2(2) = 0,46, p = .795$.

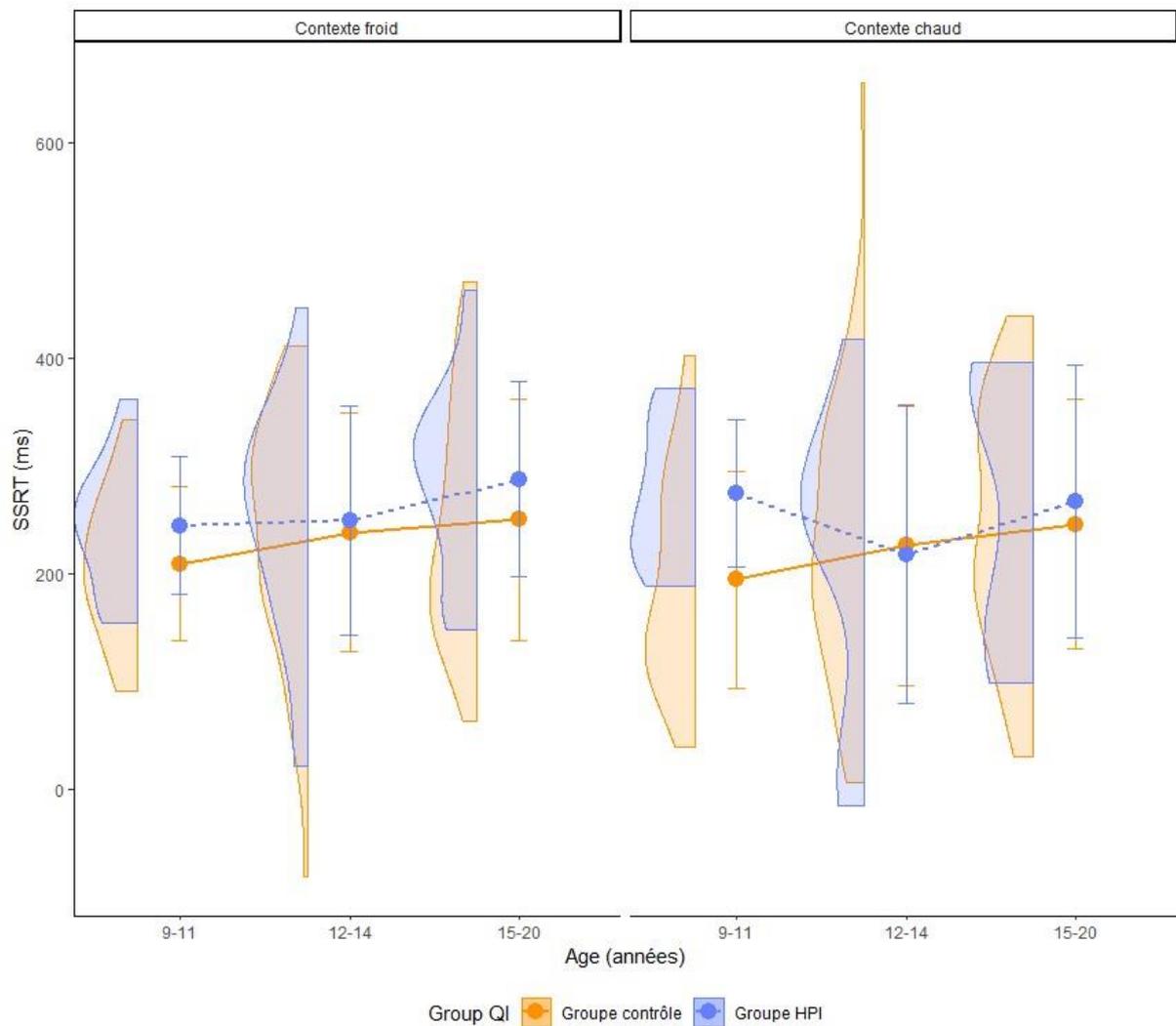


Figure 19. Le SSRT (ms) et la répartition du SSRT en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche de SST.

Alternate task-switching

La tâche ATS est utilisée classiquement pour mesurer la flexibilité mentale. La tâche invite le participant à alterner entre deux stratégies de réponse. La tâche se compose (1) d'essais switches, pour lesquels la règle à utiliser pour répondre a changé par rapport à l'essai précédent (*i.e.* le participant doit changer de stratégie de réponse en identifiant la forme après avoir identifié la couleur et vice-versa dans la version froide ou en identifiant la forme après avoir identifié l'émotion et vice-versa dans la version chaude), et (2) d'essais non-switches

(condition contrôle), pour lesquels la règle à utiliser pour répondre n'a pas changé par rapport à l'essai précédent (*i.e.* le participant doit identifier à au moins deux reprises consécutives la forme ou alors la couleur dans la version froide, la forme ou alors l'émotion dans la version chaude). Pour les essais réussis seulement, nous avons calculé pour chaque type d'essai (essais switches et essais non-switchs) une moyenne des temps de réaction par participant pour la version froide et pour la version chaude de la tâche (*cf.* Figure 20). Pour chaque participant et dans chaque version de la tâche, les TR sont considérés comme aberrants s'ils sont supérieurs ou inférieurs à 2,5 de la MAD (*i.e.* Median Absolute Deviation) (9,7% des essais ont été exclus pour les analyses suivantes).

Condition essais switches. Un modèle de régression à effet mixte appliqué sur les TR aux essais switches, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI (groupe HPI, groupe contrôle), l'âge (9-11 ans, 12-14 ans, 15-20 ans) et le contexte émotionnel (froid, chaud) comme facteurs, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 45,10, p < .001$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge selon les capacités cognitives des participants pour les essais switches (*i.e.* les essais pour lesquels les participants alternent entre deux stratégies). L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative $X^2(2) = 0,01, p = .997$. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel est significative, $X^2(1) = 37,63, p < .001$. L'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 55,08, p < .001$. Il n'y a pas d'effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 1,96, p = .162$, mais il y a un effet du contexte émotionnel, $X^2(1) = 18,45, p < .001$. L'effet principal de l'âge n'est pas significatif, $X^2(2) = 1,07, p = .585$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni concernant la différence de TR entre les deux groupes de QI, révèlent que les HPI ne sont pas plus rapides que le groupe contrôle en contexte froid à 9-11 ans, $Z = -0,98$,

$p = .550$, à 12-14 ans, $Z = -2,03$, $p = .128$, et à 15-20 ans, $Z = -1,09$, $p = .550$. Les HPI toutefois plus lents que le groupe contrôle en contexte chaud à 9-11 ans, $Z = -2,88$, $p = .008$ et à 12-14 ans, $Z = -3,30$, $p = .003$ mais pas à 15-20 ans, $Z = -0,75$, $p = .454$, puisque le TR du groupe contrôle tend à ralentir linéairement avec l'âge alors que celui des HPI est stable.

La différence développementale au niveau du traitement des contextes émotionnels a été explorée en réalisant les analyses pour chacun des deux groupes QI séparément. Chez les HPI, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes met en évidence que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 6,03$, $p = .049$, ce qui suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez les HPI. Il y a un effet principal du contexte émotionnel, $X^2(1) = 178,57$ $p < .001$ mais pas de l'âge, $X^2(2) = 1,29$, $p = .524$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que les TR en contexte chaud ne sont pas significativement différents entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -0,43$, $p = 1.00$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -0,11$, $p = 1.00$, tels que les TR ne diffèrent pas entre les HPI de 15-20 ans et de 12-14 ans, ni entre 12-14 ans et de 9-11 ans en contexte chargé émotionnellement. Les TR en contexte froid ne sont pas significativement différents entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -0,73$, $p = .93$, et entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -0,26$, $p = .93$, tels que les TR ne diffèrent pas entre les HPI de 15-20 ans et de 12-14 ans, ni entre les 12-14 ans et les 9-11 ans en contexte neutre.

Chez le groupe contrôle, un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire, l'âge et le contexte émotionnel comme facteurs fixes révèle que l'interaction Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 52,51$ $p < .001$, ce qui suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge chez le

groupe contrôle. Il n'y a pas d'effet principal de l'âge, $X^2(2) = 0,99$, $p = .609$. Il y a un effet principal du contexte émotionnel, $X^2(1) = 17,62$, $p < .001$. Les analyses *post-hoc* pour comparaisons appariées réalisées à l'aide d'un test de Holm Bonferroni révèlent que la différence des TR n'est pas significative en contexte chaud entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -1,12$, $p = .261$ alors qu'elle l'est entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -2,41$, $p = .032$, tels que les participants du groupe contrôle de 15-20 ans sont plus lents que les 12-14 ans, qui eux-mêmes ne sont pas plus lents que les 9-11 ans en contexte émotionnellement chargé. La différence de TR n'est pas significative entre 9-11 ans et 12-14 ans, $Z = -0,14$, $p = .888$, ni entre 12-14 ans et 15-20 ans, $Z = -0,83$, $p = .814$, tels que les participants du groupe contrôle âgés de 15-20 ans ne sont pas plus rapides que les 12-14 ans, qui eux-mêmes ne sont pas plus rapides que les 9-11 ans en contexte neutre.

Condition essais non-switchs. Un modèle de régression à effet mixte dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI, l'âge, le contexte émotionnel comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 9,39$, $p = .009$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de l'âge selon les capacités cognitives des participants aux essais non-switchs (*i.e.* les essais pour lesquels le participant applique la même stratégie de réponse). L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 2,04$, $p = .360$. L'interaction Groupe QI x Contexte émotionnel est significative, $X^2(1) = 16,05$, $p < .001$. L'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 8,44$, $p = .015$. Il y a un effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 6,11$, $p = .013$, et du contexte émotionnel, $X^2(1) = 38,84$, $p < .001$. Il n'y a pas d'effet principal de l'âge, $X^2(2) = 1,03$, $p = .597$.

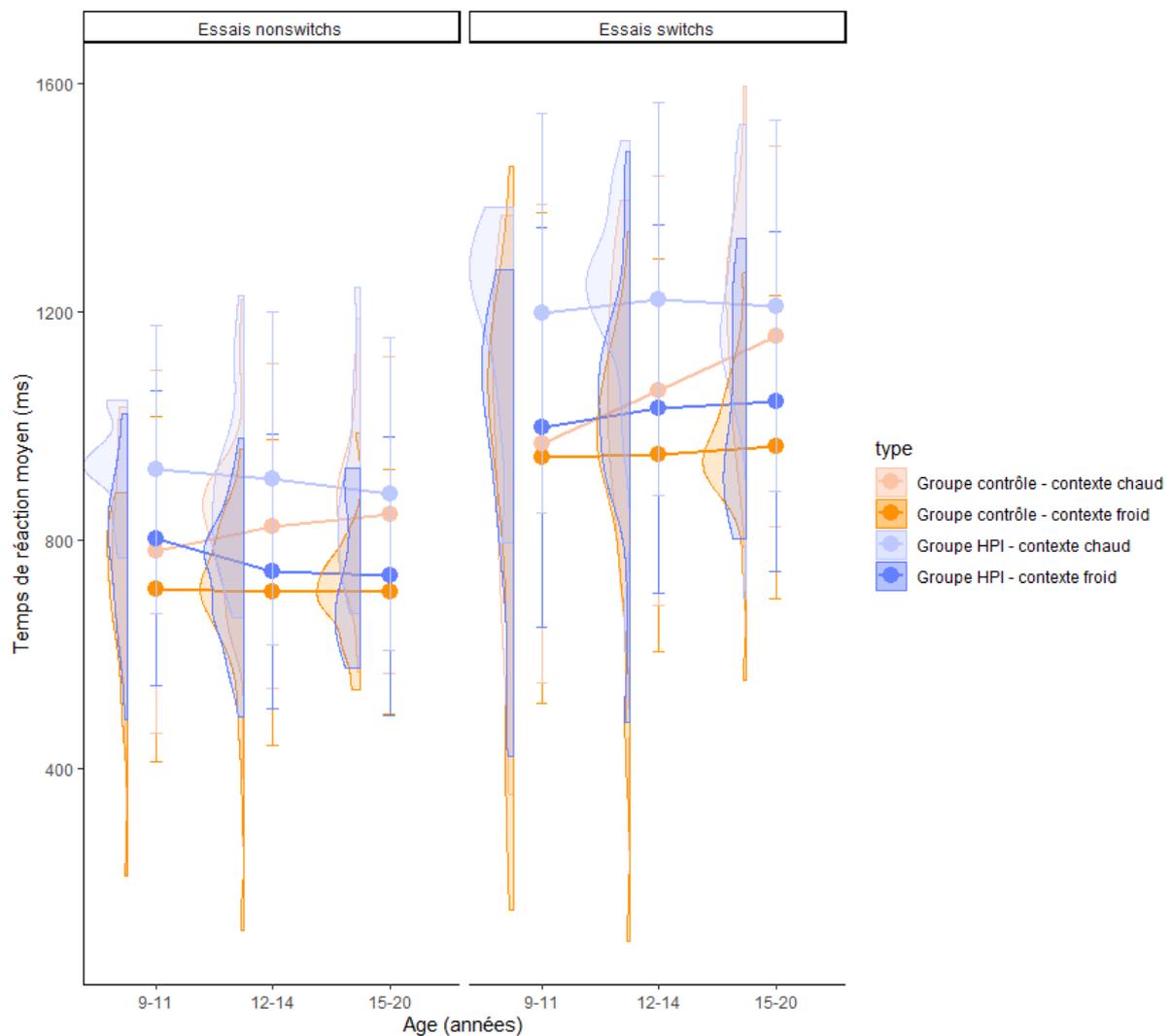


Figure 20. Les temps de réaction moyen (ms) et la répartition des temps de réaction aux essais non-switchs et aux essais switchs en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche ATS. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur -type de la moyenne.

Discussion

L'objectif de cette deuxième étude de recherche était d'explorer le développement de plusieurs FE selon les capacités intellectuelles, de l'enfance (dès 9 ans) à l'adolescence (15-20 ans) dans des contextes émotionnellement neutres ou chargés en utilisant des versions froides et chaudes pour chacune des tâches (*i.e.* la tâche Stroop pour évaluer le contrôle de

l'interférence, la SST pour évaluer la réponse inhibitrice motrice, l'ATS pour évaluer la flexibilité mentale et la N-back pour mesurer la mémoire de travail).

Conformément à nos attentes, nous avons montré que le groupe HPI est plus performant que le groupe contrôle dans l'ensemble des tâches proposées. Les résultats indiquent que par rapport au groupe contrôle, les HPI présentent de meilleures compétences exécutives avec une avance développementale dès 9 ans et qui perdure jusqu'à l'adolescence (15-20 ans). De plus, il existe un effet du contexte émotionnel, les versions froides sont généralement mieux réussies que les versions chaudes dans chacun des deux groupes QI et indépendamment de l'âge. Enfin, il existe un effet développemental, dans le sens où les plus âgés sont plus performants que les plus jeunes dans l'ensemble des tâches proposées indépendamment des capacités cognitives et du contexte émotionnel. Cet effet développemental est toutefois nuancé par les capacités cognitives, par le contexte émotionnel et selon la FE étudiée.

Concernant les temps de réaction, et à l'exception de la Stop signal pour laquelle il n'y a aucune différence, il existe un effet du contexte émotionnel, indépendamment du niveau de QI et de l'âge. Les versions froides sont généralement réalisées plus rapidement que les versions chaudes dans chacun des deux groupes QI. Toutefois, les HPI ne sont généralement pas plus rapides que le groupe contrôle, indépendamment de l'âge et du contexte émotionnel. Enfin, il existe un effet développemental uniquement pour la tâche de Stroop, dans le sens où les plus âgés sont plus rapides que les plus jeunes, indépendamment des capacités cognitives et du contexte émotionnel. Les effets sont toutefois nuancés selon la FE étudiée selon les capacités cognitives et le contexte émotionnel.

Contrôle inhibiteur

Le développement de la capacité à inhiber une information interférente (tâche de Stroop) chez les HPI ne diffère ni entre les âges, ni entre les contextes émotionnels, de sorte que les HPI présentent de très bonnes compétences en CI froid et en CI chaud dès 9 ans. Ainsi, le pattern développemental du CI chez les HPI est décrit avec des compétences précoces et stables dans le temps en CI froid et en CI chaud. Pour le groupe contrôle, le développement du CI froid est linéaire avec l'âge, avec dès 12-14 ans des compétences similaires à 15-20 ans. Le développement du CI dans des contextes émotionnellement chargés est plus tardif, avec des performances similaires entre 9-11 ans et 12-14 ans mais plus faibles qu'à 15-20 ans. Le pattern développemental du CI froid et chaud du groupe contrôle est ainsi conforme au modèle développemental des FE froides et chaudes de Zelazo (Zelazo & Carlson, 2012), qui suppose que les FE froides se développent plus tôt que les FE chaudes.

Notre étude montre donc pour la première fois que les patterns développementaux du CI froid et du CI chaud sont différents selon les capacités cognitives. Les données à cette tâche semblent suggérer que les meilleures compétences en contrôle de l'interférence du groupe HPI leur permettent d'être moins affectés par le contexte émotionnel précocement dans le développement par rapport au groupe contrôle, et que la différence de performance entre les deux groupes QI tend à se réduire au cours du développement du fait de la progression développementale du contrôle de l'interférence chez le groupe contrôle.

Les TR ne diffèrent pas selon le niveau de QI mais selon le contexte émotionnel, de sorte que les participants sont plus rapides dans le contexte froid que dans le contexte chaud dans une tâche mesurant le contrôle de l'interférence. Spécifiquement chez les HPI, le TR ne diffère pas entre les âges en CI chaud. Le TR en CI froid décroît linéairement avec l'âge, avec

dès 12-14 ans un TR similaire à 15-20 ans. Pour le groupe contrôle, le développement de la capacité à inhiber une information interférente ne diffère pas entre les âges en CI chaud et en CI froid. Les résultats précédents rapportent un TR en CI plus rapide chez les HPI (Johnson et al., 2003 ; Liu et al., 2016 ; Liu et al., 2011), que nous n'avons certes pas trouvé avec cette étude mais les HPI sont plus compétents et précocement par rapport au groupe contrôle. Ils sont ainsi plus performants tout en traitant les informations pertinentes et non-pertinentes de façon aussi rapide que le groupe contrôle. Ces résultats sont donc conformes avec l'hypothèse d'une précocité développementale du fonctionnement exécutif chez les HPI.

Il est à noter que nous avons également trouvé une interaction significative pour les essais congruents de la tâche de Stroop, ce qui peut laisser supposer que l'effet trouvé ne met pas spécifiquement en évidence des capacités de CI supérieures chez les HPI mais plutôt des compétences cognitives supérieures de façon plus générale. Compte-tenu du nombre d'études ayant déjà montré un CI plus performant chez les HPI par rapport aux groupes contrôles (Arffa, 2007 ; Calero et al., 2007 ; Duan et al., 2009 ; Liu et al., 2011 ; Liu et al., 2016), nous sommes plutôt confiants quant à l'effet du CI trouvé dans cette expérience.

Nous avons échoué à trouver une interaction significative pour l'inhibition de la réponse motrice à la tâche SST version froide et chaude. Il existe bien une différence développementale du CI pour le contrôle de l'interférence entre les HPI et les non HPI selon le contexte émotionnel (*i.e.* tâche de Stroop version froide et chaude). Toutefois, il semblerait qu'il n'existe pas de différences selon les capacités intellectuelles et selon le contexte émotionnel pour la réponse inhibitrice. Autrement dit les HPI n'ont pas de compétences supérieures par rapport aux non HPI. De façon intéressante, l'absence de différence significative ne concerne pas seulement les aspects émotionnels. Dans la condition froide nous

ne trouvons pas non plus de différence significative entre les groupes QI, ce qui suggère que la performance des HPI et des non HPI est comparable à une tâche d'inhibition de la réponse, quel que soit le contexte émotionnel. Ce résultat est cohérent avec certaines études évaluant l'inhibition de la réponse avec la Stop signal (Urban et al., 2018a ; 2018b), qui montrent que les HPI n'ont pas une meilleure inhibition de la réponse que leurs pairs au développement typique.

Cependant, ces résultats sont en contradiction avec d'autres études évaluant cette compétence avec une tâche de Go/No-Go en contexte froid (Duan et al., 2009) dans lesquelles les HPI sont plus performants que les non HPI. Il convient de noter qu'à une tâche de Go/No-Go, il est aisé de faire une association entre un type de stimulus et une réponse (Go ou No-Go) (Verbruggen & Logan, 2008), ce qui implique que la réussite à cette tâche pourrait être mieux expliquée par une meilleure mémoire associative que par une meilleure inhibition. Compte-tenu des meilleures compétences en mémoire (Coyle et al., 1998 ; Gaultney et al., 1996 ; Vaivre-Douret, 2004 ; 2011) et en capacité d'apprentissage (Calero et al., 2011) des HPI, on peut supposer que les HPI automatisent plus rapidement l'apprentissage associatif durant la tâche Go/No-Go, leur permettant ainsi d'être plus performant à la tâche Go/No-Go.

Enfin, ces résultats confirment que le CI n'est pas un construit unitaire. Le CI implique différents types de processus d'inhibition, dont le contrôle des interférences et l'inhibition de la réponse (Eagle et al., 2008 ; Khng & Lee, 2014 ; Rubia et al., 2001). Ces deux types de CI se développent différemment chez les HPI. Les HPI auraient une meilleure résistance à l'interférence, ce qui explique leur performance supérieure à une tâche de Stroop. Ils n'ont peut-être pas une plus grande facilité pour inhiber une réponse comportementale, comme le montre leurs performances à la tâche Stop Signal.

Le développement de la MdT chez les HPI ne diffère pas entre les âges, de sorte que les HPI présentent de très bonnes compétences et stables en MdT froide et en MdT chaude dès 9 ans. Ainsi, le pattern développemental de la MdT chez les HPI est décrit avec des compétences précoces et stables dans le temps en MdT froide et en MdT chaude. Il est à noter que les HPI réussissent mieux en MdT froide et en MdT chaude, et ce, à tout âge. Chez le groupe contrôle, le développement de la MdT froide ne diffère pas entre les âges, alors que le développement de la MdT dans des contextes émotionnellement chargés est plus tardif, avec les 9-11 ans moins performants que les 12-14 ans, qui eux-mêmes sont moins performants que les 15-20 ans. Le pattern développemental de la MdT froide et chaude du groupe contrôle est plutôt conforme au modèle développemental des FE froides et chaudes de Zelazo (Zelazo & Carlson, 2012), avec un développement de la MdT froide plus tôt que la MdT chaude.

Notre étude montre, pour la première fois, que les patterns développementaux de la MdT froide et de la MdT chaude sont différents selon les capacités cognitives. Comme pour le contrôle de l'interférence, les données à cette tâche semblent suggérer que les meilleures compétences en MdT du groupe HPI leur permettent d'être moins affectés par le contexte émotionnel précocement dans le développement (spécifiquement à 9-11 ans à cette tâche) par rapport au groupe contrôle, et que la différence de performance entre les deux groupes QI tend à se réduire au cours du développement du fait de la progression développementale de la MdT chez le groupe contrôle.

Il convient de noter que nous avons comparé les performances des participants uniquement sur une condition de la N-back, la condition n-2 qui correspond à l'identification

d'une image vue deux essais précédemment. Une étude complémentaire pourrait être menée, en faisant varier le niveau de complexité de la tâche en proposant plusieurs conditions (p. ex., n-0 et n-2 ; Casey et al., 2018) afin de cerner plus finement les compétences en MdT chez les HPI.

Flexibilité mentale

Le développement de la flexibilité mentale (tâche ATS) chez les HPI ne diffère pas entre les âges, de sorte que les HPI présentent de très bonnes compétences en flexibilité mentale froide et en flexibilité mentale chaude dès 9 ans. Ainsi, le pattern développemental de la flexibilité mentale chez les HPI est décrit avec des compétences précoces et stables dans le temps en flexibilité mentale froide et chaude. Il est à noter que les HPI réussissent mieux en flexibilité mentale froide qu'en flexibilité mentale chaude, et ce, à tout âge. Chez le groupe contrôle, les performances en flexibilité mentale froide et chaude progressent entre 9 ans et 15-20 ans, de sorte que le développement de la flexibilité mentale froide et chaude est linéaire avec l'âge.

Notre étude montre, pour la première fois, que les patterns développementaux de la flexibilité mentale froide et chaude sont différents selon les capacités cognitives. Comme pour le contrôle de l'interférence et la MdT, les données à cette tâche semblent suggérer que les meilleures compétences en flexibilité mentale du groupe HPI leur permettent d'être moins affectés par le contexte émotionnel précocement dans le développement par rapport au groupe contrôle, et que la différence de performance entre les deux groupes QI tend à se réduire au cours du développement du fait de la progression développementale de la flexibilité mentale chez le groupe contrôle.

Les TR à la tâche mesurant la flexibilité mentale (tâche ATS) diffèrent selon le contexte émotionnel, de sorte que les participants sont plus rapides dans le contexte froid que dans le contexte chaud. De plus, les TR diffèrent selon le niveau de QI en contexte chaud uniquement, de sorte que les HPI sont plus lents à 9-11 ans et à 12-14 ans que le groupe contrôle mais pas à 15-20 ans. Spécifiquement chez les HPI, les temps de réaction ne diffèrent pas entre les âges alors que chez le groupe contrôle, les TR en flexibilité mentale chaude évoluent avec l'âge, de manière à ce que les 15-20 ans soient plus lents que les plus jeunes. En flexibilité mentale froide les TR n'évoluent pas, de sorte que les participants du groupe contrôle sont suffisamment rapides en flexibilité mentale froide, dès 9 ans.

Cependant, les résultats doivent être interprétés avec beaucoup de prudence pour deux raisons. La première étant à cause de la conception de la tâche erronée (*i.e.* avec un ordre aléatoire de présentation des stimuli). Classiquement, les deux stratégies possibles doivent alterner tous les *n*èmes essais (*e.g.* tous les 2 essais) de manière à ce que ce soit constant et prévisible pour les participants (Rogers & Monsell, 1995 ; Monsell, 2003). La variabilité due à l'ordre aléatoire d'apparition des stratégies à utiliser a donc pu induire une variabilité importante des TR des participants, indépendamment du contexte émotionnel et de l'âge des participants. La deuxième raison est que l'interaction QI x Age X Contexte émotionnel pour les essais switches n'est pas significative.

Implications et perspectives

De manière générale, les émotions affectent les performances des FE pour l'ensemble des participants, à l'exception de la Stroop pour laquelle le contexte émotionnel n'a pas d'incidence chez les HPI. Toutefois, les HPI semblent être généralement moins impactés par

le contexte émotionnel plus précocement que le groupe contrôle. D'autres études antérieures suggèrent que les HPI sont moins impactés que les non HPI par les informations émotionnelles. Par exemple, dans des jeux de récompense qui engagent des aspects motivationnels et émotionnels en plus du contrôle de soi, les adolescents HPI ont de meilleures performances que les non HPI (Chung et al., 2011 ; Li et al., 2017). Ainsi, les capacités exécutives particulièrement efficaces chez cette population, leurs permettent de mieux résister au contexte émotionnel à ce type de tâches. Nos résultats vont dans ce sens, les HPI ont bien des compétences exécutives supérieures à leurs pairs non HPI et celles-ci se développent plus précocement chez les HPI. Quand ces mêmes FE sont mobilisées dans un contexte émotionnel chargé, les performances des HPI sont donc meilleurs précocement à celles de leurs pairs non HPI. Les hautes capacités intellectuelles sont associées à un fonctionnement différent des processus sous-jacents à la régulation émotionnelle de celui des individus avec un développement typique.

De façon intéressante, les résultats suggèrent une amélioration significative des performances du groupe non HPI au cours du développement. L'écart entre les performances des non HPI et des HPI tend à se réduire au cours du développement, que ce soit en condition froide ou chaude. Cet effet est intéressant et suppose que bien que les compétences intellectuelles confèrent un avantage développemental très tôt à ceux qui ont de hautes compétences, cet avantage tend à se réduire du fait d'une progression des performances entre l'enfance et l'adolescence chez les typiques. Cela pourrait suggérer que les FE des HPI se développent précocement par rapport à une population au développement typique mais que des facteurs développementaux et environnementaux jouent ensuite un rôle crucial pour la progression des FE entre l'enfance et l'adolescence dans la population au développement typique.

Par ailleurs, deux résultats récents suggèrent qu'il existe des différences de performances selon la valence émotionnelle des stimuli chez les HPI. Dans l'étude Li et al. (2020), les performances des HPI sans troubles psychiatriques sont supérieures à celles des non HPI dans une tâche de contrôle de l'interférence face à l'émotion de peur uniquement. Dans l'étude de Urben et al. (2018a), l'émotion de tristesse améliore les performances des HPI alors qu'ils sont moins performants que les non HPI en condition neutre et face aux émotions positives. Ces résultats soulèvent l'hypothèse que la valence émotionnelle peut avoir une incidence différente sur les compétences exécutives des HPI, selon que l'émotion est positive ou négative. Pour explorer cela, des analyses complémentaires sont donc nécessaires pour déterminer si l'effet du contexte affectivement chargé sur les essais incongruents (Stroop), les essais switchs (ATS) et sur la N-back varie en fonction du type d'émotions suscitées (c'est-à-dire peur, colère, joie ou tristesse).

Enfin, cette présente étude s'est intéressée aux trajectoires développementales des FE de 9 ans à 20 ans. Il serait intéressant de poursuivre cette recherche avant l'âge de 9 ans. Cependant, l'identification des enfants à HPI est difficile à réaliser avant l'âge scolaire puisque l'estimation du QI n'est suffisamment stable qu'à partir de 7 ans (Schneider et al., 2014). Une étude longitudinale pourrait pallier ce problème et fournir des résultats plus fiables sur les trajectoires développementales des FE en réduisant la variabilité inter-individuelle.

Limites

Notre expérience comporte au moins trois limitations majeures. La première est liée à la composition de notre échantillon. Les participants HPI ont tous effectué un bilan psychologique, ce qui implique qu'ils aient ressenti un jour le besoin de consulter auprès d'un

spécialiste des maladies mentales. Ceci constitue une différence notable, par rapport à l'échantillon contrôle, qui n'a pas été recruté sur la base d'un bilan psychologique. Il pourrait être pertinent de recruter un échantillon contrôle sur cette base-là ou alors *a minima* de contrôler le facteur de la santé mentale en proposant une évaluation brève des difficultés d'ordre psychologique à l'ensemble des participants. En outre, la collecte de données socio-démographiques pourrait permettre d'analyser leurs influences sur le lien avec les capacités intellectuelles et les capacités de régulation émotionnelle.

La deuxième limite est l'absence de standardisation dans la passation des subtests de similitudes et de matrices au cours de l'expérience. Les participants ont répondu aux subtests sur ordinateur, en individuel sans la présence d'un psychologue pour accompagner et respecter certaines règles de passation ; par exemple la possibilité d'avoir des relances au subtest de similitudes. En outre, les participants ont répondu en tapant sur un clavier d'ordinateur. La validité des notes standards identifiées pour qualifier le niveau intellectuel chez les participants est donc discutable. Il serait intéressant de standardiser et de généraliser la passation sur ordinateur des subtests de similitudes et de matrices, validés comme mesures fiables pour identifier le HPI (Aubry & Boudin, 2018). Cela permettrait de faciliter l'identification du niveau intellectuel avec une version courte pour de futures recherches.

La dernière limite concerne les conditions de passation. Pour les participants ayant réalisé l'expérience en ligne, nous ne pouvons pas contrôler l'environnement dans lequel l'expérience a été effectuée par le participant, alors que les participants en école ont réalisé l'expérience dans une salle, sous la surveillance d'un adulte responsable. Pour pallier ce problème, les participants en ligne et leurs représentants légaux ont été largement informés du besoin de réaliser l'expérience individuellement dans un endroit au calme. De plus, un délai

minimal de 12h entre chaque session était automatique pour les participants en ligne alors que pour les participants en école, ce délai a parfois été raccourci en fonction des créneaux proposés par les établissements. Ces différences dans les conditions de passation entre ceux qui étaient en ligne et ceux qui étaient en école sont critiques car la présence des pairs ou d'un expert (*e.g.* un chercheur ou un professeur) peut influencer la performance des participants à des tâches mesurant spécifiquement les FE chaudes (Bouhours et al., 2021). En effet, la performance des participants s'améliore dans le contexte d'une évaluation par un pair ou un expert à une tâche de Stroop chaud mais pas à une tâche de Stroop froid (Bouhours et al., 2021). La présence d'un expert pour les passations en école a ainsi pu avoir une influence sur la performance des FE chaudes et cela ne peut pas être vérifié pour les participants en ligne.

Modélisation en réseaux des fonctions exécutives & Haut Potentiel Intellectuel

Hilscher, E., Boissin, E., Menu, I., Houdé, O., & Borst, G.

Résumé

L'étude 2 de cette thèse a montré que les trajectoires développementales des fonctions exécutives (FE : contrôle inhibiteur (CI), mémoire de travail (MdT) et flexibilité mentale) froides (*i.e.* contexte neutre affectivement) et chaudes (*i.e.* contexte chargé affectivement) sont différentes selon les capacités intellectuelles. Pour affiner l'exploration des FE froides et chaudes, leur évolution avec l'âge et selon les capacités intellectuelles, nous avons étudié leur organisation dans cette troisième étude. Pour cela nous avons utilisé la modélisation en réseaux qui permet de décrire des systèmes complexes. Les résultats suggèrent que le CI devient progressivement moins central au cours du développement, tandis qu'à partir de l'adolescence, la MdT accroît son rôle dans la population au développement typique. Nous observons que cette évolution s'opère plus précocement chez les HPI puisque la MdT occupe une place prépondérante dès 9-11 ans alors que cela n'apparaît qu'à partir de 15-20 ans chez le groupe au développement typique. Les hauts QI sont donc liés à une réorganisation des FE plus précoce au cours du développement. Enfin, les FE chaudes occupent une place centrale dans les réseaux à 12-14 ans alors qu'à 9-11 ans et à 15-20 ans ce sont les FE froides qui sont prépondérantes. Cette bascule suggère que le développement cognitif s'accompagne d'une réorganisation des FE en fonction du contexte émotionnel autour de 12-14 ans.

Mots clés : Haut potentiel intellectuel, Fonctions exécutives froides et chaudes, Emotion, Développement, Modélisation en réseaux

Introduction

Les fonctions exécutives (FE : contrôle inhibiteur (CI), mémoire de travail (MdT) et flexibilité mentale, Miyake et al., 2000) sont un ensemble de processus cognitifs de haut niveau, essentiels pour la régulation de la pensée, des comportements et des émotions dans l'objectif d'atteindre un but (Diamond, 2013). Ces fonctions sont nécessaires au développement de compétences plus complexes comme le raisonnement (Richland & Burchinal, 2013), la théorie de l'esprit (Benson et al., 2013 ; Marcovitch et al., 2015), la prise de décision (Xu et al., 2020) et la créativité (Cassotti et al., 2016). Elles sont indispensables pour la santé physique et mentale, la réussite scolaire et le développement cognitif, social et psychologique (Diamond, 2013). Beaucoup d'études rapportent un développement précoce des FE froides, c'est-à-dire les FE mesurées dans un contexte émotionnellement neutre, chez les individus à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) par rapport à leurs pairs au développement typique (Arffa, 2007 ; cf. Etude 2). Nous avons vu avec l'étude 2 que même les FE chaudes, c'est-à-dire les FE mesurées dans un contexte émotionnellement chargé, se développent précocement dès 9 ans chez les HPI par rapport à un groupe au développement typique. Nous avons également vu que le CI et la MdT chaudes se développent plus tardivement que le CI et la MdT froides dans une population au développement typique mais pas chez les HPI alors que la flexibilité mentale suit un développement plus tardif que les deux autres FE quel que soit le contexte émotionnel (cf. Etude 2).

Des études ont examiné la structure des FE froides dans une population typique afin de déterminer dans quelle mesure (a) elles reflètent des capacités distinctes ou communes et (b) ces capacités deviennent plus spécifiques avec l'âge. En utilisant la modélisation par équations structurelles (SEM), Miyake et al. (2000) ont proposé une structure hiérarchique

des FE, avec trois facteurs latents représentant chaque domaine des FE. Chez les adultes, ces facteurs latents sont dissociables (*i.e.* diversité des FE), bien qu'ils partagent une proportion importante de variance (*i.e.* unité des FE) (Friedman et al., 2011). Le développement de la structure des FE passe d'un construit unitaire entre les FE en enfance vers une diversité des processus à l'adolescence. Ainsi, les trois FE sont reliées par des processus cognitifs similaires (*i.e.* un facteur commun entre les FE) de 7 à 12 ans alors qu'à l'adolescence (13-15 ans) les FE tendent à se dissocier vers un modèle comprenant 3 facteurs qui se distinguent (Xu et al., 2013).

Bien que des études aient exploré les liens entre l'intelligence et la structure de FE (Friedman et al., 2006 ; Duan et al., 2010), à notre connaissance, aucune étude n'a examiné la structure des FE froides et chaudes et spécifiquement chez une population HPI. Les FE sont corrélées à l'intelligence à 11-12 ans lorsque l'intelligence est mesurée à l'aide de matrice de Raven (Duan et al., 2010) et à 16-18 ans avec une mesure de l'intelligence par les matrices de Raven et des subtests de la WAIS évaluant l'intelligence fluide et cristallisée (Friedman et al., 2006). En outre, la MdT est la seule FE fortement corrélée à l'intelligence tandis que les corrélations avec le CI et la flexibilité mentale deviennent moins significatives à 11-12 ans et à 16-18 ans lorsque l'on contrôle les corrélations inter-FE dans les SEM (Duan et al., 2010 ; Friedman et al., 2006). La MdT semble être ainsi une FE particulièrement liée à l'intelligence fluide et cristallisée dès l'adolescence.

Une autre façon de comprendre l'organisation des FE, leur évolution avec l'âge et selon les capacités intellectuelles, est d'utiliser la modélisation en réseaux. Il s'agit d'une approche basée sur la théorie des graphes qui permet de décrire la structure de systèmes complexes. Le principe sous-jacent de la modélisation en réseaux est que les variables sont représentées

comme des nœuds interconnectés par des intersections (plus les intersections sont épaisses, plus l'interconnexion est forte). Le graphe complet (nœuds et intersections) résume le schéma des relations entre les éléments (Barabási, 2012). En SEM, la variance partagée des variables observées (par exemple, les scores aux tâches de Stroop et de Stop Signal) est supposée refléter un construit latent (par exemple, le CI) alors que pour la modélisation en réseaux, la variance partagée est supposée refléter un réseau causal (van Bork et al., 2021) entre les différentes variables intégrées dans le réseau.

La modélisation en réseaux appliquée aux FE nous permet d'identifier les nœuds (*i.e.* une tâche spécifique mesurant une FE froide ou chaude) qui jouent un rôle pivot dans l'ensemble du réseau (*i.e.* différentes tâches mesurant les FE froides et chaudes). En outre, la modélisation en réseaux permet de tester des modèles théoriques sur la façon dont les structures des FE se transforment avec l'âge et, plus précisément, sur les composants qui peuvent devenir plus centraux dans le traitement exécutif général, et par conséquent, avoir une plus grande influence sur d'autres FE avec l'âge.

En utilisant cette approche, nous avons cherché à déterminer s'il existe des différences qualitatives et quantitatives dans l'organisation des FE froides et chaudes selon les capacités intellectuelles au cours du développement. À cette fin, nous avons évalué la performance à des tâches évaluant les FE froides et chaudes (Stroop version froide et chaude pour le CI, N-back version froide et chaude pour la MdT, Alternate task-switching (ATS) version froide et chaude pour la flexibilité mentale ; *cf.* Etude 2) chez des enfants et adolescents HPI et non HPI (*cf.* Etude 2). En se basant sur l'hypothèse que les HPI ont une avance développementale des FE froides et chaudes dès 9-11 ans par rapport à leurs pairs au développement typique (*cf.* Etude 2), nous nous attendons à ce que le réseau du groupe contrôle HPI soit stable dès 9-11

ans tandis que celui du groupe contrôle devrait différer en fonction de l'âge. De plus, si la MdT est la FE la plus corrélée avec l'intelligence (Duan & Shi, 2010 ; Friedman et al., 2006), nous nous attendons à ce que la version froide et chaude de la N-back soient interconnectées et centrales dans les réseaux dès 9-11 ans chez les HPI alors qu'elles le seraient plus tardivement, à 12-14 ans voir à 15-20 ans, chez le groupe au développement typique. Enfin, si le CI et la MdT chaudes sont marquées par un développement plus tardif que le CI et la MdT froides dans une population au développement typique (*cf.* Etude 2), alors les FE chaudes devraient être plus centrales et interconnectées à 9-11 ans et à 12-14 ans chez la population au développement typique mais pas nécessairement chez les HPI pour qui le développement des FE chaudes n'est pas plus tardif. Cette étude est préliminaire compte-tenu de la taille de l'échantillon qui n'est pas suffisamment conséquente. Elle nous permet de tester ces hypothèses avant de les reproduire dans un échantillon plus grand et indépendant.

Méthode

Participants

Pour cette étude, nous avons recruté 180 participants âgés entre 9 et 20 ans. Le groupe HPI est constitué de 71 participants avec un QI > 125. Le groupe au développement typique est composé de 109 participants avec un QI situé entre -1 ou +1 écart-type de la moyenne. Les participants sont répartis selon trois groupes d'âge :

- Groupe 9 – 11 ans
 - 21 participants HPI (4 filles, 20 droitiers, 10,19 ± 0,75 ans),
 - 21 participants contrôle (11 filles, 18 droitiers, 11 ans)

- Groupe 12 – 14 ans :
 - 29 participants HPI (8 filles, 26 droitiers, $12,86 \pm 0,83$ ans)
 - 60 participants contrôle (34 filles, 55 droitiers, $13,33 \pm 0,73$ ans)
- Groupe 15 – 20 ans :
 - 21 participants HPI (6 filles, 20 droitiers, $15,86 \pm 1,06$ ans)
 - 28 participants contrôle (16 filles, 24 droitiers $15,93 \pm 1,12$ ans)

La constitution et le recrutement de l'échantillon sont décrits de façon plus exhaustive dans l'étude 1 et 2 (*cf.* Etude 1, Etude 2).

Pour la modélisation en réseau, nous n'avons gardé que les participants pour lesquels aucune donnée n'était manquante. Au total, les analyses ont été conduites avec les données de 158 participants (106 participants dans le groupe contrôle et 52 dans le groupe HPI). Parmi les 52 participants HPI, 13 étaient âgés entre 9 et 11 ans, 21 entre 12 et 14 ans et 18 entre 15 et 20 ans, tandis qu'il y avait 21 participants contrôles âgés entre 9 et 11 ans, 60 entre 12 et 14 ans et 25 entre 15 et 20 ans.

Matériel et procédure

Evaluation des FE. Pour évaluer le développement des FE de l'enfance à l'adolescence en fonction du contexte émotionnel, les participants ont effectué une tâche mesurant le contrôle inhibiteur (Stroop), une tâche mesurant la flexibilité cognitive (ATS) et une tâche mesurant la mémoire de travail (N-back). Pour chaque tâche, il existe une version chaude (*i.e.* avec la manipulation expérimentale d'ajout d'informations émotionnelles) et une version froide (*c'*-à-d sans manipulation expérimentale du contexte émotionnel) (*cf.* Etude 2, section matériel et procédure).

Construction et analyse des réseaux. La modélisation en réseau a été réalisée avec le logiciel JASP (JASP Team, 2022). La modélisation en réseau utilisée est un modèle graphique gaussien (Lauritzen, 1996), dans lequel les nœuds représentent les variables observées et les intersections représentent les coefficients de corrélation partielle entre deux variables, en contrôlant l'effet des autres variables. Les réseaux ont été construits sur la base des matrices de corrélations partielles à partir des scores de performances aux tâches mesurant les FE froides et chaudes, selon les trois groupes d'âges (*i.e.* 9-11 ans, 12-14 ans et 15-20 ans) et selon les deux groupes QI (*i.e.* groupe HPI et groupe au développement typique). Six réseaux (1 par tranche d'âge pour chacun des deux groupes QI) ont été estimés. Ces réseaux comprennent 6 nœuds qui correspondent aux 6 tâches évaluant les FE froides et chaudes (Stroop froid et chaud pour le CI, N-back froid et chaud pour la MdT et ATS froid et chaud pour la flexibilité mentale).

La modélisation en réseau a été utilisée pour analyser (1) les relations multiples entre les différentes tâches mesurant les FE en version froide et chaude (nœuds) simultanément et (2) comment ces relations changent au cours du développement (9-11 ans, 12-14 ans vs 15-20 ans) selon les capacités intellectuelles (groupe HPI vs groupe au développement typique). Nous avons utilisé la procédure par étapes successives proposée pour l'analyse de réseau en psychologie : (1) estimation visuelle du réseau et (2) analyse inférentielle du réseau (caractérisation des réseaux) (Fried et al., 2018, Menu et al., 2022).

Caractérisation des réseaux. Les réseaux ont été caractérisés en utilisant des mesures quantitatives et qualitatives. Trois mesures classiques de centralité ont été utilisées pour caractériser quantitativement le réseau au niveau des nœuds (Opsahl et al., 2010) : l'interdépendance (*betweenness* en anglais ; quantifie la fréquence à laquelle un nœud

spécifique est traversé par les intersections les plus courtes rejoignant d'autres nœuds entre eux), la proximité (*closeness* en anglais ; soit l'inverse de la longueur additionnée de toutes les intersections les plus courtes entre un nœud et les autres nœuds) et la force (*strength* en anglais ; soit la somme des intersections directes d'un nœud vers tous les autres nœuds). La force (F) apporte une mesure de la connexion d'un nœud avec le reste du réseau, de sorte qu'une force plus élevée indique qu'un nœud (tâche) est plus fortement connecté à d'autres nœuds (tâches). L'interdépendance (I) mesure comment le nœud est central en connectant les autres nœuds entre eux, de sorte qu'une interdépendance élevée indique qu'un nœud (tâche) est fréquemment traversé par d'autres intersections. La proximité (P) mesure la force du lien indirect d'un nœud avec le réseau, de sorte qu'une proximité plus élevée indique qu'un nœud (tâche) est davantage lié, même indirectement à d'autres nœuds (tâches).

Résultat

Nous avons étudié les effets des capacités intellectuelles sur le développement de l'organisation des FE froides et chaudes en utilisant des réseaux à 6 nœuds.

Estimation visuelle des réseaux

Analyse développementale du groupe HPI (cf. Figure 21-A). L'analyse visuelle indique que les réseaux sont différents entre les âges chez le groupe HPI. A 9-11 ans, on repère une organisation divisée en deux pôles avec les deux versions de la N-back (Nœuds 2 et 5) qui sont fortement interconnectées et liées avec la tâche de Stroop froide puis les deux versions de l'ATS qui sont légèrement interconnectées (Nœuds 3 et 6) et liées avec les deux versions de la

tâche de Stroop (Nœuds 1 et 4). A 12-14 ans, les connexions sont plus nombreuses et sont renforcées entre les versions froides et chaudes de chaque tâche (Stroop : nœuds 1 et 4 ; N-back : nœuds 2 et 5 ; ATS : nœuds 3 et 6). A 15-20 ans, les tâches de N-back version froide et chaude (Nœud 2 et 5) sont fortement interconnectées et plus indépendantes par rapport au reste du réseau. La Stroop chaude (Nœud 1) maintient des connexions ténues avec l'ensemble du réseau.

Analyse développementale du groupe au développement typique (cf. Figure 22-A).

L'analyse visuelle indique que les réseaux sont différents entre les âges chez le groupe au développement typique. A 9-11 ans, les deux versions froides et chaudes de la Stroop (Nœuds 1 et 4) sont fortement interconnectées et sont très liées à tous les autres nœuds du réseau. A 12-14 ans, les connexions sont plus nombreuses, notamment entre les versions froides et chaudes de chaque tâche. A 15-20 ans, les connexions sont plus nombreuses et renforcées, avec notamment une interconnexion forte entre la N-back froide et la N-back chaude et entre la N-back chaude et l'ATS froide (Nœud 6).

Comparaison des deux groupes de QI (cf. Figure 21-A, 22-A). A chaque tranche d'âge, les réseaux sont très différents entre les deux groupes de QI mais pour les deux groupes, les connexions augmentent et se renforcent avec l'âge. On repère une interconnexion marquée entre les deux versions de la N-back à 9-11 chez les HPI, cette connexion n'apparaît qu'à partir de 12-14 ans chez le groupe au développement typique.

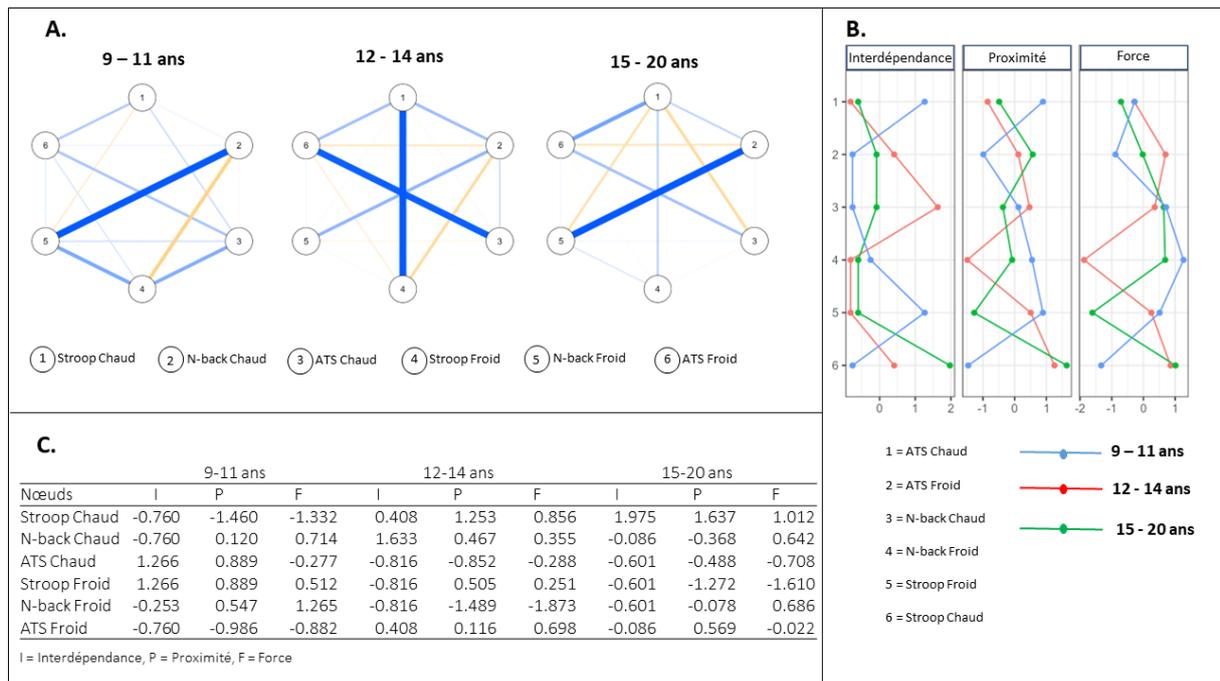


Figure 21. Les six nœuds des réseaux du groupe HPI selon le groupe d'âge (9-11 ans, 12-14 ans et 15-20 ans) (A) avec les graphes des trois indices de centralité (B) et le tableau des trois indices de centralité correspondants (C). Chaque numéro dans le réseau et dans le graphique correspond à une tâche (voir les détails en légende).

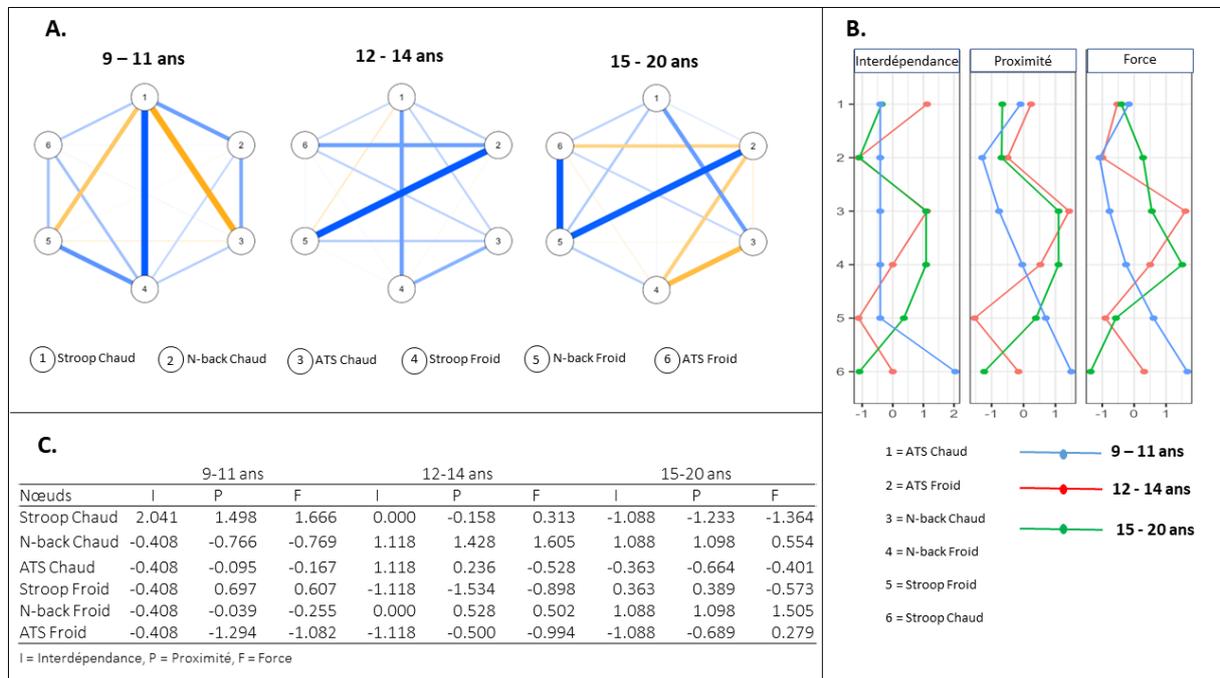


Figure 22. Les six nœuds des réseaux du groupe au développement typique selon le groupe d'âge (9-11 ans, 12-14 ans et 15-20 ans) (A) avec les graphes des trois indices de centralité (B) et le tableau des trois indices de centralité correspondants (C). Chaque numéro dans le réseau et dans le graphique correspond à une tâche (voir les détails en légende).

Analyse inférentielle des réseaux

L'estimation visuelle du réseau est suivie d'une analyse quantitative à l'aide des indices classiques présentés sur les graphes et les tableaux (cf. Figure 21-B-C, 22-B-C).

Analyse développementale du groupe HPI (cf. Figure 21-B-C). Chez les HPI âgés de 9-11 ans, la tâche de Stroop froide ($F = 0,512$, $P = 0,889$, $I = 1,266$), de la tâche N-back froide ($F = 1,265$) et de la tâche de N-back chaude ($F = 0,714$) sont les nœuds centraux du réseau. L'ATS chaude est liée de manière indirecte au reste du réseau et elle est fréquemment traversée par les autres intersections reliant d'autres nœuds ($F = -0,277$, $P = 0,889$, $I = 1,266$). A 12-14 ans, le réseau devient plus complexe et la version chaude des tâches occupent une place plus centrale que la version froide. Les trois indices de centralité diminuent pour la Stroop froide et la N-back froide. Les nœuds les plus centraux à 12-14 ans sont les tâches de Stroop chaude ($F = 0,856$, $P = 1,253$, $I = 0,408$), N-back-chaude ($F = 0,355$) et ATS froide ($F = 0,698$, $P = 0,116$, $I = 0,408$). A 15-20 ans, tous les indices de centralité augmentent pour la tâche Stroop chaude qui devient le nœud le plus central du réseau ($F = 1,012$, $P = 1,637$, $I = 1,975$). Les deux tâches de N-back froide et chaude sont fortement connectées au reste du réseau (N-back froide, $F = 0,686$; N-back chaude, $F = 0,642$). ATS froide est liée au réseau mais seulement de façon indirecte ($P = 0,569$). Ainsi à 15-20 ans, les nœuds centraux sont les tâches Stroop chaude, N-back froide et chaude et ATS froide de façon indirecte.

Analyse développementale du groupe au développement typique (cf. Figure 22-B-C). Pour le groupe au développement typique âgé de 9-11 ans les deux versions de la Stroop (Stroop chaude, $F = 1,666$, $P = 1,498$, $I = 2,041$; Stroop Froide, $F = 0,607$, $P = 0,697$, $I = -0,408$) sont les nœuds centraux du réseau. Tous les indices de centralité diminuent fortement pour la tâche de Stroop version froide et un peu moins fortement pour la Stroop version chaude

qui reste connectée aux autres nœuds du réseau ($F = 0,313$) à 12-14 ans. Les deux versions de la N-back sont désormais centrales dans le réseau et plus particulièrement la version chaude de la tâche (N-back chaude, $F = 1,605$, $P = 1,428$, $I = 0,000$; N-back froide, $F = 0,502$, $P = 0,528$, $I = 0,000$). Enfin, ATS version chaude est liée mais de manière indirecte au reste du réseau et elle est fréquemment traversée par les autres intersections reliant d'autres nœuds ($P = 0,236$, $I = 1,118$). Ainsi, les indices de centralité augmentent pour toutes les tâches versions chaudes à 12-14 ans. A 15-20 ans, tous les indices de centralité diminuent pour les versions chaudes de chacune des tâches. Les indices de centralité augmentent fortement pour la tâche N-back froide qui devient le nœud le plus central du réseau ($F = 1,505$, $P = 1,098$, $I = 1,088$). La tâche de N-back chaude reste un nœud central même si les indices diminuent légèrement. Enfin, les indices d'interdépendance et de proximité augmentent pour la version froide de la Stroop ($F = -0,573$, $P = 0,389$, $I = 0,363$) et l'indice de force augmente pour la version froide de l'ATS ($F = 0,279$). Ainsi à 15-20 ans, les nœuds centraux sont les tâches N-back froide et chaude, Stroop froide et ATS froide.

Comparaison des deux groupes de QI. A chaque tranche d'âge, les réseaux sont très différents entre les deux groupes de QI. Il est intéressant de constater que les nœuds les plus centraux chez les HPI à 9-11 ans sont les deux versions de la N-back et la tâche Stroop froide, ce qui est très similaire à partir de 15-20 ans chez le groupe au développement typique. De plus, les versions chaudes des tâches sont centrales à 12-14 ans pour les deux groupes de QI, alors qu'elles le sont moins à 9-11 ans et à 15-20 ans. Elles sont tout de même plus nombreuses à être centrales chez le groupe au développement typique par rapport au groupe HPI. Enfin, l'ATS occupe une place à part dans les réseaux, elle est centrale en étant principalement indirectement reliée au réseau à partir de 9-11 ans chez les HPI et à partir de 12-14 ans chez le groupe au développement typique.

Discussion

Dans cette étude, nous réalisons la première analyse de modélisation en réseau des changements de structure des FE froides et chaudes selon les capacités intellectuelles. Nous avons supposé que la réorganisation des FE au cours du développement serait différente selon les capacités intellectuelles et selon le contexte émotionnel.

Des différences quantitatives et qualitatives ont été détectées dans la structure des réseaux des FE froides et chaudes entre les 9-11 ans, les 12-14 ans et les 15-20 ans. L'estimation visuelle des réseaux n'indique pourtant pas une franche augmentation du nombre de connexions ou un renforcement des connexions entre l'enfance et l'adolescence, contrairement à ce qui a déjà été montré (Hartung et al., 2020 ; Menu et al., 2022). Les résultats montrent toutefois une réorganisation des FE au cours de l'âge avec la prépondérance de la Stroop à 9-11 ans, puis progressivement la spécialisation de la N-back entre 12-14 ans et 15-20 ans pour le groupe contrôle. Pour le groupe HPI, la réorganisation est différente car dès 9-11 ans, la N-back et la Stroop sont centrales dans le réseau. Progressivement, les FE se spécialisent avec une connexion forte inter-FE (*i.e.* entre les versions froides et chaudes de chaque tâche) à 12-14 ans, puis la Stroop version chaude et les deux versions de la N-back deviennent centrales à 15-20 ans. Ces résultats montrent pour la première fois que l'organisation des FE varie au cours du développement selon les capacités intellectuelles.

Il est possible que cette réorganisation développementale des FE soit en partie médiée par l'inclusion des FE chaudes dans les réseaux. En effet, une bascule est observée autour de 12-14 ans entre les FE froides et chaudes pour les deux groupes de QI. Les FE froides sont

prépondérantes dans les réseaux à 9-11 ans et à 15-20 ans alors qu'à 12-14 ans, les indices de centralité diminuent pour les versions froides mais ils augmentent pour les FE chaudes qui deviennent centrales. Cette bascule est particulièrement importante pour le groupe contrôle. Ces résultats suggèrent pour la première fois que le développement cognitif typique s'accompagne d'une réorganisation des FE en fonction du contexte émotionnel autour de 12-14 ans, en effet les FE chaudes sont centrales dans le réseau à 12-14 ans alors qu'elles ne le sont pas ou peu à 9-11 ans et à 15-20 ans. Ces résultats supposent que les émotions occupent une place importante dans l'organisation des FE autour de 12-14 ans, ce qui est en adéquation avec la théorie de Casey qui postule pour un développement non-linéaire des FE spécifiquement à l'adolescence (Casey, 2015). Ce développement non-linéaire est causé par le déséquilibre d'un réseau sous-cortical émotionnel hyperactif face à des stimuli émotionnels et d'un réseau préfrontal encore immature à l'adolescence entre 13 et 17 ans (Somerville et al., 2011). Nous avons également repéré que la tâche de Stroop version chaude est centrale chez les HPI à 15-20 ans alors qu'elle ne l'est pas au même âge chez le groupe au développement typique. Il serait intéressant de poursuivre cette étude en élargissant le recrutement, notamment entre 15 et 20 ans, afin de cerner plus finement les différences entre les deux groupes de QI dans le développement plus tardif et d'en comprendre les implications.

L'analyse de la centralité a également révélé que la Stroop froide et la Stroop chaude (*i.e.* mesurant le CI froid et chaud) sont centrales dans le réseau des FE du groupe contrôle à 9-11 ans. Ces résultats corroborent ceux d'études antérieures d'après lesquelles le CI est central pour que les enfants puissent utiliser d'autres FE (Best et al., 2011 ; Huizinga et al., 2006 ; Isquith et al., 2004). Selon ces études, avec l'âge et le développement des FE, le CI devient moins central, tandis qu'à l'adolescence et à l'âge adulte, la MdT accroît son rôle dans la régulation des FE (Best et al., 2011 ; Huizinga et al., 2006 ; Isquith et al., 2004), ce qui est

également confirmé avec nos résultats pour le groupe au développement typique. La N-back froide et la N-back chaude (*i.e.* MdT version froide et chaude) deviennent les nœuds les plus centraux tandis que les indices de centralité diminuent pour la Stroop à partir de 15-20 ans pour le groupe au développement typique. De façon intéressante, les réseaux indiquent que la N-back froide et la N-back chaude sont centrales dès 9-11 ans chez le groupe HPI, ce qui suggère que la MdT occupe une place centrale plus tôt chez les HPI par rapport au groupe au développement typique. Par extension, le réseau du groupe au développement typique à 15-20 ans partage de nombreuses similarités avec le réseau à 9-11 ans des HPI puisque les deux versions de la N-back et la Stroop froide sont centrales au sein de ces deux réseaux. Ces résultats suggèrent que les compétences intellectuelles supérieures sont liées à un développement de l'organisation des FE plus précoce chez les HPI avec une prépondérance de la MdT dès 9-11 ans chez les HPI qui n'apparaît qu'à 15-20 ans chez le groupe au développement typique.

Enfin, une étude récente a souligné le rôle de plus en plus critique de la flexibilité mentale au cours du développement, elle agirait comme un médiateur entre la CI et la MdT à partir de l'adolescence (Karr et al., 2022). Dans notre étude, l'ATS (*i.e.* la flexibilité mentale) semble jouer un rôle indirect dans les réseaux comme l'indiquent les indices d'interdépendance et de proximité. La flexibilité mentale pourrait constituer une sorte de « pont » entre les autres variables (*i.e.* CI et MdT) chez le groupe au développement typique à 12-14 ans. Ce rôle de médiateur arriverait plus précocement chez les HPI puisque dès 9-11 ans les indices d'interdépendance et de proximité sont élevés pour l'ATS version chaude.

La modélisation en réseau constitue un moyen original et pertinent d'étudier les différences développementales sur l'organisation des FE froides et chaudes selon le niveau

des capacités intellectuelles. Cette première étude exploratoire présente plusieurs limites qui appellent à la prudence quant à l'interprétation des résultats. Premièrement, la taille de l'échantillon est une question essentielle pour la fiabilité de l'analyse statistique, en particulier pour l'analyse des réseaux (Epskamp, Borsboom, & Fried, 2018). Par conséquent, malgré la taille relativement importante de l'échantillon utilisé dans cette étude chez les enfants et les adolescents (N = 180), il est important de reproduire les résultats avec des études menées sur des échantillons plus importants et indépendants. De plus, selon ces récentes recommandations pour valider la fiabilité de l'interprétation des réseaux (Epskamp et al., 2018), la vérification de la précision de l'estimation des réseaux et de la stabilité des indices de centralité pour l'analyse inférentielle (*i.e.* l'interprétation reste similaire avec moins d'observations) serait à mener dans une future recherche pour valider ces résultats.

Etude

4

Développement du raisonnement intuitif & Haut Potentiel Intellectuel

Hilscher, E., Boissin, E., Houdé, O., De Neys, W., & Borst, G.

Résumé

Le développement cognitif des individus à Haut Potentiel Intellectuel (HPI) est caractérisé par un développement précoce des fonctions exécutives (FE) et de meilleures capacités en raisonnement logique par rapport aux individus avec un développement cognitif typique. Cette étude examine si les meilleures compétences logiques relèvent d'une capacité accrue à inhiber une heuristique trompeuse ou de l'émergence d'intuitions logiques plus précocement que chez les non-HPI. Pour cela, les performances de personnes HPI et non HPI (âgés de 10 à 17 ans) ont été comparées au problème de la batte et de la balle (Frederick, 2005) et en utilisant le paradigme à deux réponses qui permet de distinguer si la réponse fournie par les participants est de nature intuitive ou délibérée. Les résultats montrent que le raisonnement se développe entre 10 et 17 ans et que la progression des performances est davantage liée aux réponses intuitives logiques qu'à leur correction délibérée. De plus, les HPI génèrent plus d'intuitions correctes que les individus avec un quotient intellectuel (QI) dans la norme, et, ils génèrent des intuitions logiques plus précocement en comparaison au groupe avec un QI dans la norme. Le développement du raisonnement est davantage lié à la capacité à générer des intuitions logiques et cette capacité est plus précoce chez les personnes avec un QI élevé.

Mots clés : Haut potentiel intellectuel, Raisonnement, Intuitions logiques, Développement

Introduction

Les personnes HPI sont définies comme des personnes ayant des capacités intellectuelles supérieures. Avec les études 2 et 3, nous avons montré que les adolescents dotés de ces compétences intellectuelles supérieures présentaient une trajectoire développementale spécifique en ce qui concerne les FE : les HPI auraient un développement des FE précoce par rapport à celui des enfants et adolescents non HPI. Ces FE sont cruciales durant le développement cognitif car elles sont nécessaires au développement de compétences plus complexes comme par exemple le raisonnement (Diamond, 2013 ; Richland & Burchinal, 2013). Il n'est donc pas étonnant que le développement précoce des FE s'accompagne d'un développement précoce des compétences de raisonnement chez les HPI (Kokis et al., 2002). Il reste toutefois à déterminer si ces meilleures compétences logiques relèvent d'une capacité accrue à inhiber une heuristique trompeuse ou de l'émergence d'intuitions logiques plus précocement que chez les non-HPI.

Une explication des meilleures performances chez les HPI à des tâches de raisonnement pourraient provenir de leur plus grande capacité pour corriger des intuitions erronées (Evans, 2011). D'après le modèle à double processus, les raisonneurs ont tendance à utiliser majoritairement le système intuitif, rapide, et peu coûteux en ressources cognitives, au détriment du système délibéré, long et coûteux, par souci d'économie (Evans & Stanovich, 2013 ; Kahneman, 2011). Les raisonneurs qui parviennent à résoudre correctement les tâches de raisonnement corrigeraient leur réponse intuitive erronée (ou heuristique trompeuse) après avoir pris le temps de délibérer (Evans & Stanovich, 2013 ; Kahneman, 2011 ; Kahneman & Frederick, 2005 ; Morewedge & Kahneman, 2010). Compte-tenu de l'effort mental à engager pour corriger les biais de raisonnement, on observe généralement de faibles

performances à ces tâches. Ce raisonnement biaisé a été montré dans de nombreuses tâches, notamment avec le problème de la batte et de la balle (Frederick, 2005) dans lequel il est dit :

Une batte et une balle coûtent ensemble 1€10. La batte coûte 1€ de plus que la balle.

Combien coûte la balle ?

De façon intuitive, la plupart des raisonneurs concluent rapidement que la balle doit coûter "10 centimes". Cependant, si la balle coûte 10 centimes et que la batte coûte 1€ de plus, alors la batte coûterait 1€10. Si la batte coûte 1€10, le total serait alors de 1€20 et non de 1€10 comme indiqué dans la consigne. Après réflexion, il apparaît que la balle doit coûter 5 centimes et que la batte - qui coûte 1€ de plus - coûte 1€05. Ceux qui parviennent à résoudre correctement ce genre de problèmes sont ceux dont la capacité cognitive est la plus élevée car ils seraient plus à même de corriger leur réponse intuitive (De Neys, 2006 ; De Neys & Verschueren, 2006 ; Evans & Stanovich, 2013 ; Kanheman, 2011 ; Kokis et al., 2002 ; Stanovich, 2011 ; Stanovich & West, 2000, 2008 ; Toplak et al., 2011).

Toutefois, d'après de récentes études, les réponses correctes peuvent parfois être intuitives et ne doivent pas nécessairement être corrigées (Bago & De Neys, 2017 ; 2019). Pour tester cette hypothèse, des auteurs ont utilisé le paradigme à deux réponses (*two-response paradigm*, Thompson et al., 2011) qui permet de distinguer si la réponse fournie par les participants est de nature intuitive ou délibérée. Dans le paradigme à deux réponses les participants doivent fournir deux réponses consécutives à un même problème. La première réponse, la réponse intuitive, doit être donnée sous contrainte temporelle et sous charge cognitive afin de limiter la délibération. Ensuite, les participants répondent une seconde fois, sans contrainte temporelle et sans charge cognitive, et peuvent ainsi donner une réponse délibérée qui corrige ou non leur première réponse intuitive. Les résultats montrent que les

bons raisonneurs donnent souvent déjà une réponse intuitive correcte (Bago & De Neys, 2017 ; 2019). Ils donnent plus de réponses correctes finales quand la réponse initiale était correcte ; que de réponses correctes finales quand la réponse initiale était incorrecte (Bago & De Neys, 2017 ; 2019). Ces résultats suggèrent que la délibération n'est pas toujours nécessaire pour raisonner correctement puisque les intuitions peuvent conduire à des réponses correctes.

Cette nouvelle conception du raisonnement humain remet donc en question le modèle du double processus qui suppose que le raisonnement repose sur la délibération et notamment chez ceux qui possèdent des capacités cognitives et intellectuelles supérieures. Des études suggèrent que les personnes disposant de capacités cognitives plus élevées auraient simplement des intuitions plus efficaces (Raoelison et al., 2021 ; Reyna, 2012 ; Reyna & Brainerd, 2011 ; Thompson et al., 2018). Pour tester cela, Raoelison et al. (2020) ont mesuré les capacités cognitives à travers les matrices progressives de Raven de leurs participants adultes et leurs performances de raisonnement en utilisant le paradigme à deux réponses (Bago & De Neys, 2017 ; Thompson et al., 2011). Les résultats indiquent que, bien que les capacités intellectuelles soient associées au raisonnement délibéré, elles étaient plus prédictives de la réponse intuitive correcte. Cela valide l'idée que les adultes avec les plus hautes capacités intellectuelles seraient meilleures grâce à des intuitions correctes (Raoelison et al., 2020).

En outre, l'adolescence est une période cruciale pour le développement du raisonnement, notamment entre 8 et 15 ans (Toplak & Flora, 2021). D'après Toplak et Flora (2021), la réussite aux problèmes de raisonnement dans lesquels les participants doivent corriger leur réponse intuitive, semble être liée aux capacités intellectuelles des participants.

Toutefois, aucune étude n'a directement testé si des capacités intellectuelles supérieures étaient associées à de meilleures capacités de raisonnement logique chez l'adolescent car elles favoriseraient leurs intuitions logiques comme chez l'adulte.

Il existe des preuves indirectes qui suggèrent que les capacités intellectuelles pourraient impacter le raisonnement intuitif à l'adolescence. Notamment, il a été montré chez des adolescents au développement typique que les intuitions se développent avec l'âge. Les adolescents les plus âgés (*i.e.* les élèves de terminale âgés entre 17 et 18 ans) présentent de meilleures performances intuitives que les adolescents les plus jeunes (*i.e.* les élèves de cinquième âgés entre 12 et 13 ans) (Raoelison et al., 2021). Cela suggère qu'au cours du développement, les adolescents raisonnent de manière plus logique car ils développent des intuitions logiques et non pas parce qu'ils s'engagent plus systématiquement dans un mode de pensée plus délibérative.

Compte-tenu du lien entre les FE et le développement du raisonnement (Diamond, 2013 ; Richland & Burchinal, 2013) et du fait que les FE se développent plus précocement chez les HPI (Arffa, 2007 ; étude 2), nous pouvons émettre l'hypothèse que les adolescents HPI pourraient présenter de meilleures capacités de raisonnement logique car ils ont développé plus précocement des intuitions logiques. Nous nous intéressons donc avec cette quatrième étude au développement des capacités de raisonnement intuitif entre 10 et 17 ans, pour déterminer si celui-ci pourrait être influencé par le QI des adolescents HPI.

Dans cette étude, nous allons comparer les performances dans une tâche de raisonnement logique (problème de la balle et de la batte) dans un paradigme à deux réponses chez des adolescents HPI et non HPI scolarisés en début de secondaire (âgés de 11 ans en moyenne), milieu de secondaire (âgés de 13 ans en moyenne) et fin de secondaire (âgés de

15 ans en moyenne). Compte-tenu du lien entre capacités cognitives et performances en raisonnement, nous nous attendons à ce que les adolescents HPI de tout âge aient de meilleures performances que les adolescents non HPI, et ce, même au niveau des réponses intuitives. De plus, nous nous attendons à une amélioration des performances au cours de l'adolescence pour les deux groupes tant au niveau des réponses intuitives que délibérées. Cependant, la réussite des HPI devrait être plus précoce à celle du groupe contrôle, et, notamment, au niveau des intuitions logiques. Cette étude est préliminaire. Elle nous permet de tester ces hypothèses avant de les reproduire dans un échantillon plus grand.

Méthode

Participants

Au total, 105 participants français scolarisés de la 6^{ème} à la 1^{ère} dans une école privée française spécialisée dans l'accueil d'élèves tout-venant et d'élèves HPI, ont participé à l'étude. Le critère d'inclusion des participants HPI est un quotient intellectuel supérieur ou égal à 125 mesuré avec les échelles Wechsler (WISC-IV : Wechsler, 2005, WISC-V : Wechsler, 2016, WAIS-IV : Wechsler, 2011) mesuré par un psychologue. Le groupe HPI était composé de 56 participants (13 femmes, 41 hommes et 2 sexes neutres, âge moyen = $13,65 \pm 2,04$) tandis que le groupe contrôle en comportait 49 (17 femmes et 32 hommes, âge moyen = $14,16 \pm 1,97$).

Afin de contrôler le niveau intellectuel de nos deux groupes, nous avons utilisé les subtests de similitudes et de matrices (WISC-V : Wechsler, 2016, WAIS-IV : Wechsler, 2011) pour tester le niveau intellectuel verbal et fluide des participants. Ces deux subtests sont les

plus fiables pour identifier le HPI (Aubry & Bourdin, 2018). Un total de 12 participants du groupe contrôle, dont 7 qui présentaient des scores inférieurs ou supérieurs à la normalité à l'un des deux subtests (c.-à-d., des notes standard égales ou inférieures à 7 ou égales ou supérieures à 13) et 5 pour lesquels une erreur de programmation ne nous a pas permis de collecter de telles données, a été exclu de l'étude. Une différence significative a été trouvée pour le subtest de similitudes entre le groupe HPI ($M = 10,43 \pm 2,39$) et le groupe contrôle ($M = 10,30 \pm 1,96$), $t(82) = 3.78$, $p < .001$, $d = .83$. Tandis qu'aucune différence significative entre les groupes n'a été trouvée pour les scores au subtest de matrices (moyenne groupe HPI = $10,43 \pm 2,39$, moyenne groupe contrôle = $10,30 \pm 1,96$, $t(82) = 0.26$, $p = .79$, $d = .06$).

Nous avons analysé les données des 83 participants (37 participants dans le groupe contrôle et 56 dans le groupe HPI). Parmi les 56 participants HPI, 22 élèves étaient en début de secondaire (6ème et 5ème), 16 en milieu de secondaire (4ème et 3ème) et 18 en fin de secondaire (2nd et 1ère), tandis qu'il y avait 17 participants contrôles en début de secondaire, 11 en milieu de secondaire et 9 en fin de secondaire.

L'étude a été menée en accord avec les normes nationales et internationales qui régissent la participation d'humains à la recherche. La participation se faisait sur la base du volontariat, après l'obtention, d'un consentement éclairé des participants mineurs et de leurs responsables légaux.

Matériel

La batte et la balle (bat-and-ball problem). Des problèmes de la batte et de la balle tirés de Raelison et De Neys (2019), traduits de l'anglais au français, ont été présentés aux

participants. Il s'agissait de versions modifiées du problème de la batte et de la balle (e.g. : " Dans une entreprise, il y a 150 hommes et femmes au total. Il y a 100 hommes de plus que de femmes. Combien de femmes y a-t-il ?"), qui utilisait des quantités plutôt que des prix (Bago & De Neys, 2019 ; Raelison & De Neys, 2019). Les participants devaient sélectionner la bonne réponse parmi quatre choix de réponse composés de (1) la bonne réponse (c'est-à-dire " 5 centimes " dans le problème original de la batte et de la balle, (2) la réponse intuitive heuristique (c.-à-d. "10 centimes" dans le problème original de la batte et de la balle), (3) une option qui était la somme des réponses correctes et des réponses heuristiques (c.-à-d. "15 centimes"), et (4) une dernière option qui correspondait au deuxième plus grand diviseur commun (c.-à-d. "1 centime").

D'un point de vue mathématique, l'équation correcte pour résoudre le problème standard de la batte et de la balle est : " $1,00\text{€} + 2x = 1,10\text{€}$ " (soit la réponse correcte pour ce problème (1) parmi les quatre possibilités de réponse), alors qu'intuitivement les raisonneurs ont tendance à utiliser une équation simplifiée telle que " $1,00\text{€} + x = 1,10\text{€}$ " (soit la réponse intuitive heuristique (2) parmi les quatre possibilités de réponse) (Kahneman, 2011). Les quatre choix de réponse apparaissaient dans un ordre aléatoire. Par exemple :

Dans une entreprise, il y a 150 hommes et femmes au total.

Il y a 100 hommes de plus que de femmes. Combien de femmes y a-t-il ?

- 25
- 50
- 75
- 10

La moitié des problèmes étaient incongruents, c'est-à-dire que la réponse intuitive heuristique entre en conflit avec la réponse logique correcte. Pour s'assurer que les participants étaient investis dans la tâche, nous avons également proposé des problèmes congruents (*i.e.* des problèmes dits "contrôle") dans lesquels la réponse intuitive heuristique et la réponse logique correcte sont identiques. Dans ces problèmes, nous avons supprimé le comparatif "plus que" de manière à ce que l'intuition corresponde à la bonne réponse (Travers et al., 2016), par exemple :

Dans une entreprise, il y a 150 hommes et femmes au total.

Il y a 100 hommes. Combien de femmes y a-t-il dans l'entreprise ?

- 25
- 50
- 75
- 10

Dans ce cas, la réponse intuitive "50" est correcte. De plus, trois mots ont été ajoutés aux problèmes congruents (*e.g.*, " Combien de femmes y a-t-il **dans l'entreprise ?** ") afin d'égaliser la longueur sémantique des versions incongruentes et congruentes (Raoelison & De Neys, 2019). Ces problèmes congruents sont faciles à résoudre, si les participants accordent un minimum d'attention à la tâche et ne répondent pas au hasard (Bago & De Neys, 2019).

Deux sets de problèmes ont été utilisés dans le but de contrebalancer le contenu des problèmes : les problèmes incongruents dans un set étaient les problèmes congruents dans l'autre, et vice versa. L'ordre de présentation des problèmes incongruents et congruents étaient randomisés dans chaque set. Les participants étaient aléatoirement assignés à un de

deux sets de sorte qu'ils ne voyaient pas deux fois le même item. Au total, chaque participant a effectué quatre items congruents et 4 items incongruents.

Procédure à deux réponses. Les participants ont répondu à chaque problème en utilisant la procédure à deux réponses, le principe étant pour le participant de fournir une première réponse "rapide" directement suivie par une deuxième réponse "lente" (Thompson et al., 2011). Cette méthode permet de capturer à la fois une réponse initiale "intuitive", puis une réponse finale "délibérée". Le but étant de minimiser la possibilité que la réflexion soit impliquée dans la production de la réponse initiale rapide. Les participants devaient donc fournir leur réponse initiale dans un délai court tout en effectuant simultanément une tâche chargée cognitivement (voir Bago & De Neys, 2017 ; 2019 ; Raelison & De Neys, 2019). La tâche chargée cognitivement était inspirée de la tâche de mémorisation de points (Miyake et al., 2001) qui avait déjà été utilisée pour occuper les ressources cognitives lors de la réalisation d'une tâche de raisonnement (*e.g.* De Neys, 2006 ; Franssens & De Neys, 2009). Pour cette étude, on demandait aux participants de mémoriser un motif visuel complexe (c'est-à-dire 4 croix dans une grille 3x3) présenté brièvement avant chaque problème de raisonnement. Après avoir donné leur réponse initiale (intuitive) au problème, on présentait aux participants quatre motifs différents et ils devaient identifier celui qu'ils avaient mémorisé précédemment (voir Bago & De Neys, 2019, pour plus de détails).

Une limite de temps de 5 secondes a été choisie pour donner la réponse initiale. Ce choix a été fait sur la base de pré-tests indiquant que cela correspondait au temps nécessaire pour lire les prémisses, déplacer la souris et sélectionner une réponse parmi les quatre possibilités (voir Bago et De Neys, 2019, pour plus de détails). Le délai de 5s constitue un véritable défi sachant que des travaux antérieurs ont indiqué que les participants ont

généralement besoin de plus de 30s pour résoudre correctement le problème de la batte et de la balle lorsqu'ils n'ont pas de limite de temps imposée (Stupple et al., 2017). En plus du temps court imposé pour fournir la réponse initiale, les ressources cognitives des participants étaient occupées en même temps par la tâche de mémorisation. Le délai court et la tâche de mémorisation n'ont été appliqués que lorsque les participants devaient fournir leur réponse initiale, et pas pour la réponse finale pour laquelle les participants étaient autorisés à réfléchir.

Procédure

L'expérience a été menée individuellement sur des ordinateurs portables. Les participants ont été testés dans une salle de leur école, en groupe, sous la supervision d'au moins deux expérimentateurs. Les participants ont été informés que l'expérience durerait une vingtaine de minutes et qu'elle nécessitait toute leur attention. Une description générale de la tâche a été présentée, dans laquelle les participants ont été informés qu'ils devaient résoudre des problèmes de raisonnement, pour lesquels ils devaient fournir deux réponses consécutives. Ils ont été informés que nous étions intéressés par la toute première réponse qui leur venait à l'esprit et qu'après avoir donné leur première réponse, ils pouvaient réfléchir au problème et prendre tout le temps nécessaire pour donner une réponse définitive. Afin de se familiariser avec la procédure à deux réponses, ils ont d'abord résolu deux problèmes sans rapport entre eux. Ensuite, ils se sont familiarisés avec la tâche de mémorisation en résolvant deux essais de mémorisation, et, enfin, ils ont résolu deux problèmes qui comprenaient à la fois la tâche de mémorisation et la procédure à deux réponses.

Chaque essai commence par une croix de fixation pendant 2000ms, suivie de la première phrase du problème (*e.g.*, "Dans un bureau, il y a 150 stylos et crayons au total")

pendant 2000ms, puis de la matrice visuelle de la tâche de mémorisation pendant 2000ms. Ensuite, le problème complet était présenté, et les participants disposaient de 5000ms pour sélectionner leur réponse initiale parmi les quatre choix proposés. Après 3000ms, le fond de l'écran est devenu jaune pour avertir les participants qu'il ne leur restait que peu de temps pour répondre. S'ils n'avaient pas donné de réponse avant la fin du temps imparti, on leur rappelait qu'il était important de donner une réponse dans le temps imparti lors des essais suivants. Ensuite, les participants se voyaient présenter quatre matrices visuelles et devaient choisir celle qu'ils avaient précédemment mémorisée. Ils recevaient un feedback leur indiquant si leur réponse était correcte. Si la réponse n'était pas correcte, on leur rappelait qu'il était important de bien réussir la tâche de mémorisation lors des essais suivants. Enfin, le même problème de raisonnement a été présenté une nouvelle fois, et les participants ont été invités à fournir une réponse finale analytique (sans limite de temps).

À la fin de l'étude, tous les participants ont été invités à réaliser les subtests de similitudes et de matrices puis à remplir une page contenant des questions démographiques.

Critères d'exclusion de la procédure à deux réponses

Les essais pour lesquels les participants ont échoué à sélectionner la matrice à mémoriser lors de la tâche secondaire (13.8% des essais) ont été exclus, et nous avons analysé les 86.2% essais restants. En moyenne, chaque participant a contribué à $7,7 \pm 1,7$ items sur 8.

Résultats

Les données ont été traitées et analysées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2017) et des packages suivants (par ordre alphabétique) : *dplyr* (Wickham et al., 2020), *ggplot2* (Wickham, 2016), et *tidyr* (Wickham & Henry, 2020).

Performance aux problèmes de la batte et de la balle

Nous avons analysé les données à l'aide d'une régression logistique binaire sur les performances aux problèmes congruents et incongruents avec le groupe QI (groupe HPI et groupe contrôle) et le niveau scolaire (début secondaire, milieu secondaire et fin secondaire) comme facteurs. Les Figures 23 et 24 montrent la performance moyenne des participants selon le groupe de niveau scolaire (début secondaire, milieu secondaire et fin secondaire) et le groupe QI (groupe HPI et groupe contrôle) pour les réponses initiales (intuitives) et finales (délibérées) aux essais incongruents et congruents (*cf.* Annexe 3, Tableau 4).

Problèmes congruents (*cf.* Figure 23) Pour les réponses finales délibérées, l'interaction Groupe QI x Niveau scolaire n'est pas significative, $X^2(2) = 0,00$, $p = 1.00$. Cela suggère que la performance aux réponses finales ne varie pas en fonction du niveau scolaire et selon les capacités intellectuelles des participants. Les performances aux essais congruents plafonnent quel que soit le groupe QI ou le niveau scolaire des participants. Il n'y a pas d'effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 0,00$, $p = 1.00$, ni d'effet principal du niveau scolaire, $X^2(2) = 4,48$, $p = .106$.

Il en est de même pour les réponses initiales dont les performances plafonnent quel que soit le groupe QI ou le niveau scolaire des participants. L'interaction Groupe QI x Niveau

scolaire n'est pas significative, $X^2(2) = 0,88$, $p = .641$. Il n'y a pas non plus d'effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 1,47$, $p = .225$ ou du niveau scolaire, $X^2(2) = 1,50$, $p = .473$. Les résultats indiquent que les participants n'ont pas de difficultés à résoudre correctement les problèmes congruents que ce soit en réponses initiales ou en réponses finales.

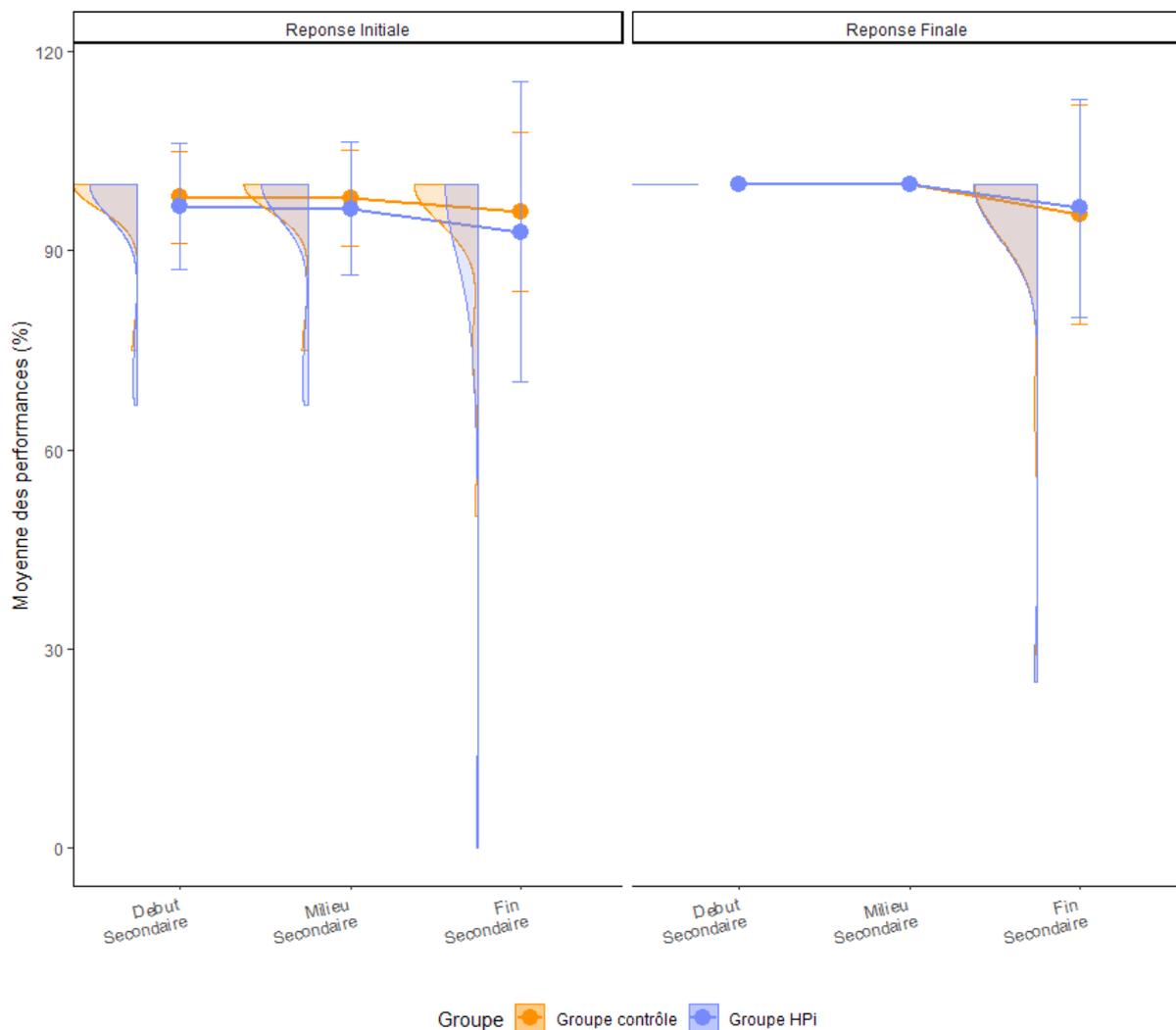


Figure 23. Moyenne des performances (%) et répartition des réponses initiales et réponses finales aux problèmes congruents en fonction du groupe QI (HPI et contrôle) et du niveau scolaire (Début secondaire, Milieu secondaire et Fin secondaire) pour la tâche de la batte et de la balle. Les barres d'erreurs indiquent l'écart-type.

Problèmes incongruents. Quant aux performances aux essais incongruents (*i.e.* deux réponses conflictuelles), l'interaction Groupe QI x Niveau scolaire est significative, $X^2(2) = 8,05$, $p = .018$, ce qui signifie que la performance pour les réponses finales délibérées varie en

fonction du niveau scolaire et selon les capacités intellectuelles des participants (*cf.* Figure 24). Le groupe HPI présente des performances plus élevées en réponses finales que les participants du groupe contrôle. Cette différence de performances entre les deux groupes de QI s'accroît avec le temps de sorte qu'elle est quasi nulle en début de secondaire mais plus grande en fin de secondaire. Les performances du groupe contrôle sont quasi nulles en début et en milieu de secondaire, et augmentent seulement en fin de secondaire, alors que l'amélioration des participants HPI est visible dès le milieu du secondaire. Il n'y a pas d'effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 2,60, p = .107$, mais un effet principal du niveau scolaire, $X^2(2) = 19,85, p < .001$.

Le même pattern de résultats est observé pour les réponses initiales intuitives. Les tendances visuelles suggèrent que le groupe HPI a toujours de meilleures performances que le groupe contrôle, et ce, peu importe le niveau scolaire. Cependant, au contraire des réponses finales, les deux groupes QI suivent la même trajectoire développementale de sorte que la différence de performance intuitive entre HPI et groupe contrôle soit la même en début, milieu et fin de secondaire (*cf.* Figure 24). L'interaction Groupe QI x Niveau scolaire n'est pas significative pour les réponses initiales, $X^2(2) = 2,19, p = .334$. Il n'y a pas d'effet principal du groupe QI, $X^2(1) = 1,62, p = .203$, mais un effet principal du niveau scolaire, $X^2(2) = 9,60, p = .008$.

Ces résultats suggèrent que des capacités cognitives plus élevées maximisent l'effet développemental pour les réponses finales, mais pas pour les réponses intuitives. Cependant, que ce soit à un niveau intuitif ou délibéré, les adolescents HPI montrent un raisonnement plus efficace, et ce, plus précocement. Seulement, la différence de performance en réponses intuitives entre HPI et groupe contrôle ne diffère pas selon le niveau scolaire.

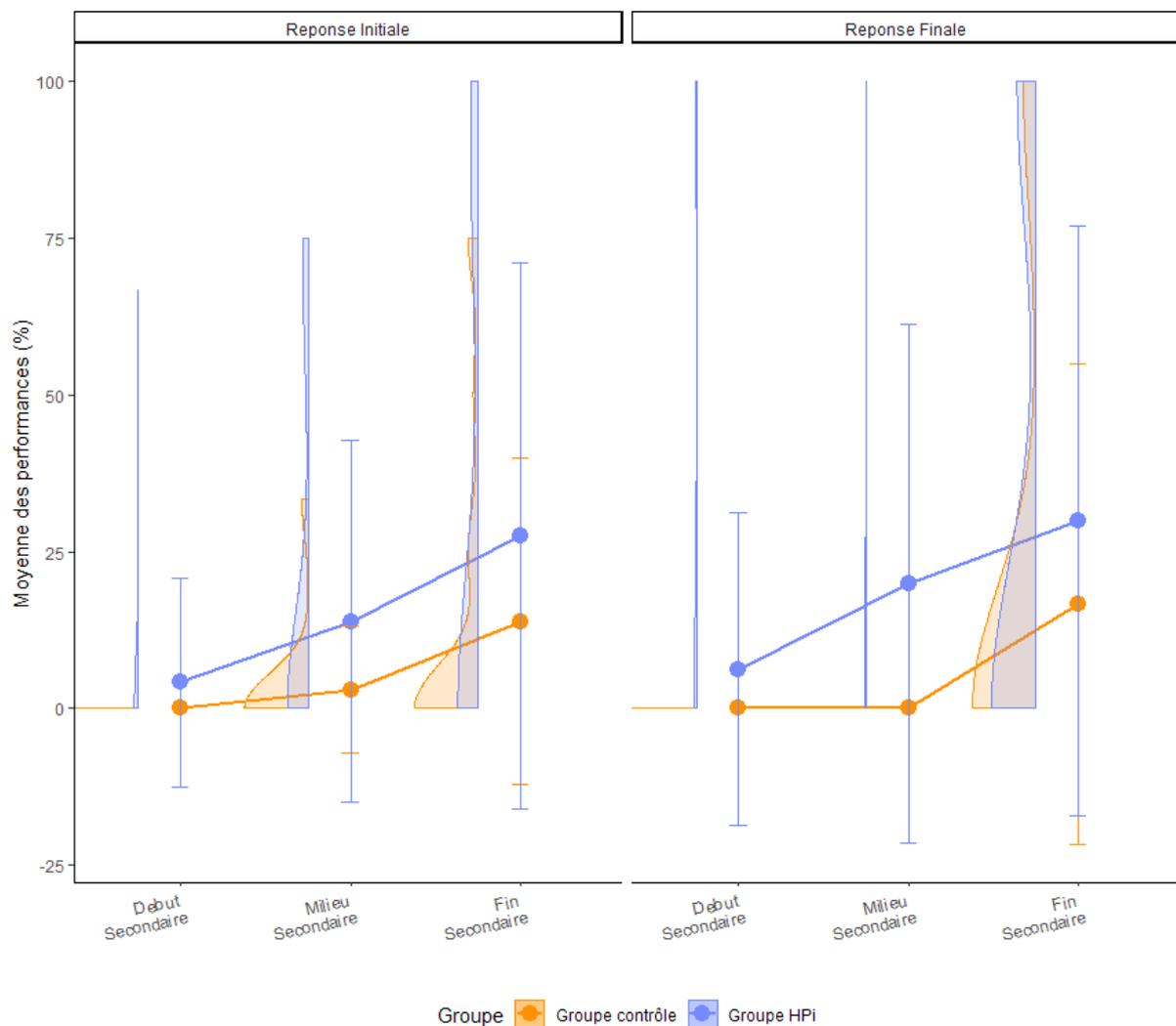


Figure 24. Moyenne des performances (%) et répartition des réponses initiales et réponses finales aux problèmes incongruents en fonction du groupe QI (HPI et contrôle) et du niveau scolaire (Début secondaire, Milieu secondaire et Fin secondaire) pour la tâche de la batte et de la balle. Les barres d'erreurs indiquent l'écart-type.

Le changement de direction

Pour mieux comprendre comment les participants ont changé (ou non) leur réponse après la délibération, nous avons effectué une analyse de la direction du changement (Bago & De Neys, 2017, 2019). Plus précisément, à chaque essai, les personnes pouvaient donner une réponse correcte ('1') ou incorrecte ('0') dans chacune des deux étapes de réponse (*i.e.* initiale et finale). Par conséquent, en théorie, il peut en résulter quatre types différents de pattern de réponse pour chaque essai (pattern "00", réponse incorrecte aux deux étapes ;

pattern "11", réponse correcte aux deux étapes ; pattern "01", réponse initiale incorrecte et finale correcte ; pattern "10", réponse initiale correcte et finale incorrecte).

La Figure 25 représente la distribution de la direction du changement pour les essais incongruents. On constate que les adolescents HPI donnent dans l'ensemble moins de réponses "00" que leurs pairs non HPI, et ce, dès le début du secondaire. Il existe aussi un effet développemental caractérisé par une diminution de réponses "00" au cours de la scolarisation, et ce, peu importe le QI des participants. En effet, plus les participants progressent dans les niveaux scolarisation, moins ils donnent de réponses "00". Cette diminution de réponses "00" s'accompagne davantage par une augmentation de réponses "11" que de réponses "01" suggérant que, peu importe le QI, lorsque les raisonneurs donnent des réponses correctes, ils le font dès le stade intuitif et n'ont pas nécessairement besoin de la délibération. Cela est d'autant plus vrai pour les HPI, qui donnent plus de réponses "11" que les non HPI, et ce, notamment au cours du développement. De façon intéressante, les HPI produisent des réponses "01" ou "11" dès le début du secondaire, alors que les non HPI en produisent seulement en fin de secondaire. Globalement, les résultats suggèrent que le développement du raisonnement chez les HPI est précoce à celui des non HPI, et ce, d'autant plus pour les réponses intuitives.

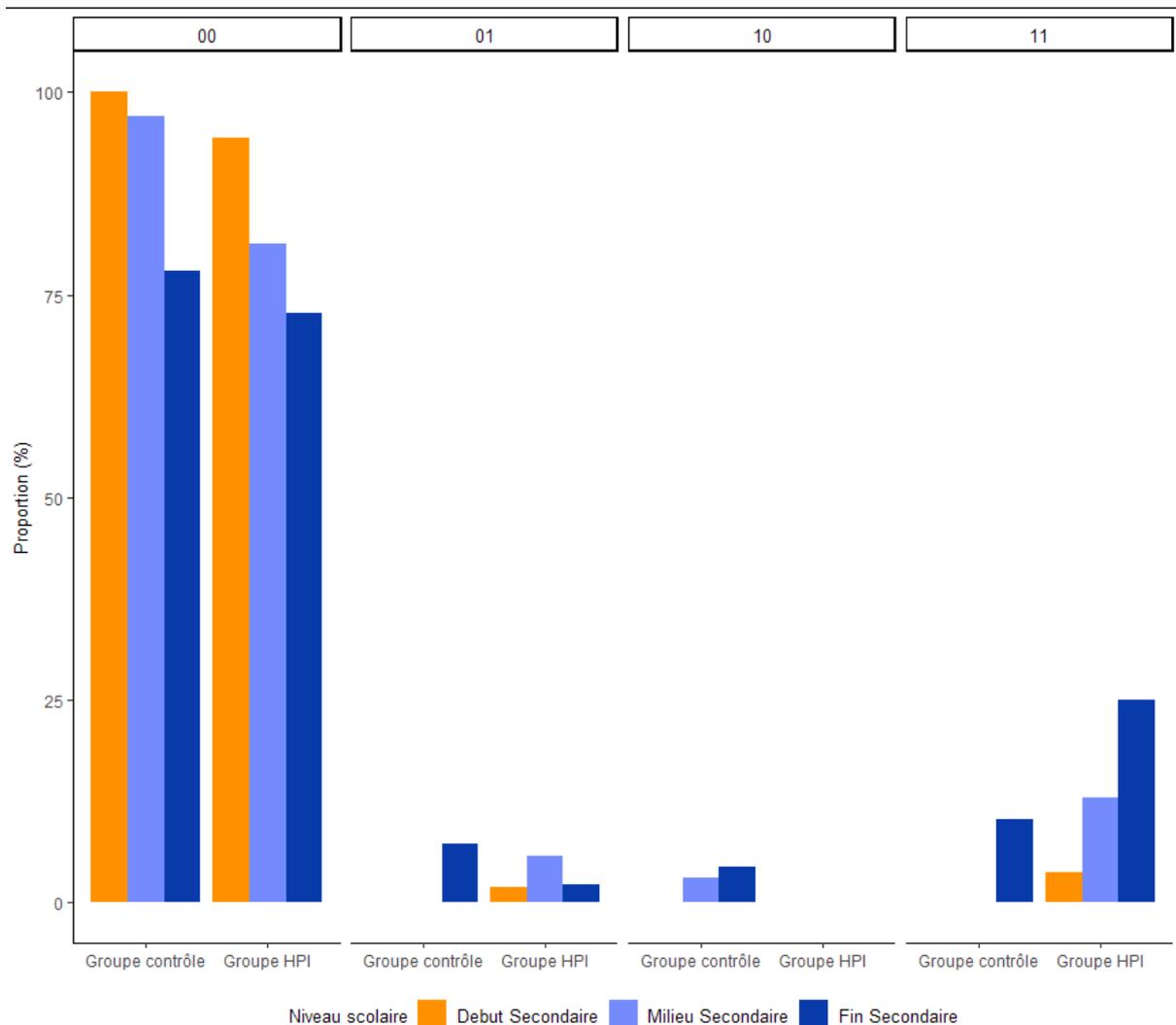


Figure 25. Proportion de chaque direction de changement (i.e. réponses "00", réponses "01", réponses "10" et réponses "11") pour les problèmes incongruents selon le groupe QI (HPI vs. non HPI) et le niveau de scolarisation (début secondaire vs. milieu secondaire vs. fin secondaire).

Discussion

L'objectif de cette quatrième étude était d'explorer la trajectoire développementale du raisonnement selon les capacités intellectuelles, du début à la fin du secondaire, à une tâche de la batte et de la balle. Pour cela, nous avons appliqué le paradigme à deux réponses afin de distinguer l'effet des capacités intellectuelles et du développement sur les réponses intuitives et délibérées.

Nos résultats confirment que le raisonnement se développe au cours de l'adolescence entre 10 et 17 ans, que ce soit pour les réponses intuitives ou délibérées, puisque les adolescents les plus âgés sont plus performants que les plus jeunes. De façon intéressante et conformément aux résultats de Raelison et al. (2021), la performance à cette tâche de raisonnement repose davantage sur la capacité à générer des réponses intuitives correctes que sur la correction d'intuitions erronées. L'amélioration des performances intuitives au cours du développement observée dans cette étude valide l'hypothèse d'une automatisation des principes logico-mathématiques (De Neys & Pennycook, 2019). En effet, une proportion de réponses intuitives correctes plus grande chez les plus âgés peut signifier que l'exposition plus longue aux principes logico-mathématiques et la pratique répétées permet l'automatisation de l'utilisation de ces principes (Raelison et al., 2021). De ce fait, ils sont plus capables de résoudre intuitivement les problèmes.

Nous montrons également que les HPI sont plus performants que le groupe contrôle en réponses délibérées et en réponses intuitives. Ces données valident l'idée selon laquelle ceux qui ont les plus hautes capacités intellectuelles seraient meilleurs grâce à des intuitions correctes (Raelison et al., 2020). De plus, la performance au niveau des réponses intuitives est plus précoce chez les HPI par rapport au groupe contrôle. En effet, dès le début du secondaire, les HPI produisent plus de réponses finales correctes dont la réponse initiale est déjà correcte (*i.e.* les réponses "11" dans l'analyse du changement de direction) alors que les non HPI ne sont capables de résoudre intuitivement les problèmes qu'à la fin du secondaire. Au milieu du secondaire, les adolescents non HPI ont tendance à donner des réponses correctes parce qu'ils ont corrigé leur intuition erronée (*i.e.* la proportion de réponses "01" est plus élevée que la proportion de réponses "11"). Cela suggère que les adolescents au développement cognitif typique auraient potentiellement besoin de délibérer en milieu de

secondaire avant de pouvoir générer des intuitions correctes en fin de secondaire, tandis que le groupe HPI pourrait le faire plus précocement.

Cette étude bien qu'exploratoire confirme l'hypothèse de la précocité du développement du raisonnement des adolescents HPI. Le QI plus haut des HPI leur confère la possibilité d'être efficient plus précocement dans le développement, tel que c'est le cas pour les FE par exemple (*cf.* Etude 2 ; Arffa, 2007), les capacités langagières (Vaivre-Douret, 2004 ; 2011) ou même les apprentissages de manière générale (Calero et al., 2011). D'ailleurs, cette précocité dans les apprentissages pourrait expliquer pourquoi les adolescents HPI produisent des intuitions logiques plus tôt que leurs pairs non HPI. Ils parviendraient à automatiser plus tôt les principes logico-mathématiques que leurs pairs au développement typique, leur permettant ainsi de générer plus précocement des réponses intuitives correctes.

Il est à noter que notre étude montre que les capacités intellectuelles ne sont pas le seul facteur expliquant le raisonnement et qu'il ne suffit pas juste d'être doué pour résoudre correctement les problèmes de la batte et de la balle. En effet, même chez le groupe au développement typique, les adolescents parviennent à s'améliorer progressivement grâce à l'apprentissage et à l'automatisation des principes logico-mathématiques enseignés à l'école. Ainsi, les résultats contredisent l'hypothèse que si les raisonneurs sont biaisés c'est parce qu'ils ne possèdent pas assez de ressources intellectuelles pour déployer une pensée délibérée (Evans, 2019).

Concernant les limites, une critique pourrait être faite au sujet du paradigme à deux réponses qui n'est peut-être pas assez exigeant pour les participants les plus âgés et qui leur permettrait quand même de s'engager dans une délibération au stade de la réponse initiale. Toutefois, le paradigme à deux réponses que nous avons utilisé a été largement validé avec

des adultes et des adolescents. Il combine une contrainte temporelle et des manipulations de la charge cognitive qui prises isolément ont montré leur efficacité pour réduire la délibération (Bago & De Neys, 2017). Par conséquent, même pour les adultes, la possibilité de délibérer devient peu probable (Bago & De Neys, 2020). De plus, il convient de noter qu'il n'existe pas un seuil consensuel (*i.e.* une contrainte temporelle maximale ou une charge cognitive minimale) qui permette de délimiter l'intuition de la délibération (Bago & De Neys, 2019 ; De Neys, 2021). Par conséquent, nous ne pouvons pas exclure que le temps et la charge alloués aient permis à certains "délibérateurs rapides" de s'engager dans une délibération minimale.

Dans de futures recherches, il pourrait être pertinent de s'intéresser au développement des intuitions correctes chez les HPI lors de contextes plus complexes tels que ceux que l'on retrouve dans la vie quotidienne. En effet, les raisonnements biaisés nuisent aux performances dans un large éventail de contextes plus appliqués. Par exemple, dans un contexte de classe (Beaulac & Kenyon, 2018 ; Brault Foisy et al., 2015), dans le contexte de fake news partagés sur les réseaux sociaux (Bago et al., 2020 ; Pennycook & Rand, 2019), ou encore les biais raciaux dans les décisions de maintien de l'ordre (Payne, 2006).

DISCUSSION GÉNÉRALE

Les travaux menés au cours de cette thèse avaient pour objectif principal de mieux comprendre le développement des capacités d'auto-régulation des enfants, des adolescents et des jeunes adultes à Haut Potentiel Intellectuel (HPI). Pour cela, nous nous sommes d'abord intéressés au développement des capacités de régulation émotionnelle des participants puis au développement des processus cognitifs sous-jacents à la régulation émotionnelle, les fonctions exécutives (FE), de ces mêmes participants.

Les HPI présentent un développement cognitif atypique qualifié de précoce dans de nombreux domaines cognitifs, comme les FE (Arffa, 2007). Compte-tenu de l'efficacité de leur FE, les HPI pourraient disposer de compétences plus efficaces pour s'auto-réguler. Pour autant, d'après certains cliniciens et chercheurs, les HPI rencontreraient souvent des difficultés socio-émotionnelles (Janos et al., 1985 ; Karpinski et al., 2018 ; Kermarrec et al., 2020 ; Siaud-Facchin, 2012 ; Silvermann, 1993 ; Terrassier, 1979). Un moyen d'étudier plus spécifiquement les capacités de régulation est d'analyser l'influence directe des émotions sur les processus exécutifs (*i.e.* FE chaudes), en charge de la régulation des comportements et des émotions. Quelques études ont cherché à comparer les FE chaudes des enfants, des adolescents et des adultes HPI par rapport à celles des non HPI (Li et al., 2020 ; Urben et al., 2018a, 2018b). Néanmoins, ces études n'ont pas exploré systématiquement le développement des différentes FE (*i.e.* contrôle inhibiteur (CI), mémoire de travail (MdT) et flexibilité mentale) chaudes au cours du développement, entre l'enfance et l'adolescence, et selon les capacités intellectuelles. Elles n'ont pas non plus comparé plus systématiquement le développement de ces FE chaudes avec leur équivalent dans un contexte dénué d'informations émotionnelles (*i.e.* FE froides) au cours du développement et selon les capacités intellectuelles.

Sachant que les FE sont cruciales pour développement d'autres compétences complexes tel que le raisonnement logique (Diamond, 2013 ; Richland & Burchinal, 2013), le deuxième objectif de cette thèse a été de mieux comprendre le développement des capacités de raisonnement des adolescents HPI par rapport aux adolescents non-HPI. Bien que plusieurs études aient mis en évidence que les individus avec de hautes capacités intellectuelles ont de meilleures capacités de raisonnement délibéré (Kokis et al., 2002 ; Stanovich & West, 2008), il reste à déterminer si ces meilleures compétences logiques relèvent d'une capacité accrue à inhiber une heuristique trompeuse ou de l'émergence d'intuitions logiques plus précocement que chez les non-HPI.

Dans ce contexte, cette thèse nous a permis de répondre à trois objectifs spécifiques. Le premier, explorer le développement de la régulation émotionnelle et de la réactivité émotionnelle de 9 ans jusqu'à 15-20 ans, selon les capacités intellectuelles d'après des auto-questionnaires (Étude 1). Le deuxième, étudier le développement de 3 FE (*i.e.* CI, MdT et flexibilité mentale) selon les capacités intellectuelles de 9 ans jusqu'à 15-20 ans dans des contextes émotionnellement neutres (FE froides) ou chargés émotionnellement (FE chaudes) (Étude 2), puis de décrire l'évolution de l'organisation de ces FE au cours du développement en utilisant une modélisation en réseaux (Étude 3). Le troisième, étudier le développement du raisonnement délibéré et l'émergence des intuitions logiques selon les capacités intellectuelles de 10 à 17 ans (Étude 4).

1. Étude 1 : Développement de la régulation et de la réactivité émotionnelle & Haut Potentiel Intellectuel

Les résultats de la première étude soulignent l'absence d'association entre le HPI et les difficultés de régulation émotionnelle, et, ce à tout âge. Par rapport au groupe contrôle, les HPI âgés de 9 à 20 ans ne se perçoivent pas plus en difficulté pour réguler leurs émotions et ils utilisent à la même fréquence la réévaluation cognitive ou la suppression expressive comme stratégies de régulation. Ces résultats valident les hypothèses actuelles qui évoquent que les enfants et les adolescents HPI n'ont pas plus de difficultés socio-émotionnelles que la population générale (Brasseur, 2013 ; Guénolé et al., 2013a ; Peyre et al., 2016 ; Winkler, 2016) et que le haut QI (quotient intellectuel) en soi n'est pas un facteur de risque de développer des troubles psycho-socio-affectifs. De plus, et contrairement à ce qui a été longtemps considéré comme une caractéristique constitutive du HPI (Siaud-Facchin, 2012), la réactivité émotionnelle n'est pas plus élevée chez les HPI par rapport au groupe contrôle dans cette étude. L'hypersensibilité émotionnelle n'est donc pas identifiée comme spécifique au HPI dans cette étude et ce résultat est cohérent avec d'autres résultats d'études récentes (Valpied, 2018 ; Yamacsi-Guzel & Akarsu, 2006 ; Winkler, 2016). Ces résultats basés sur l'appréciation personnelle des participants sont importants et renforcent donc l'idée que le QI supérieur des HPI ne leur confère pas nécessairement des capacités de régulation émotionnelle différentes ou une réactivité émotionnelle plus importante.

2. Étude 2 – Développement des fonctions exécutives froides et chaudes & Haut Potentiel Intellectuel

Les résultats de l'étude 2 démontrent pour la première fois que les trajectoires développementales des FE froides et chaudes sont différentes selon les capacités intellectuelles. De manière générale, les émotions affectent les performances des FE pour l'ensemble des participants, à l'exception de la Stroop pour laquelle le contexte émotionnel n'a pas d'incidence chez les HPI. Les HPI sont toutefois moins impactés par le contexte émotionnel plus précocement que leurs pairs (particulièrement autour de 9-11 ans) compte-tenu de l'efficacité supérieure de leur FE (Arffa, 2007 ; Geake, 2009). Quel que soit le contexte émotionnel, les HPI disposent ainsi de compétences exécutives généralement plus efficaces que la population générale.

Dans la population au développement typique, les FE suivent un développement conforme au modèle de Zelazo (Zelazo & Carlson, 2012) puisque le CI (Stroop) et la MdT (N-back) chaudes se développent plus tardivement que le CI et la MdT froides. En effet, les performances dans les versions chaudes progressent significativement autour de 15-20 ans alors que les performances dans les versions froides progressent dès 12-14 ans. Enfin, la flexibilité mentale a un développement plus tardif par rapport aux deux autres FE puisque les performances progressent linéairement de 9 ans à 15-20 ans, que ce soit en flexibilité mentale froide ou chaude. Nos résultats confirment que la progression développementale de la flexibilité mentale est souvent plus longue que les deux autres FE (Cepeda et al., 2001 ; Davidson et al., 2006) compte-tenu du fait qu'elle engage à la fois le CI et la MdT conjointement.

La trajectoire développementale du contrôle de l'interférence, de la MdT et de la flexibilité mentale chez les HPI est caractérisée par de meilleures performances par rapport

au groupe contrôle et une stabilité de ces performances au cours du développement, quel que soit le contexte émotionnel. Par rapport à leurs pairs au développement cognitif typique, les HPI sont donc en avance développementale et cela leur permet d'être moins affectés par le contexte émotionnel plus précocement que les non HPI. Progressivement, il semble que la différence de performance entre les HPI et les non HPI tend à se réduire, au moment de l'adolescence, du fait de la progression des performances chez le groupe contrôle.

Ces résultats apportent un nouvel éclairage quant au développement cognitif atypique du HPI et permettent de mettre en évidence qu'un haut QI est associé à des compétences exécutives précoces, quelle que soit la charge affective. Par conséquent, les processus exécutifs sous-jacents à la régulation émotionnelle (Diamond, 2013 ; Miyake et al., 2000) sont généralement plus efficaces et plus tôt au cours du développement chez les HPI.

Cependant, nous n'avons pas trouvé de différence significative selon les capacités intellectuelles et selon les contextes émotionnels en ce qui concerne l'inhibition de la réponse (Stop signal). Les performances aux deux tâches censées évaluer le CI, c'est-à-dire la Stroop et la Stop signal, sont donc très différentes puisque les HPI ne sont pas plus performants que les non HPI à la Stop signal alors qu'ils le sont à la Stroop. Cette différence pourrait être expliquée par le fait que le CI n'est pas un construit unitaire. En effet, le CI implique différents types de processus d'inhibition, dont le contrôle des interférences (*i.e.* évalué par la tâche de Stroop) et l'inhibition de la réponse (*i.e.* évalué par la tâche de Stop Signal) (Eagle et al., 2008 ; Khng & Lee, 2014 ; Rubia et al., 2001). De ce fait, les résultats pourraient suggérer que les HPI auraient une meilleure résistance à l'interférence même dans les contextes émotionnels, ce qui explique leur performance supérieure à une tâche de Stroop version froide et chaude. Ils n'ont peut-être pas une plus grande facilité pour inhiber une réponse comportementale,

comme le montre l'absence de différence avec le groupe contrôle à la tâche Stop Signal version froide et chaude (Urban et al., 2018a, 2018b).

3. Étude 3 – Modélisation en réseaux des fonctions exécutives froides et chaudes & Haut Potentiel Intellectuel

Pour affiner l'exploration des FE froides et chaudes, leur évolution avec l'âge et selon les capacités intellectuelles, nous avons étudié leur organisation dans l'étude 3. Pour cela nous avons utilisé la modélisation en réseaux qui permet de décrire des systèmes complexes. En cohérence avec les études antérieures (Best et al., 2011 ; Huizinga et al., 2006 ; Isquith et al., 2004), les résultats suggèrent que le CI devient progressivement moins central au cours du développement, tandis qu'à partir de l'adolescence, la MdT accroît son rôle dans la population au développement typique. De façon intéressante, nous observons que cette évolution s'opère plus précocement chez les HPI puisque la MdT occupe une place prépondérante dès 9-11 ans alors que cela n'apparaît qu'à partir de 15-20 ans chez le groupe au développement typique. Ce résultat est cohérent avec d'autres études qui ont examiné la structure des FE à l'adolescence selon les capacités intellectuelles et qui ont rapporté que la MdT était la FE la plus fortement corrélée à l'intelligence (Duan et al., 2010 ; Friedman et al., 2006). Les hauts QI sont donc liés à une réorganisation des FE plus précoce au cours du développement. Enfin, les FE chaudes occupent une place centrale dans les réseaux à 12-14 ans alors qu'à 9-11 ans et à 15-20 ans ce sont les FE froides qui sont prépondérantes. Cette bascule suggère pour la première fois que le développement cognitif s'accompagne d'une réorganisation des FE en fonction du contexte émotionnel autour de 12-14 ans, conformément à la théorie de Casey (Casey, 2015) qui postule pour un développement non-linéaire des FE spécifiquement à

l'adolescence. D'après ce modèle, les FE chaudes se développent de façon non-linéaire à l'adolescence, résultant d'un déséquilibre entre un réseau sous-cortical émotionnel hyperactif et un réseau préfrontal encore immature entre 13 et 17 ans (Somerville et al., 2011).

4. Étude 4 – Développement du raisonnement intuitif & Haut Potentiel Intellectuel

Dans cette dernière étude, nous avons étudié l'effet du développement des capacités intellectuelles sur les réponses délibérées et intuitives à des problèmes de logique comme celui de la batte et de la balle (Frederick, 2005) en comparant les performances des personnes HPI avec celles des non HPI âgés de 10 à 17 ans. Les résultats sont intéressants à plusieurs titres. D'une part, parce qu'ils confirment que le raisonnement se développe au cours de l'adolescence (ici, entre 10 ans et 17 ans) et que la progression des performances est davantage liée aux réponses intuitives logiques qu'à leur correction délibérée (Raoelison et al., 2021). D'autre part, parce que conformément à l'étude de Raoelison et al. (2020), les HPI génèrent plus d'intuitions correctes que les individus avec un QI dans la norme. Enfin, parce que les résultats indiquent que le raisonnement intuitif, basé sur la génération d'intuitions logiques, se développerait plus précocement chez les HPI en comparaison au groupe avec un QI dans la norme. Autrement dit, le développement du raisonnement est davantage lié à la capacité à générer des intuitions logiques et cette capacité est plus précoce chez les personnes avec un QI élevé.

5. Implications et perspectives

Nos résultats apportent un éclairage sur la compréhension du développement cognitif du HPI et apportent un certain nombre d'informations utiles pour les professionnels de la santé mentale et plus largement pour les personnes qui accompagnent le développement des HPI, comme les enseignants. Premièrement, nos résultats confirment que les enfants et les adolescents HPI sont aussi efficaces pour réguler leurs émotions que la population générale et que les deux groupes de QI utilisent de façon similaire les stratégies de régulation. Ainsi, le QI ne justifie pas à lui seul des difficultés de régulation des émotions. Si des enfants ou adolescents HPI rencontrent des difficultés socio-émotionnelles, il serait erroné d'imputer ces difficultés aux seules caractéristiques associées au haut QI. En effet, d'autres facteurs personnels ou environnementaux, qui associés au haut QI, peuvent concourir au développement de difficultés socio-émotionnelles. Il convient donc de prendre en considération l'ensemble de ces facteurs pour mieux accompagner ces enfants et adolescents. De plus, les enfants et les adolescents HPI rapportent ne pas avoir une réactivité émotionnelle plus importante que leurs pairs de même âge. L'hypersensibilité émotionnelle ne peut donc pas être considérée comme une caractéristique constitutive du HPI. Cela ne remet pas en cause l'existence de profils HPI qui auraient en plus une hypersensibilité émotionnelle, mais plutôt le fait que l'hypersensibilité soit systématiquement associée à cette population. Ces résultats apportent une preuve supplémentaire que l'identification du HP ou du HPI sur la base d'une hypersensibilité émotionnelle pourrait constituer une erreur.

Deuxièmement, les enfants et les adolescents HPI ont bien des compétences précoces pour traiter les informations émotionnelles et cette précocité pourrait être en partie médiée par une meilleure efficacité cognitive et spécifiquement de leurs FE (Arffa, 2007 ; Geake,

2009). Nos recherches suggèrent que les capacités exécutives supérieures des HPI, qui constituent une de leur spécificité par rapport au reste de la population, sont également généralement supérieures quand le contexte est chargé émotionnellement par rapport aux non HPI, particulièrement autour de 9-11 ans. Autrement dit, les processus exécutifs en charge de la régulation émotionnelle et comportementale pourraient être moins impactés par la charge d'une information émotionnelle chez les haut QI (chez les plus jeunes en tout cas), par rapport à la population générale, et cela grâce à leurs spécificités cognitives et exécutives. Cela constitue une différence notable par rapport au reste de la population générale et qu'il convient de considérer dans l'accompagnement de ces jeunes personnes. Toutefois, notre protocole expérimental constitué de tâches spécifiques et de photos illustrant des émotions, est trop éloigné des situations de vie réelle pour pouvoir inférer sur la base de ces résultats que les jeunes HPI régulent mieux leurs émotions au quotidien. Nous pouvons juste souligner que les processus exécutifs sous-jacents à la régulation émotionnelle sont plus performants chez les HPI.

Troisièmement, en plus d'être plus efficaces, les FE des HPI se développent donc plus tôt que dans la population générale. Cela peut donc conférer aux HPI une maturité exécutive plus précoce que leurs pairs. Ce point est important parce qu'il peut suggérer que cette précocité permettrait à certains d'entre eux de mieux s'adapter à des situations quotidiennes complexes et plus tôt que leurs pairs de même âge. Dans le même temps, ce décalage développemental pourrait aussi constituer un facteur de risque de développer des troubles socio-émotionnels pour d'autres HPI. Par exemple, certains HPI développent plus précocement une anxiété sur des thèmes particuliers et pas systématiquement retrouvés dans la population générale au même âge, comme des inquiétudes existentielles (Revol et al. 2004). De plus, le décalage développemental au niveau de la gestion des émotions entre les HPI et

les non HPI pourrait entraîner un manque de cohésion dans les relations avec les pairs (Chung et al., 2011) et générer potentiellement un sentiment de décalage avec les pairs chez les HPI (Terrassier, 1979). Ainsi, même si nos résultats invitent à minimiser l'hypothèse d'un risque de développer des troubles psycho-affectifs chez les haut QI, il ne faut pas exclure que la population du HPI est hétérogène et que des facteurs environnementaux et personnels participent à générer des différences inter-individuelles en termes de capacité de régulation émotionnelle au sein de cette population.

Certes, les HPI sont précoces dans le développement des FE par rapport aux non HPI. Toutefois, nous observons que la différence entre les deux groupes tend à diminuer à mesure que le groupe non HPI progresse au cours du développement. Ainsi, durant l'adolescence (12-14 ans ou 15-20 ans selon les FE et le contexte émotionnel), l'écart de performance entre les deux groupes de QI tend à se réduire compte-tenu de la stabilité des performances des HPI au cours du temps. Ces observations laissent supposer que des facteurs développementaux et environnementaux, comme l'enseignement scolaire, pourraient participer à amoindrir les différences inter-individuelles au cours du développement entre les groupes présentant des capacités intellectuelles supérieures et les groupes avec des capacités intellectuelles dans la norme. En effet, les HPI sont plus précoces mais à la fin du secondaire, il semblerait qu'ils aient des compétences similaires avec le groupe au développement typique. Cet effet développemental reste tout de même à explorer plus finement sachant que de nombreuses études dans des domaines comme le raisonnement montrent que les personnes avec de hautes capacités intellectuelles ont des performances supérieures encore à l'âge adulte (Stanovich & West, 2008).

Il existe une idée répandue selon laquelle les enfants et les adolescents HPI auraient une pensée plus intuitive que les autres. En mathématiques notamment, les HPI auraient tendance à répondre de façon intuitive sans parvenir à démontrer le raisonnement, la réponse viendrait comme une évidence (Siaud-Facchin, 2012). Nos résultats suggèrent que les HPI automatisent plus rapidement les principes logico-mathématiques que les adolescents au développement typique. Cette automatisation précoce leur permettrait de générer des intuitions correctes plus précocement dans le développement que leurs pairs au développement typique, pour qui la délibération (*i.e.* qui engage un raisonnement coûteux pour corriger les intuitions erronées) est encore nécessaire jusqu'en milieu de secondaire pour la résolution du problème de la batte et de la balle (Frederick, 2005). Ces résultats devraient intéresser tout particulièrement l'école qui a une mission d'accueil inclusif. Les modes d'apprentissage des HPI peuvent être différents de la population générale du fait de leurs spécificités cognitives, comme l'automatisation plus rapide des apprentissages notamment des principes logico-mathématiques. Les attentes scolaires vis-à-vis de ces élèves HPI pourraient donc être adaptées en conséquence.

A l'issue de cette thèse, de nombreuses perspectives sont à envisager. La première pourrait concerner les analyses à effectuer sur nos données. Certaines études ont montré que c'est spécifiquement dans la condition d'émotions négatives que les performances exécutives sont meilleures chez les HPI (Li et al., 2020 ; Urben et al., 2018a). Il serait donc opportun de déterminer dans les tâches où nous observons une différence de performance en fonction du QI si l'effet du contexte émotionnel varie en fonction de la valence émotionnelle. Il s'agirait de déterminer si l'effet du contexte affectivement chargé sur les essais incongruents (Stroop), les essais switchs (ATS) et sur la N-back varie en fonction du type d'émotions suscitées (c'est-à-dire peur, colère, joie ou tristesse).

Nous n'avons pas non plus considéré les différences inter-individuelles en termes de QI dans nos analyses. Bien que le QIT soit un indicateur valable, les profils cognitifs des enfants HPI peuvent être très variés (Pereira-Fradin, 2004). Certains chercheurs recommandent de mener des analyses sur les différents indices qui composent une échelle d'intelligence. Par exemple, les enfants présentant HPI verbal (ICV > 130) se perçoivent plus anxieux que les enfants ne présentant pas de HPI verbal (ICV < 130), alors que les enfants avec un HPI en raisonnement fluide (IRP > 130) se perçoivent moins anxieux que les enfants sans HPI en raisonnement fluide (IRP < 130) (Kermarrec et al., 2020). De plus, la question des profils homogènes et hétérogènes connaît également un intérêt croissant dans la recherche. Selon certains auteurs, l'hétérogénéité du profil cognitif peut avoir une incidence sur le fonctionnement de l'enfant HPI (Nusbaum et al., 2017). En effet, les enfants HPI ayant une importante hétérogénéité dans leur profil cognitif auraient un fonctionnement neurologique différent de ceux ayant un profil cognitif homogène (Nusbaum et al., 2017). Il pourrait donc être intéressant de poursuivre ce thème de recherche en tenant compte des différences inter-individuelles en termes de QI.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working Memory and Intelligence: The Same or Different Constructs? *Psychological Bulletin*, *131*(1), 30–60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.30>
- Acton, G. S., & Schroeder, D. H. (2001). Sensory discrimination as related to general intelligence. *Intelligence*, *29*(3), 263–271. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00066-6](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00066-6)
- Aïte, A., Cassotti, M., Linzarini, A., Osmont, A., Houdé, O., & Borst, G. (2018). Adolescents' inhibitory control: keep it cool or lose control. *Developmental science*, *21*(1). <https://doi.org/10.1111/desc.12491>
- Albert, D., & Steinberg, L. (2011). Judgment and decision making in adolescence. *Journal of Research on Adolescence*, *21*, 211–224. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7795.2010.00724.x>
- Altaras-Dimitrijević, A. (2012). A faceted eye on intellectual giftedness: Examining the personality of gifted students using FFM domains and facets. *Psihologija*, *45*, 231-256.
- Althoff, R. R., Verhulst, F. C., Rettew, D. C., Hudziak, J. J., & van der Ende, J. (2010). Adult outcomes of childhood dysregulation: a 14-year follow-up study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *49*(11), 1105–1116. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2010.08.006>
- Amso, D., & Johnson, S. P. (2005). Selection and inhibition in infancy: Evidence from the spatial negative priming paradigm. *Cognition*, *95*(2), 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.08.006>
- Anwyl-Irvine, A.L., Massoné, J., Flitton, A., Kirkham, N.Z., Evershed, J.K. (2019). Gorilla in our midst: an online behavioural experiment builder *Behavior Research Methods*. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01237-x>
- Anwyl-Irvine, A.L., Dalmaijer, E.S., Hodges, N., Evershed, J.K. (2021). Realistic precision and accuracy of online experiment platforms, web browsers, and devices *Behavior Research Methods*. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01501-5>
- Arffa, S. (2007). The Relationship of Intelligence to Executive Function and Non-Executive Function Measures in Sample of Average, above Average and Gifted Youth. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *22*, 969-978. <http://dx.doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.001>
- Aubry, A., & Bourdin, B. (2018). Short Forms of Wechsler Scales Assessing the Intellectually Gifted Children Using Simulation Data. *Frontiers in psychology*, *9*, 830. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00830>
- 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*, 103-358. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103358>
- Austin, E. (2005). Emotional intelligence and emotional information processing, *Personality and Individual Differences*, *39*(2), 403-414. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.01.017>.
- Aydmune, Y., Introzzi, I., & Lipina, S. (2019). Inhibitory processes training for school-age children: Transfer effects. *Developmental Neuropsychology*, *44*(7), 513–542. <https://doi.org/10.1080/87565641.2019.1677667>

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89. [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bago, B., & De Neys, W. (2017). Fast logic?: Examining the time course assumption of dual process theory. *Cognition*, 158, 90–109. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.10.014>
- Bago, B., & De Neys, W. (2019). The Smart System 1: Evidence for the intuitive nature of correct responding on the bat-and-ball problem. *Thinking & Reasoning*, 25(3), 257–299. <https://doi.org/10.1080/13546783.2018.1507949>
- Bago, B., & de Neys, W. (2020). Advancing the specification of dual process models of higher cognition: a critical test of the hybrid model view. *Thinking and Reasoning*, 26(1), 1-30. <https://doi.org/10.1080/13546783.2018.1552194>
- Bago, B., Rand, D. G., & Pennycook, G. (2020). Fake news, fast and slow: Deliberation reduces belief in false (but not true) news headlines. *Journal of Experimental Psychology: General*, 149(8), 1608–1613. <https://doi.org/10.1037/xge0000729>
- Band, G. P. H., Van Der Molen, M. W., & Logan, G. D. (2003). Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta Psychologica*, 112(2), 105–142. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(02\)00079-3](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(02)00079-3)
- Barabási, A.-L. (2012). The network takeover. *Nature Physics*, 8, 14–16
- Barnhoorn, J. S., Haasnoot, E., Bocanegra, B. R., & van Steenbergen, H. (2015). QRTEngine: An easy solution for running online reaction time experiments using Qualtrics. *Behavior research methods*, 47(4), 918–929. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0530-7>
- Beaulac, G., & Kenyon, T. (2018). The Scope of Debiasing in the Classroom. *Topoi*, 37 (1), 93-102.
- Bedard, A. C., Nichols, S., Barbosa, J. A., Schachar, R., Logan, G. D., & Tannock, R. (2002). The development of selective inhibitory control across the life span. *Developmental neuropsychology*, 21(1), 93–111. https://doi.org/10.1207/S15326942DN2101_5
- Belin, Pascal & Fillion-Bilodeau, Sarah & Gosselin, Frédéric. (2008). The Montreal Affective Voices: A validated set of nonverbal affect bursts for research on auditory affective processing. *Behavior research methods*, 40, 531-9. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.2.531>.
- Bénony, H., Van der Elst, D., Chahraoui, K., Bénony, C. & Marnier, J.P. (2007). Lien entre dépression et estime de soi scolaire chez les enfants intellectuellement précoces (Link between depression and academic self-esteem in gifted children). [https://doi.org/10.1016/s0013-7006\(07\)91554-7](https://doi.org/10.1016/s0013-7006(07)91554-7)
- Benson, J. E., Sabbagh, M. A., Carlson, S. M., & Zelazo, P. D. (2013). Individual differences in executive functioning predict preschoolers' improvement from theory-of-mind training. *Developmental psychology*, 49(9), 1615–1627. <https://doi.org/10.1037/a0031056>
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child development*, 81(6), 1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Best, J. R., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2011). Relations between Executive Function and Academic Achievement from Ages 5 to 17 in a Large, Representative National Sample. *Learning and individual differences*, 21(4), 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.01.007>

- Binet, A. & Simon, T. (1905). Méthodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux, *L'année psychologique*, 11, 191-244.
- Brasseur, S. (2013). *Étude du fonctionnement des compétences émotionnelles chez les jeunes à haut potentiel intellectuel* [Thèse de doctorat, UCLouvain]. DIAL. <http://hdl.handle.net/2078.1/130229>
- Brasseur, S. (2021). Fonctionnement social et émotionnel. Dans Gauvrit, N. & Clobert, N. (dirs.) *Psychologie du haut potentiel* (pp. 175-202). De Boeck supérieur
- Brasseur, S., Cuche, C. (2017). *Le haut potentiel en question*. Mardaga. <https://doi.org/10.3917/mard.brass.2017.01>
- Brault Foisy, L., Ahr, E., Masson, S., Borst, G., & Houdé, O. (2015). Blocking Our Brain: How We Can Avoid Repetitive Mistakes!. *Frontiers for Young Minds*, 3(17), 1-9. <https://doi.org/10.3389/frym.2015.00017>
- Buttelmann, F., & Karbach, J. (2017). Development and Plasticity of Cognitive Flexibility in Early and Middle Childhood. *Frontiers in psychology*, 8, 1040. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01040>
- Calero, M., Belen, G., Robles, M. (2011). Learning Potential in high IQ children: The contribution of dynamic assessment to the identification of gifted children. *Learning and Individual Differences*, 21, 176-181. [10.1016/j.lindif.2010.11.025](https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.11.025).
- Calero, M., Belen, G., Jiménez, M., Kazén, M., Araque, A. (2007). Self-regulation advantage for high-IQ children: Findings from a research study. *Learning and Individual Differences*, 17, 328-343. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.03.012>.
- Carlson S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental neuropsychology*, 28(2), 595–616. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_3
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development*, 72(4), 1032–1053. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00333>
- Carriedo, N., Corral, A., Montoro, P. R., Herrero, L., Ballestrino, P., & Sebastián, I. (2016). The development of metaphor comprehension and its relationship with relational verbal reasoning and executive function. *PLoS ONE*, 11(3), e0150289. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150289>
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511571312>
- Casey, B. (2015). Beyond Simple Models of Self-Control to Circuit-Based Accounts of Adolescent Behavior. *Annual Review of Psychology*, 66(1), 295-319. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015156>
- Casey, B. J., Cannonier, T., Conley, M. I., Cohen, A. O., Barch, D. M., Heitzeg, M. M., Soules, M. E., Teslovich, T., Dellarco, D. V., Garavan, H., Orr, C. A., Wager, T. D., Banich, M. T., Speer, N. K., Sutherland, M. T., Riedel, M. C., Dick, A. S., Bjork, J. M., Thomas, K. M., Charani, B., ... ABCD Imaging Acquisition Workgroup (2018). The Adolescent Brain Cognitive Development (ABCD) study: Imaging acquisition across 21 sites. *Developmental cognitive neuroscience*, 32, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.03.001>

- Casey, B. J., & Caudle, K. (2013). The teenage brain: Self-control. *Current Directions in Psychological Science*, 22(2), 82–87. <https://doi.org/10.1177/0963721413480170>
- Casey, B. J., Jones, R. M., & Hare, T. A. (2008). The adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 111–126. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.010>
- Cassotti, M., Agogu e, M., Camarda, A., Houd e, O., & Borst, G. (2016). Inhibitory Control as a Core Process of Creative Problem Solving and Idea Generation from Childhood to Adulthood. *New directions for child and adolescent development*, 2016(151), 61–72. <https://doi.org/10.1002/cad.20153>
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54(1), 1–22. <https://doi.org/10.1037/h0046743>
- Cauldron Science (2016). Gorilla experiment builder [Logiciel en ligne]. <https://gorilla.sc/>
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. M. (2001). Changes in executive control across the life span: Examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*, 37(5), 715–730. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.37.5.715>
- Chung, D., Yun, K., Kim, J. H., Jang, B., & Jeong, J. (2011). Different gain/loss sensitivity and social adaptation ability in gifted adolescents during a public goods game. *PLoS ONE*, 6(2), Article e17044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017044>
- Cohen, R., Duncan, M., & Cohen, S. L. (1994). Classroom Peer Relations of Children Participating in a Pull-Out Enrichment Program. *Gifted Child Quarterly*, 38(1), 33–37. <https://doi.org/10.1177/001698629403800105>
- Conley, M. I., Dellarco, D. V., Rubien-Thomas, E., Cohen, A. O., Cervera, A., Tottenham, N., & Casey, B. J. (2018). The racially diverse affective expression (RADIATE) face stimulus set. *Psychiatry research*, 270, 1059–1067. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.04.066>
- Corsi, P. M. (1973). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34(2-B), 891.
- Coyle, T. R., Read, L. E., Gaultney, J. F., & Bjorklund, D. F. (1998). Giftedness and variability in strategic processing on a multitrial memory task: Evidence for stability in gifted cognition. *Learning and Individual Differences*, 10(4), 273–290. [https://doi.org/10.1016/S1041-6080\(99\)80123-X](https://doi.org/10.1016/S1041-6080(99)80123-X)
- Cragg, L., & Nation, K. (2008). Go or no-go? Developmental improvements in the efficiency of response inhibition in mid-childhood. *Developmental science*, 11(6), 819–827. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00730.x>
- Cromheeke, S., & Mueller, S. C. (2016). The power of a smile: Stronger working memory effects for happy faces in adolescents compared to adults. *Cognition & emotion*, 30(2), 288–301. <https://doi.org/10.1080/02699931.2014.997196>
- Crone, E. A., Wendelken, C., Donohue, S., van Leijenhorst, L., & Bunge, S. A. (2006). Neurocognitive development of the ability to manipulate information in working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(24), 9315–9320. <https://doi.org/10.1073/pnas.0510088103>

- Crump, M. J. C., McDonnell, J. V., & Gureckis, T. M. (2013). Evaluating Amazon's Mechanical Turk as a tool for experimental behavioral research. *PLoS ONE*, *8*, e57410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057410>
- Dajani, D. R., & Uddin, L. Q. (2015). Demystifying cognitive flexibility: Implications for clinical and developmental neuroscience. *Trends in neurosciences*, *38*(9), 571–578. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2015.07.003>
- Daniels, S., Piechowski, M. (2009) *Living with Intensity: Understanding the Sensitivity, Excitability, and Emotional Development of Gifted Children, Adolescents, and Adults*. Éditeur Great Potential Press.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2037–2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- De Neys W. (2006). Dual processing in reasoning: two systems but one reasoner. *Psychological science*, *17*(5), 428–433. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01723.x>
- De Neys, W. (2021). On Dual- and Single-Process Models of Thinking. *Perspectives on Psychological Science*, *16*(6), 1412–1427. <https://doi.org/10.1177/1745691620964172>
- De Neys, W., & Pennycook, G. (2019). Logic, Fast and Slow: Advances in Dual-Process Theorizing. *Current Directions in Psychological Science*, *28*(5), 503–509. <https://doi.org/10.1177/0963721419855658>
- De Neys, W., & Verschueren, N. (2006). Working memory capacity and a notorious brain teaser: The case of the Monty Hall dilemma. *Experimental Psychology*, *53*(2), 123–131. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.53.1.123>
- Deary, I. J., Bell, P. J., Bell, A. J., Campbell, M. L., & Fazal, N. D. (2004). Sensory discrimination and intelligence: Testing Spearman's other hypothesis. *The American Journal of Psychology*, *117*(1), 1–18. <https://doi.org/10.2307/1423593>
- Delaubier, J-P. (2002). *La scolarisation des élèves intellectuellement précoces*, Rapport à M. le ministre de l'Éducation nationale, janvier.
- Demaree, H., Burns, K., DeDonno, M. (2010). Intelligence, but not emotional intelligence, predicts Iowa Gambling Task performance, *Intelligence*, *38*(2), 249-254. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2009.12.004>.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, *64*, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, *333*(6045), 959–964. <https://doi.org/10.1126/science.1204529>
- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *18*, 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>

- Duan, X., Dan, Z., & Shi, J. (2013). The speed of information processing of 9- to 13-year-old intellectually gifted children. *Psychological reports*, 112(1), 20–32. <https://doi.org/10.2466/04.10.49.PR0.112.1.20-32>
- Duan, X., & Shi, J. (2014). Attentional Switching in Intellectually Gifted and Average Children: Effects on Performance and ERP. *Psychological Reports*, 114(2), 597–607. <https://doi.org/10.2466/04.10.PR0.114k21w8>
- Duan, X., Shi, J., Wu, J., Mou, Y., Cui, H., & Wang, G. (2009). Electrophysiological correlates for response inhibition in intellectually gifted children: A Go/NoGo study. *Neuro-science Letters*, 457(1), 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.04.006>
- Duan, X., Wei, S., Wang, G., & Shi, J. (2010). The Relationship between Executive Functions and Intelligence on 11- to 12-Year-Old Children. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 52, 419–431.
- Dunn, W. (1999). *The Sensory Profile: User's manual*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Eagle, D.M., Bari, A. & Robbins, T.W. (2008). The neuropsychopharmacology of action inhibition: cross-species translation of the stop-signal and go/no-go tasks. *Psychopharmacology*, 199, 439–456. <https://doi.org/10.1007/s00213-008-1127-6>
- Egner T. (2007). Congruency sequence effects and cognitive control. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 7(4), 380–390. <https://doi.org/10.3758/cabn.7.4.380>
- Epskamp, S., Borsboom, D. & Fried, E. I. (2018). Estimating psychological networks and their accuracy: A tutorial paper. *Behavior Research Methods*, 50, 195–212.
- Evans J. St. B. T. (1972). Reasoning with negatives. *British Journal of Psychology* 63(2), 213-219.
- Evans, J. St. B. T. (2011). Dual-process theories of reasoning: Contemporary issues and developmental applications. *Developmental Review*, 31(2), 86-102. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2011.07.007>
- Evans, J. St. B. T. (2019). Reflections on reflection: The nature and function of type 2 processes in dual-process theories of reasoning. *Thinking & Reasoning*, 25(4), 383-415. <https://doi.org/10.1080/13546783.2019.1623071>
- Evans, J. St. B. T., & Stanovich, K. E. (2013). Dual-Process Theories of Higher Cognition: Advancing the Debate. *Perspectives on Psychological Science*, 8(3), 223–241. <https://doi.org/10.1177/1745691612460685>
- Evers, A., McCormick, C. M., Hawley, L. R., Muñiz, J., Balboni, G., Bartram, D., Boben, D., Egeland, J., El-Hassan, K., Fernández-Hermida, J. R., Fine, S., Frans, Ö., Gintiliené, G., Hagemester, C., Halama, P., Iliescu, D., Jaworowska, A., Jiménez, P., Manthouli, M., . . . Zhang, J. (2017). Testing practices and attitudes toward tests and testing: An international survey. *International Journal of Testing*, 17(2), 158–190. <https://doi.org/10.1080/15305058.2016.1216434>
- Fiori, M., & Antonakis, J. (2012). Selective attention to emotional stimuli: What IQ and openness do, and emotional intelligence does not. *Intelligence*, 40(3), 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.02.004>

- Francis, R., Hawes, D. J., & Abbott, M. (2016). Intellectual Giftedness and Psychopathology in Children and Adolescents: A Systematic Literature Review. *Exceptional Children*, 82(3), 279–302. <https://doi.org/10.1177/0014402915598779>
- Franssens, S., & De Neys, W. (2009). The effortless nature of conflict detection during thinking. *Thinking & Reasoning*, 15(2), 105–128. <https://doi.org/10.1080/13546780802711185>
- Frederick, S. (2005). Cognitive Reflection and Decision Making. *Journal of Economic Perspectives*, 19, 25–42. [10.1257/089533005775196732](https://doi.org/10.1257/089533005775196732).
- Fried, E. I., Eidhof, M. B., Palic, S., Costantini, G., Huisman-van Dijk, H. M., Bockting, C. L. H., Engelhard, I., Armour, C., Nielsen, A. B. S., & Karstoft, K.-I. (2018). Replicability and generalizability of posttraumatic stress disorder (PTSD) networks: A cross-cultural multisite study of PTSD symptoms in four trauma patient samples. *Clinical Psychological Science*, 6(3), 335–351. <https://doi.org/10.1177/2167702617745092>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Altamirano, L. J., Corley, R. P., Young, S. E., Rhea, S. A., & Hewitt, J. K. (2016). Stability and change in executive function abilities from late adolescence to early adulthood: A longitudinal twin study. *Developmental psychology*, 52(2), 326–340. <https://doi.org/10.1037/dev0000075>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Robinson, J. L. & Hewitt, J. K. (2011). Developmental trajectories in toddlers' self-restraint predict individual differences in executive functions 14 years later: A behavioral genetic analysis. *Dev. Psychol.*, 47(5), 1410–1430. <https://doi.org/10.1037/a0023750>
- Friedman, N., Miyake, A., Corley, R., Young, S., Defries, J., & Hewitt, J. (2006). Not All Executive Functions Are Related to Intelligence. *Psychological science*, 17, 172–9. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01681.x>
- Frye, D., Zelazo, P. D., & Palfai, T. (1995). Theory of mind and rule-based reasoning. *Cognitive Development*, 10(4), 483–527. [https://doi.org/10.1016/0885-2014\(95\)90024-1](https://doi.org/10.1016/0885-2014(95)90024-1)
- Gagné, F. (2004). Transforming gifts into talents: the DMGT as a developmental theory. *High Ability Studies*, 15, 119–147. <https://doi.org/10.1080/1359813042000314682>
- Gagné, F. (2005). From Gifts to Talents: The DMGT as a Developmental Model. Dans Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (dirs), *Conceptions of Giftedness (2nd Ed.)*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. NYC: Basic Books;
- Gardner, H. (1996). *Les Intelligences Multiples*. Retz, Paris
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological bulletin*, 134(1), 31–60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Gaultney, J. F., Bjorklund Deary, 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., Clobert, N. (2021). *Psychologie du haut potentiel*. De Boeck supérieur
- Geake, J. G. (2009). Neuropsychological characteristics of academic and creative giftedness. Dans L. V. Shavinina (dirs), *International handbook on giftedness* (pp. 261–274). Dodrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6162-2>
- Gere, D. R., Capps, S. C., Mitchell, D. W., & Grubbs, E. (2009). Sensory sensitivities of gifted children. *American Journal of Occupational Therapy*, 63(3), 288–295. <https://doi.org/10.5014/ajot.63.3.288>
- Giofrè, D., Mammarella, I., Ronconi, L. & Cornoldi, C. (2013). Visuospatial working memory in intuitive geometry, and in academic achievement in geometry. *Learning and Individual Differences*, 23, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.09.012>.
- Gottfried, A. W., Gottfried, A. E., Bathurst, K., & Guerin, D. (1994). *Gifted IQ: Early developmental aspects*. New York: Plenum Publishing
- Grant, D. A., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38(4), 404–411. <https://doi.org/10.1037/h0059831>
- Gratz, K., & Roemer, L. (2004). Multidimensional Assessment of Emotion Regulation and Dysregulation: Development, Factor Structure, and Initial Validation of the Difficulties in Emotion Regulation Scale. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 26, 41-54. <https://doi.org/10.1007/s10862-008-9102-4>.
- Gross, J. J., & John, O. P. (2003). Individual differences in two emotion regulation processes: Implications for affect, relationships, and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(2), 348–362. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.85.2.348>
- Guérolé F, Louis J, Creveuil C. (2013a). A cross-sectional study of trait-anxiety in a group of 111 intellectually gifted children. *L'encephale*. 39(4), 278-283. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2013.02.001>.
- Guérolé, F., Louis, J., Creveuil, C., Baleyte, J. M., Montlahuc, C., Fournier, P., & Revol, O. (2013b). Behavioral profiles of clinically referred children with intellectual giftedness. *BioMed research international*, 2013, 54015. <https://doi.org/10.1155/2013/540153>
- Guez, A., Panaiotis, T., Peyre, H., Ramus, F. (2018). Predictors of the IQ-achievement gap in France: A longitudinal analysis. *Intelligence*, 69, 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.05.008>
- Guignard, J., & Zenasni, F. (2004). Les caractéristiques émotionnelles des enfants à haut potentiel. *Psychologie Française*, 49, 305-319. [https://doi.org/10.1016/S0033-2984\(04\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0033-2984(04)00048-2)
- Hare, T. A., Tottenham, N., Galvan, A., Voss, H. U., Glover, G. H., & Casey, B. J. (2008). Biological substrates of emotional reactivity and regulation in adolescence during an emotional go-nogo task. *Biological psychiatry*, 63(10), 927–934. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2008.03.015>
- Harnishfeger, K. K. (1995). The development of Cognitive Inhibition. In *Interference and Inhibition in Cognition* (pp. 175-204). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012208930-5/50007-6>

- 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)
- Hartung, J., Engelhardt, L. E., Thibodeaux, M. L., Harden, K. P., & Tucker-Drob, E. M. (2020). Developmental transformations in the structure of executive functions. *Journal of experimental child psychology*, 189, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104681>
- Heller, K. A., Perleth, C., & Lim, T. K. (2005). The Munich Model of Giftedness Designed to Identify and Promote Gifted Students. Dans R. J. Sternberg & J. E. Davidson (dirs.), *Conceptions of giftedness* (pp. 147–170). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610455.010>
- Hoard, M. K., Geary, D. C., Nugent, L., & Byrd-Craven, J. (2008). Development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 277–299. <https://doi.org/10.1080/87565640801982361>
- Hodel A. S. (2018). Rapid Infant Prefrontal Cortex Development and Sensitivity to Early Environmental Experience. *Developmental review*, 48, 113–144. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2018.02.003>
- 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. (2019). *3-System Theory of the Cognitive Brain: A Post-Piagetian Approach*. New-York and London: Routledge.
- 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. (1995). *Rationalité, développement et inhibition : Un nouveau cadre d'analyse*. Paris : PUF. <https://doi.org/10.3917/puf.houde.1995.01>
- Huizenga, H. M., Crone, E. A., & Jansen, B. J. (2007). Decision-making in healthy children, adolescents and adults explained by the use of increasingly complex proportional reasoning rules. *Developmental science*, 10(6), 814–825. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00621.x>
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44(11), 2017–2036. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010>
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Isquith, P. K., Gioia, G. A., & Espy, K. A. (2004). Executive function in preschool children: examination through everyday behavior. *Developmental neuropsychology*, 26(1), 403–422. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_3
- JASP Team (2022). JASP (Version 0.16.3) [Logiciel]

- Janos, P. M., Fung, H. C., & Robinson, N. M. (1985). Self-concept, self-esteem, and peer relations among gifted children who feel "different." *Gifted Child Quarterly*, 29(2), 78–82. <https://doi.org/10.1177/001698628502900207>
- Jaušovec, N. (1991). Flexible strategy use: A characteristic of gifted problem solving. *Creativity Research Journal*, 4(4), 349-366.
- 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>
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99(1), 122–149. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.1.122>
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. London: Allen Lane
- Kahneman, D., & Frederick, S. (2005). A Model of Heuristic Judgment. Dans K. J. Holyoak & R. G. Morrison (dirs.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 267–293). Cambridge University Press.
- Kail, R. (2002). Developmental change in proactive interference. *Child Development*, 73(6), 1703-1714. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00500>
- 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, 8–23. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.09.001>
- Karr, J. E., Rodriguez, J. E., Goh, P. K., Martel, M. M. & Rast, P. (2022). The unity and diversity of executive functions: A network approach to life span development. *Dev. Psychol.*, 58, 751–767.
- Kermarrec, S., Attinger, L., Guignard, J. H., & Tordjman, S. (2020). Anxiety disorders in children with high intellectual potential. *BJPsych open*, 6(4). <https://doi.org/10.1192/bjo.2019.104>
- Khng, K. H., & Lee, K. (2014). The relationship between Stroop and stop-signal measures of inhibition in adolescents: influences from variations in context and measure estimation. *PloS one*, 9(7), e101356. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101356>
- Kirchner W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of experimental psychology*, 55(4), 352–358. <https://doi.org/10.1037/h0043688>
- Kokis, J. V., Macpherson, R., Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2002). Heuristic and analytic processing: Age trends and associations with cognitive ability and cognitive styles. *Journal of Experimental Child Psychology*, 83(1), 26-52. [https://doi.org/10.1016/S0022-0965\(02\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0965(02)00121-2)
- Koole, S. L., & Aldao, A. (2016). The self-regulation of emotion: theoretical and empirical advances. Dans D. Vohs & R. Baumeister (dirs.), *Handbook of Self-Regulation*, 3rd Ed. New York, NY: The Guilford Press.
- Kuhl, J., & Kraska, K. (1992). *Der Selbstregulations- und Konzentrationstest für Kinder (SRKT-K) [The Self-Regulation and Concentration Test for Children]*. Hogrefe, Göttingen.

- Kuhl, J., & Kraska, K. (1993). Self-regulation: Psychometric properties of a computer-aided instrument. *The German Journal of Psychology, 17*, 11-24.
- Labouret, G. (2021). Les enjeux de la définition du haut potentiel entre pratique et théorie. Dans Gauvrit, N. & Clobert, N. (dirs.) *Psychologie du haut potentiel* (pp. 175-202). De Boeck supérieur
- Lee, S-Y., & Olszewski-Kubilius, P. (2006). The emotional intelligence, moral judgment and leadership of academically gifted adolescents. *Journal for the education of the gifted, 30* (1), 29-67.
- Liu, D., Liu, T., Shi, J. (2020). Fluid intelligence and neural mechanisms of conflict adaptation. *International Journal of Psychophysiology, 152*, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.03.004>
- Li, D., Liu, T., Zhang, X., Wang, M., Wang, D. & Shi, J. (2017). Fluid intelligence, emotional intelligence, and the Iowa Gambling Task in children, *Intelligence, 62*, 167-174, ISSN 0160-2896, <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.04.004>.
- Liu, T., Xiao, T., Li, X., & Shi, J. (2015a). Neural mechanism of facial expression perception in intellectually gifted adolescents. *Neuroscience letters, 592*, 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.02.062>
- Liu, T., Xiao, T., Li, X., & Shi, J. (2015b). Fluid intelligence and automatic neural processes in facial expression perception: An event-related potential study. *PLoS ONE, 10*(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138199>
- Liu, T., Xiao, T., Shi, J., Zhao, D., Liu, J. (2011). Conflict control of children with different intellectual levels: An ERP study, *Neuroscience Letters, 490*(2), 101-106, ISSN 0304-3940, <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.12.035>.
- Liu, T., Xiao, T., Shi, J., Zhao, D. (2016). Fluid intelligence and neural mechanisms of conflict adaptation. *Intelligence, 57*, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2016.04.003>.
- Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review, 91*(3), 295-327. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.91.3.295>
- Logan, G. D., Schachar, R. J., & Tannock, R. (1997). Impulsivity and Inhibitory Control. *Psychological Science, 8*(1), 60-64. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1997.tb00545.x>
- Lubart, T., Besançon, M., & Barbot, B. (2011). *Evaluation du Potentiel Créatif (EPoC)*. Paris: Hogrefe.
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child development, 75*(5), 1357-1372. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00745.x>
- Luna, B., Padmanabhan, A., & O'Hearn, K. (2010). What has fMRI told us about the development of cognitive control through adolescence?. *Brain and cognition, 72*(1), 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.08.005>
- Marcovitch, S., O'Brien, M., Calkins, S. D., Leerkes, E. M., Weaver, J. M., & Levine, D. W. (2015). A Longitudinal Assessment of the Relation between Executive Function and Theory of Mind at 3, 4, and 5 Years. *Cognitive development, 33*, 40-55. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2014.07.001>

- Martin, L. T., Burns, R. M., & Schonlau, M. (2009). Mental Disorders Among Gifted and Nongifted Youth: A Selected Review of the Epidemiologic Literature. *Gifted Child Quarterly, 54*(1), 31–41. <https://doi.org/10.1177/0016986209352684>
- Mayer, J. D., Salovey, P., Caruso, D. R., & Sitarenios, G. (2003). Measuring emotional intelligence with the MSCEIT V2.0. *Emotion, 3*(1), 97–105. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.3.1.97>
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence, 37*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.08.004>
- Mehler, J., & Bever, T. G. (1967). Cognitive capacity of very young children. *Science, 158*(3797), 141–142. <https://doi.org/10.1126/science.158.3797.141>
- Menu, I., Rezende, G., Le Stanc, L., Borst, G., & Cachia, A. (2022). A network analysis of executive functions before and after computerized cognitive training in children and adolescents. *Scientific Reports, 12*, 14660. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17695-x>
- Miller, N.B., Silverman, L.K., & Falk, R.F. (1994). Emotional development, intellectual ability and gender. *Journal for the education for the gifted, 18*, 20-38.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive psychology, 41*(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Monsell S. (2003). Task switching. *Trends in cognitive sciences, 7*(3), 134–140. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(03\)00028-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00028-7)
- Morewedge, C. K., & Kahneman, D. (2010). Associative processes in intuitive judgment. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(10), 435–440. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.07.004>
- Mouchiroud, C. (2004). Haut potentiel intellectuel et développement. *Psychologie Française, 49*(3), 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2004.05.004>
- Nigg J. T. (2017). Annual Research Review: On the relations among self-regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines, 58*(4), 361–383. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12675>
- Nock, M. K., Wedig, M. M., Holmberg, E. B., & Hooley, J. M. (2008). The emotion reactivity scale: development, evaluation, and relation to self-injurious thoughts and behaviors. *Behavior therapy, 39*(2), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2007.05.005>
- Nusbaum, F., Hannoun, S., Kocivar, G., Stamile, C., Fournier, P., Revol, O., & Sappey-Marinière, 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*, 173. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00173>
- Opsahl, T., Agneessens, F. & Skvoretz, J. Node (2010). Centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. *Social Networks, 32*, 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2010.03.006>

- Park, S.-J., & Chun, M.M. (2009). Different roles of the parahippocampal place area (PPA) and retrosplenial cortex (RSC) in panoramic scene perception. *NeuroImage*, 47, 1747-1756. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.04.058>
- Pascual-Leone, A., Walsh, V., & Rothwell, J. (2000). Transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience--virtual lesion, chronometry, and functional connectivity. *Current opinion in neurobiology*, 10(2), 232-237. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(00\)00081-7](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(00)00081-7)
- Payne, B. K. (2006). Weapon Bias: Split-Second Decisions and Unintended Stereotyping. *Current Directions in Psychological Science*, 15(6), 287-291. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2006.00454.x>
- Paz-Baruch, N., Leikin, M., Aharon-Peretz, J., & Leikin, R. (2014). Speed of information processing in generally gifted and excelling-in-mathematics adolescents. *High Ability Studies*, 25(2), 143-167. <https://doi.org/10.1080/13598139.2014.971102>
- Peairs, KF, Putallaz, M., & Costanzo, PR (2019). From A (Aggression) to V (Victimization): Peer Status and Adjustment Among Academically Gifted Students in Early Adolescence. *Gifted Child Quarterly*, 63 (3), 185-200. <https://doi.org/10.1177/0016986219838973>
- Pennycook, G., & Rand, D. (2019). Who falls for fake news? The roles of bullshit receptivity, overclaiming, familiarity, and analytic thinking. *Journal of Personality*, 88(2). <https://doi.org/10.1111/jopy.12476>
- Pessoa L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control?. *Trends in cognitive sciences*, 13(4), 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.006>
- Pessoa, L., Padmala, S., Kenzer, A., & Bauer, A. (2012). Interactions between cognition and emotion during response inhibition. *Emotion*, 12(1), 192-197. <https://doi.org/10.1037/a0024109>
- Peters, M. P., & Bain, S. K. (2011). Bullying and Victimization Rates among Gifted and High-Achieving Students. *Journal for the Education of the Gifted*, 34(4), 624-643. <https://doi.org/10.1177/016235321103400405>
- Peyre, H., Galera, C., Van der Waerden, J., Hoertel, N., Bernard, J., Melchior, M., Ramus, F. (2016). Relationship between early language skills and the development of inattention/hyperactivity symptoms during the preschool period: Results of the EDEN mother-child cohort. *BMC Psychiatry*, 16. <https://doi.org/10.1186/s12888-016-1091-3>
- Piaget, J. (1947). *La psychologie de l'intelligence*. Armand Colin. <https://doi.org/10.4324/9780203278895>
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *L'image mentale chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piechowski, M. M., & Colangelo, N. (1984). Developmental potential of the gifted. *Gifted Child Quarterly*, 28(2), 80-88. <https://doi.org/10.1177/001698628402800207>
- Prencipe, A., Kesek, A., Cohen, J., Lamm, C., Lewis, M. D., & Zelazo, P. D. (2011). Development of hot and cool executive function during the transition to adolescence. *Journal of experimental child psychology*, 108(3), 621-637. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.09.008>

- Pritchard, V., & Neumann, E. (2009). Avoiding the Potential Pitfalls of Using Negative Priming Tasks in Developmental Studies: Assessing Inhibitory Control in Children, Adolescents, and Adults. *Developmental psychology, 45*, 272-83. <https://doi.org/10.1037/a0014168>.
- Raoelison, M., & De Neys, W. (2019). Do we de-bias ourselves?: The impact of repeated presentation on the bat-and-ball problem. *Judgment and Decision Making, 14*(2), 170–178.
- Raoelison, M., Thompson, V., de Neys, W. (2020). The smart intuitor: Cognitive capacity predicts intuitive rather than deliberate thinking. *Cognition, 204*, 104381. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104381>.
- Raoelison, M., Boissin, E., Borst, G., & De Neys, W. (2021). From slow to fast logic: The development of logical intuitions. *Thinking & Reasoning, 1*-25. <https://doi.org/10.1080/13546783.2021.1885488>
- R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing* [Logiciel]. <https://www.R-project.org/>.
- Redick, T. S., & Engle, R. W. (2006). Working Memory Capacity and Attention Network Test Performance. *Applied Cognitive Psychology, 20*(5), 713–721. <https://doi.org/10.1002/acp.1224>
- Reitan, R. M. (1992). *Trail Making Test*. South Tucson, Arizona: Reitan Neuropsychology Laboratory
- Renzulli, J. (1978). What makes giftedness: a re-examination of the definition of the gifted and talented. Storrs, CT: university of connecticut, bureau of educational research report series.
- Renzulli, J. (2006). Qu'est-ce que le haut potentiel et comment peut-on le développer chez l'enfant et l'adolescent ? *Bulletin de psychologie, 485*, 463-468. <https://doi.org/10.3917/bupsy.485.0463>
- Renzulli, J. S. (2011). What Makes Giftedness?: Reexamining a Definition. *Phi Delta Kappan, 92*(8), 81–88. <https://doi.org/10.1177/003172171109200821>
- Revol, O., Louis, J. & Fournernet, P. (2004). L'enfant précoce : signes particuliers. *Neuropsychiatrie de l'enfant et l'adolescent, 5*(3), 148-153. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2003.10.004>
- Reyna, V. F. (2012). A new intuitionism: Meaning, memory, and development in Fuzzy-trace theory. *Judgment and Decision Making, 7*(3), 332–359.
- Reyna, V. F., & Brainerd, C. J. (2011). Dual Processes in Decision Making and Developmental Neuroscience: A Fuzzy-Trace Model. *Developmental review 31*(2-3), 180–206. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2011.07.004>
- 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*, 190-194.
- Reynolds, C.R. & Richmond, B. (1999). *R-CMAS Revised Children's Anxiety Scale*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée
- Richland, L. E., & Burchinal, M. R. (2013). Early executive function predicts reasoning development. *Psychological Science, 24*(1), 87–92. <https://doi.org/10.1177/0956797612450883>

- Roberts, 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, E., & Borges, A. (2019). Differences in working memory between gifted or talented students and community samples: A meta-analysis. *Psicothema*, 31, 255–262. <https://doi.org/10.7334/psicothema2019.18>
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207–231. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.2.207>
- Romine, C. B., & Reynolds, C. R. (2005). A model of the development of frontal lobe functioning: findings from a meta-analysis. *Applied neuropsychology*, 12(4), 190–201. https://doi.org/10.1207/s15324826an1204_2
- 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>
- Rubia, K., Russell, T., Overmeyer, S., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., Sharma, T., Simmons, A., Williams, S. C., Giampietro, V., Andrew, C. M., & Taylor, E. (2001). Mapping motor inhibition: conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *NeuroImage*, 13(2), 250–261. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0685>
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 42(8), 1029–1040. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012>
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccomanno, L., & Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(41), 14931–14936. <https://doi.org/10.1073/pnas.0506897102>
- Salvia, E., Aïte, A., Vidal, J., Borst., G (2021). Hot and cool response inhibition abilities develop linearly from late childhood to young adulthood. *Cognitive Development*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2021.101039>
- Schneider, W. J. (2013). What If We Took Our Models Seriously? Estimating Latent Scores in Individuals. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 31, 186–201. <https://doi.org/10.1177/0734282913478046>
- Schneider, W. J., & McGrew, K. S. (2012). The Cattell-Horn-Carroll model of intelligence. Dans D. P. Flanagan & P. L. Harrison (dirs), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (pp. 99–144). The Guilford Press.
- Schneider, W., Niklas, F., & Schmedeler, S. (2014). Intellectual development from early childhood to early adulthood: The impact of early IQ differences on stability and change over time. *Learning and Individual Differences*, 32, 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.02.001>
- 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>

- Schwean, V., Saklofske, D., Widdifield-Konkin, L., Parker, J., Kloosterman, P. (2006). Emotional Intelligence and Gifted Children. *E-Journal of Applied Psychology*, 2, 30-37. <https://doi.org/10.7790/ejap.v2>
- Schweizer, S., Gotlib, I. H., & Blakemore, S.-J. (2020). The role of affective control in emotion regulation during adolescence. *Emotion*, 20(1), 80–86. <https://doi.org/10.1037/emo0000695>
- Schweizer, S., Parker, J., Leung, J., Griffin, C., & Blakemore, S. (2019). Age-related differences in affective control and its association with mental health difficulties. *Development and Psychopathology*, 32(1), 329-341. <https://doi.org/10.1017/S0954579419000099>
- Shore, B. M. (2000). Metacognition and flexibility: Qualitative differences in how gifted children think. Dans R. C. Friedman & B. M. Shore (dirs.), *Talents unfolding: Cognition and development* (pp. 167–187). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10373-008>
- Siaud-Facchin J. (2012). *The gifted child: Helping him grow, helping him succeed*. Paris: Odile Jacob.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. New-York: Oxford University Press.
- Silverman, L. K. (1993). Counseling needs and programs for the gifted. Dans K. A. Heller, F. J. Mönks, & A. H. Passow (dirs.), *International handbook of research and development of giftedness and talent* (pp. 631–647). Pergamon Press.
- Simoes Loureiro, I., Lowenthal, F., Lefebvre, L. & Vaivre-Douret, L. (2010). Étude des caractéristiques psychologiques et psychobiologiques des enfants à haut potentiel. *Enfance*, 1, 27-44. <https://doi.org/10.3917/enf1.101.0027>
- Somerville, L. H., Hare, T., & Casey, B. J. (2011). Frontostriatal maturation predicts cognitive control failure to appetitive cues in adolescents. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(9), 2123–2134. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21572>
- Sowa, C., McIntire, J., May, K., & Bland, L. (1994) Social and emotional adjustment themes across gifted children, *Roeper Review*, 17, 2, 95-98, <https://doi.org/10.1080/02783199409553633>
- Spearman, C. (1904). 'General intelligence,' objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), 201–293. <https://doi.org/10.2307/1412107>
- Spreen, O., & Strauss, E. (1998). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*, (2nd ed.). Oxford University Press.
- Stanovich, K. (2011). Rationality and the Reflective Mind. *Rationality and the Reflective Mind*.
- Stanovich, K. E., & West, R. F. (2000). Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate? *Behavioral and Brain Sciences*, 23(5), 645–665. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00003435>
- Stanovich, K. E., & West, R. F. (2008). On the relative independence of thinking biases and cognitive ability. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(4), 672–695. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.94.4.672>
- Steiner, H. H., & Carr, M. (2003). Cognitive Development in Gifted Children: Toward a More Precise Understanding of Emerging Differences in Intelligence. *Educational Psychology Review*, 15(3), 215–246. <https://doi.org/10.1023/A:1024636317011>

- Sternberg, R. J. (1999). The theory of successful intelligence. *Review of General Psychology*, 3, 292–316. <https://doi.org/10.1037//1089-2680.3.4.292>
- Sternberg, R. J., & Grigorenko, E. L. (2002). *Dynamic testing: The nature and measurement of learning potential*. Cambridge University Press.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Stuppel, E., Pitchford, M., Ball, L., Hunt T., Steel, R. (2017) Slower is not always better: Response-time evidence clarifies the limited role of miserly information processing in the Cognitive Reflection Test. *PLoS ONE*, 12(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186404>
- Terman, L. M. (1916). *The measurement of intelligence*. Houghton, Mifflin and Company. <https://doi.org/10.1037/10014-000>
- Terrassier J.-C. (1979). Le syndrome de dyssynchronie. *Neuropsychologie de l'enfance et de l'adolescence*, 27, 445-50.
- Thelen, E., Schöner, G., Scheier, C., & Smith, L. B. (2001). The dynamics of embodiment: a field theory of infant perseverative reaching. *The Behavioral and brain sciences*, 24(1), 1-86. <https://doi.org/10.1017/s0140525x01003910>
- Thompson, V. A., Pennycook, G., Trippas, D., & Evans, J. S. B. T. (2018). Do smart people have better intuitions? *Journal of Experimental Psychology: General*, 147(7), 945–961. <https://doi.org/10.1037/xge0000457>
- Thompson, V. A., Turner, J. A., & Pennycook, G. (2011). Intuition, reason, and metacognition. *Cognitive psychology*, 63(3), 107–140. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2011.06.001>
- Thurstone, L.L. (1938). *Primary mental abilities*. University of Chicago Press: Chicago.
- Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2011). The Cognitive Reflection Test as a predictor of performance on heuristics-and-biases tasks. *Memory & cognition*, 39(7), 1275–1289. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0104-1>
- Toplak, M., & Flora, D. (2021). Resistance to cognitive biases: Longitudinal trajectories and associations with cognitive abilities and academic achievement across development. *Journal of Behavioural Decision Making*, 34, 344–358. <https://doi.org/10.1002/bdm.2214>
- Tottenham, N., Hare, T. A., & Casey, B. J. (2011). Behavioral assessment of emotion discrimination, emotion regulation, and cognitive control in childhood, adolescence, and adulthood. *Frontiers in psychology*, 2, 39. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00039>
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., Marcus, D. J., Westerlund, A., Casey, B. J., & Nelson, C. (2009). The NimStim set of facial expressions: judgments from untrained research participants. *Psychiatry research*, 168(3), 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2008.05.006>
- Travers, H., Clements, T., Milner-Gulland, E. (2016). Predicting responses to conservation interventions through scenarios: A Cambodian case study, *Biological Conservation*, 204, 403-410, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.040>.

- Urben, S., Camos, V., Habersaat, S., & Stéphan, P. (2018a). Faces presenting sadness enhance self-control abilities in gifted adolescents. *The British journal of developmental psychology*, 36(3), 514–520. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12241>
- Urben, S., Camos, V., Habersaat, S., & Stéphan, P. (2018b). Emotional modulation of cognitive control in referred gifted male adolescents: a pilot study. *Journal of Clinical Psychiatry and neuroscience*, 1(2), 20-4.
- Vaivre-Douret L. (2011). Developmental and cognitive characteristics of "high-level potentialities" (highly gifted) children. *International journal of pediatrics*, 420297. <https://doi.org/10.1155/2011/420297>
- 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>
- Valpied, J. (2018). *Mapping common ground: relationships between sensory-processing sensitivity, introversion-extraversion, openness to experience and intelligence* [Thèse de doctorat, Université de Melbourne]. <http://hdl.handle.net/11343/225051>
- van Bork, R., Rhemtulla, M., Waldorp, L. J., Kruis, J., Rezvanifar, S., & Borsboom, D. (2021). Latent Variable Models and Networks: Statistical Equivalence and Testability. *Multivariate behavioral research*, 56(2), 175–198. <https://doi.org/10.1080/00273171.2019.1672515>
- Vandierendonck, A., Liefoghe, B., & Verbruggen, F. (2010). Task switching: Interplay of reconfiguration and interference control. *Psychological Bulletin*, 136(4), 601–626. <https://doi.org/10.1037/a0019791>
- Verbruggen, F., Aron, A. R., Band, G. P., Beste, C., Bissett, P. G., Brockett, A. T., Brown, J. W., Chamberlain, S. R., Chambers, C. D., Colonius, H., Colzato, L. S., Corneil, B. D., Coxon, J. P., Dupuis, A., Eagle, D. M., Garavan, H., Greenhouse, I., Heathcote, A., Huster, R. J., Jahfari, S., ... Boehler, C. N. (2019). A consensus guide to capturing the ability to inhibit actions and impulsive behaviors in the stop-signal task. *eLife*, 8, e46323. <https://doi.org/10.7554/eLife.46323>
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Automatic and controlled response inhibition: associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *Journal of experimental psychology. General*, 137(4), 649–672. <https://doi.org/10.1037/a0013170>
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2009). Automaticity of cognitive control: Goal priming in response-inhibition paradigms. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(5), 1381–1388. <https://doi.org/10.1037/a0016645>
- Viana-Saenz, L., Sastre-Riba, S., Urraca, M., & Botella, J. (2020). Measurement of Executive Functioning and High Intellectual Ability in Childhood: A Comparative Meta-Analysis. *Sustainability*, 12, 4796. <https://doi.org/10.3390/su12114796>
- Victor, S. E., & Klonsky, E. D. (2016). Validation of a brief version of the Difficulties in Emotion Regulation Scale (DERS-18) in five samples. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 38(4), 582–589. <https://doi.org/10.1007/s10862-016-9547-9>
- Vrignaud, P. (2002, 10-13 septembre); *L'identification des surdoués : chimère psychométrique ou réalité psychologique ?* [Conférence]. Communication aux 15es Journées de Psychologie Différentielle. Rouen.

- Vuyk, M., Krieshok, T., & Kerr, B. (2016a). Openness to experience rather than overexcitabilities: Call it like it is. *Gifted Child Quarterly*, *60* (3), 192–211. <https://doi.org/10.1177/0016986216645407>
- Vuyk, M., & Kerr, B., & Krieshok, T. (2016b). From overexcitabilities to openness: Informing gifted education with psychological science. *Gifted and Talented International*, *31*, 59-71. <https://doi.org/10.1080/15332276.2016.1220796>
- Welsh, M., & Peterson, E. (2014). Issues un the conceptualization and assessment of hot executive functions in childhood. *Journal of the Neuropsychological Society*, *20*, 152-156.
- Warne, R. T., Astle, M. C., & Hill, J. C. (2018). What do undergraduates learn about human intelligence? An analysis of introductory psychology textbooks. *Archives of Scientific Psychology*, *6*(1), 32–50. <https://doi.org/10.1037/arc0000038>
- Webb, C., DelDonno, S., Killgore, W. (2014). The role of cognitive versus emotional intelligence in Iowa Gambling Task performance: What's emotion got to do with it?, *Intelligence*, *44*, 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2014.03.008>.
- Wechsler, D. (2005). *Manuel de l'Echelle d'Intelligence de Wechsler pour Enfants – 4e édition [Manual for the Wechsler Intelligence Scale for Children – fourth edition]*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Wechsler, D. (2011). *Echelle d'intelligence de Wechsler pour adulte – 4e édition [Wechsler Adult Intelligence Scale - fourth edition]*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Wechsler, D. (2016). *Manuel de l'Echelle d'Intelligence de Wechsler pour Enfants 5e édition [Manual for the Wechsler Intelligence Scale for Children – fifth edition]*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Wickham, H. (2016). *Ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York. <http://ggplot2.org>.
- Wickham, H., Francois, R., Henry, L., & Muller, K. (2020). *Dplyr: A grammar of data manipulation [R package version 0.8.5]*. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- Wickham, H., & Henry, L. (2020). *Tidyr: Tidy messy data [R package version 1.0.2]*. <https://CRAN.Rproject.org/package=tidyr>.
- Winkler, D., & Voight, A. (2016). Giftedness and overexcitability: Investigating the relationship using meta-analysis. *Gifted Child Quarterly*, *60* (4), 243–257. <https://doi.org/10.1177/0016986216657588>
- Xu, F., Han, Y., Sabbagh, M. A., Wang, T., Ren, X., & Li, C. (2013). Developmental differences in the structure of executive function in middle childhood and adolescence. *PLoS one*, *8*(10), e77770. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077770>
- Xu, P., Wu, D., Chen, Y., Wang, Z., & Xiao, W. (2020). The Effect of Response Inhibition Training on Risky Decision-Making Task Performance. *Frontiers in psychology*, *11*, 1806. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01806>
- Yakmaci-Guzel, B., & Akarzu, F. (2006). Comparing overexcitabilities of gifted and non-gifted 10th grade students in turkey. *High abilities studies*, *17*, 43-56.

- 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>
- Zeidner, M., Shani-Zinovich, I., Matthews, G., & Roberts, R. (2005). Assessing emotional intelligence in gifted and non-gifted high school students: Outcomes depend on the measure. *Intelligence, 33*(4), 369–391. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.03.001>
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence: Development and plasticity. *Child Development Perspectives, 6*(4), 354–360.

ANNEXES

Annexe 1 : Avis du Comité d’Éthique de la Recherche de l’Université de Paris Cité



CER U-Paris (Comité d’Éthique de la Recherche)

Présidente : Jacqueline Fagard

N° 2020-35-
HILSCHER-
BORST

PROTOCOLE : Contrôle inhibiteur et haut potentiel intellectuel : Étude chez l’enfant, l’adolescent et le jeune adulte

Noms du/des chercheur(s) : Emma Hilscher ; Grégoire Borst

Email pour la correspondance : hilscher.emma@gmail.com; gregoire.borst@parisdescartes.fr

Labo/Service : Laboratoire de Psychologie du Développement et de l’Éducation de l’enfant; Université de Paris

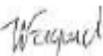
Évalué à la séance du 16/06/2020

AVIS : Favorable

Par cet avis favorable, le CER U-Paris ne se prononce pas sur le respect des mesures barrières contre le Covid-19. Afin de protéger les participants et les personnes impliquées dans la recherche, les responsables de la recherche doivent impérativement se mettre en conformité avec les mesures préconisées pour toutes recherches sur site et hors site par les tutelles hébergeant les unités de recherche concernées, via le DU et responsable hygiène et sécurité.

L’avis favorable du CER U-Paris 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.

Les investigateurs faisant appel aux services du CER U-Paris 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 U-Paris pourrait donner.


Jacqueline Fagard

N° IRB : 00012020-35

Annexe 2 : Livrets explicatifs de la recherche à destination des enfants

Pour mieux comprendre le développement de l'intelligence :

Les enfants participent à la recherche

Livret d'information destiné aux enfants et conçu par les chercheurs du Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'Education de l'enfant (LaPsyDE, CNRS)

MODE D'EMPLOI

Ce livret devra être lu par l'enfant avec ses parents qui lui expliqueront les mots difficiles.

La décision de participer ou non à cette recherche devra se prendre en discutant avec les parents.

Ceux-ci reçoivent un document d'information plus complet et technique qui leur est spécifiquement destiné, ainsi qu'un formulaire de consentement à signer pour l'enfant mineur dont ils sont responsables, si l'enfant et les parents sont tous d'accord.



Bonjour !

Si tu es d'accord, on va réaliser ensemble une **recherche scientifique** pour mieux comprendre le fonctionnement de ton intelligence. Comprendre comment tu réfléchis, tu raisonnes, tu penses, etc.

Ainsi grâce à toi, on pourra savoir plus de choses sur l'intelligence des enfants !

C'est quoi une recherche scientifique ? C'est un peu comme un jeu, avec des règles précises.

Ce que tu dois savoir avant tout, c'est que tu as des droits : "les droits de l'enfant"



1

Mes droits

Pour le jeu (la recherche) que l'on va faire ensemble, tu as le droit de donner ton avis* :

Tu peux dire OUI si tu veux le faire ou dire NON si tu ne veux pas le faire.

Mais pour cela, tu dois savoir ce qu'on va faire !

Ce petit livre te l'explique ...

*Et tu pourras toujours changer d'avis !

2

Ce que je dois faire



Pour faire cette recherche, tu seras assis à un bureau, face à un **ordinateur**. Il faudra que tu sois dans une **pièce au calme**, où tu seras sûr de ne pas être dérangé.



Tu devras faire des petits jeux **tout seul sur ordinateur** pendant une vingtaine de minutes.



Tu verras ce sont des jeux différents, tu auras parfois des questionnaires, parfois des jeux de rapidité, tu entendas parfois aussi des sons.

Pour les jeux avec les sons, papa ou maman te mettront un casque sur les oreilles pour être sûr que tu entendas bien le son.

4

Ce que je dois faire

Cette recherche se fait en 4 fois !

Ce qui veut dire que tu vas devoir **planifier 4 jours dans ton emploi du temps** pour lesquels tu pourras faire les petits jeux qui durent 25 minutes.

Au total, en participant à cette recherche, tu feras 4 x 25 min de jeu, **aux jours et aux heures que tu souhaites !**



4

Pourquoi ?

Pourquoi cette recherche est intéressante pour tout le monde ?

Elle nous permettra de mieux comprendre comment ton intelligence travaille et comment elle s'adapte dans différentes situations dans la vie de tous les jours, à l'école, à la maison, etc.



5

Pour en savoir plus

Tu peux aussi demander d'autres explications à tes parents ainsi qu'aux adultes qui vont t'accompagner pour cette recherche : les chercheurs en psychologie.

Maintenant tu vas bien réfléchir et tu vas décider si tu veux participer à cette recherche.

On ne sait pas encore tout sur l'intelligence, surtout sur celle des enfants, et si tu acceptes de participer, on en saura plus !



5

Après avoir réfléchi, je décide

Une fois que tu as fait ton choix, tu peux le partager à tes parents.

OUI



NON



Tu seras aussi invité avant de débiter les jeux à cocher une case pour donner ton accord :

Je suis d'accord pour participer (cocher la case)

Si tu la coches, les jeux commenceront mais si tu ne la coches pas tu ne pourras pas participer à la recherche.

5

Annexe 3 : Tableaux étude 2 et étude 4

Tableau 2. Moyennes du pourcentage des performances (%) pour une tâche donnée selon le contexte émotionnel (froid, chaud), selon le groupe d'âge et selon le groupe QI. Les écart-types sont entre parenthèses.

Tâches	Groupes âge	Groupes QI	
		Groupe HPI	Groupe Contrôle
Stroop froid			
	9 - 11 ans		
	Incongruents	84,03 (36,67)	61,21 (48,76)
	Congruents	91,75 (27,53)	73,59 (44,12)
	Score d'interférence ^a	-8,10 (20,74)	-12,53 (24,11)
	12 - 14 ans		
	Incongruents	89,63 (30,50)	81,76 (38,63)
	Congruents	91,43 (28,02)	91,17 (28,38)
	Score d'interférence	-1,85 (6,67)	-9,70 (23,78)
	15 - 20 ans		
	Incongruents	88,37 (32,08)	87,83 (32,71)
	Congruents	95,36 (21,06)	96,37 (18,72)
	Score d'interférence	-6,96 (21,97)	-8,47 (20,82)
Stroop chaud			
	9 - 11 ans		
	Incongruents	75,04 (43,31)	61,15 (48,78)
	Congruents	80,55 (39,62)	72,33 (44,77)
	Score d'interférence	-5,82 (7,29)	-11,77 (17,53)
	12 - 14 ans		
	Incongruents	82,42 (38,09)	69,15 (46,20)
	Congruents	87,44 (33,16)	83,28 (37,33)
	Score d'interférence	-5,03 (13,03)	-14,00 (25,01)
	15 - 20 ans		
	Incongruents	84,09 (36,61)	81,54 (38,82)
	Congruents	93,66 (24,40)	92,11 (26,98)
	Score d'interférence	-9,46 (21,98)	-10,60 (14,95)
Stop signal froid			
	9 - 11 ans		
	Essais Go	85,75 (34,97)	81,80 (38,59)
	Essais Nogo	53,78 (49,90)	47,45 (49,97)
	12 - 14 ans		
	Essais Go	85,85 (34,86)	87,29 (33,31)
	Essais Nogo	53,84 (49,88)	48,85 (50,00)
	15 - 20 ans		
	Essais Go	88,65 (31,73)	92,67 (26,07)
	Essais Nogo	57,24 (49,51)	52,43 (49,90)
Stop signal chaud			
	9 - 11 ans		
	Essais Go	81,32 (38,99)	83,13 (37,45)
	Essais Nogo	54,69 (49,83)	45,54 (49,84)
	12 - 14 ans		
	Essais Go	89,09 (31,19)	90,12 (29,84)
	Essais Nogo	50,27 (50,03)	49,32 (50,01)
	15 - 20 ans		
	Essais Go	87,50 (33,08)	91,99 (27,15)
	Essais Nogo	53,47 (49,92)	51,92 (49,99)
Alternate froid			
	9 - 11 ans		
	Switchs	80,25 (39,83)	65,63 (47,51)
	Non-switchs	85,62 (35,10)	71,65 (45,09)
	Score d'interférence ^b	5,23 (5,76)	6,50 (8,41)
	12 - 14 ans		
	Switchs	87,04 (33,60)	79,79 (40,16)
	Non-switchs	89,60 (30,53)	83,90 (36,75)
	Score d'interférence	2,66 (4,50)	4,16 (6,23)
	15 - 20 ans		

	Switchs	90,03 (29,98)	88,22 (32,25)
	Non-switchs	92,69 (26,04)	92,54 (26,29)
	Score d'interférence	2,82 (5,74)	4,42 (5,27)
Alternate chaud		Groupe HPI	Groupe Contrôle
9 - 11 ans	Switchs	68,98 (46,28)	58,42 (49,31)
	Non-switchs	74,33 (43,70)	58,33 (49,32)
	Score d'interférence	4,08 (6,10)	0,38 (10,04)
12 - 14 ans (n = 87)	Switchs	72,93 (44,44)	68,46 (46,47)
	Non-switchs	78,94 (40,79)	72,36 (44,73)
	Score d'interférence	6,33 (8,59)	3,77 (8,99)
15 - 20 ans (n = 49)	Switchs	80,21 (39,85)	76,18 (42,61)
	Non-Switchs	83,00 (37,57)	81,14 (39,13)
	Score d'interférence	2,92 (8,00)	5,28 (6,92)
Nback – froid		Groupe HPI	Groupe Contrôle
9 - 11 ans		87,03 (33,61)	78,27 (41,25)
12 - 14 ans		88,15 (32,33)	83,06 (37,51)
15 - 20 ans		87,28 (33,33)	86,05 (34,66)
Nback – chaud		Groupe HPI	Groupe Contrôle
9 - 11 ans (n = 40)		80,86 (39,36)	67,56 (46,83)
12 - 14 ans (n = 85)		78,65 (40,99)	76,83 (42,19)
15 - 20 ans (n = 45)		83,09 (37,49)	84,90 (35,81)

a : Les scores d'interférence calculés pour les tâches de Stroop correspondent à la différence des moyennes des performances entre les essais incongruents et les essais congruents.

b : Les scores d'interférence calculés pour les tâches Alternate correspondent à la différence des moyennes des performances entre les essais non-switchs et les essais switchs

Tableau 3. Moyennes des temps de réaction (ms) pour une tâche donnée selon le contexte émotionnel (froid, chaud), selon le groupe d'âge et selon le groupe QI. Les écart-types sont entre parenthèses.

Tâches	Groupes âge	Groupes QI	
		Groupe HPI	Groupe Contrôle
Stroop froid			
	9 - 11 ans		
	Incongruents	1149,63 (442,14)	1092,80 (489,80)
	Congruents	998,93 (401,43)	933,09 (462,83)
	Score d'interférence ^a	199,40 (164,82)	186,74 (236,43)
	12 - 14 ans		
	Incongruents	927,96 (345,49)	1020,44 (389,14)
	Congruents	834,05 (328,48)	856,48 (337,96)
	Score d'interférence	99,30 (159,97)	162,39 (189,76)
	15 - 20 ans		
	Incongruents	901,96 (294,14)	942,23 (387,46)
	Congruents	772,45 (269,96)	788,32 (319,89)
	Score d'interférence	131,01 (152,23)	161,57 (157,62)
Stroop chaud			
	9 - 11 ans		
	Incongruents	1170,92 (469,83)	1323,09 (548,36)
	Congruents	1259,74 (510,33)	1129,54 (464,61)
	Score d'interférence	104,27 (155,41)	192,72 (291,56)
	12 - 14 ans		
	Incongruents	1202,30 (456,76)	1138,43 (493,74)
	Congruents	1046,26 (409,46)	1041,11 (441,54)
	Score d'interférence	172,56 (161,01)	80,13 (212,34)
	15 - 20 ans		
	Incongruents	1134,99 (457,29)	1124,06 (470,41)
	Congruents	1036,01 (445,90)	1006,06 (444,10)
	Score d'interférence	111,54 (123,31)	120,50 (125,36)
Stop signal froid			
	9 - 11 ans		
	SSRT	244,42 (63,74)	209,23 (71,89)
	12 - 14 ans		
	SSRT	249,29 (106,41)	238,00 (110,94)
	15 - 20 ans		
	SSRT	287,67 (90,56)	250,08 (111,85)
Stop signal chaud			
	9 - 11 ans		
	SSRT	274,22 (68,43)	194,27 (100,75)
	12 - 14 ans		
	SSRT	217,41 (137,74)	226,32 (130,18)
	15 - 20 ans		
	SSRT	266,94 (126,49)	245,81 (116,14)
Alternate froid			
	9 - 11 ans		
	Switchs	998,15 (350,69)	944,59 (430,04)
	Non-switchs	803,08 (259,15)	713,24 (302,98)
	Score d'interférence ^b	188,02 (162,85)	205,20 (224,83)
	12 - 14 ans		
	Switchs	1029,70 (322,81)	948,75 (344,90)
	Non-switchs	745,36 (240,58)	707,79 (269,23)
	Score d'interférence	287,90 (166,02)	222,05 (150,10)
	15 - 20 ans		
	Switchs	1043,12 (297,31)	963,07 (265,96)
	Non-switchs	737,05 (244,04)	708,87 (214,91)
	Score d'interférence	295,88 (92,29)	255,13 (120,01)

Alternate chaud	Groupe HPI	Groupe Contrôle
9 - 11 ans		
Switchs	1197,87 (349,86)	968,90 (418,81)
Non-switchs	923,44 (252,40)	779,74 (318,83)
Score d'interférence	253,18 (163,67)	195,64 (146,62)
12 - 14 ans		
Switchs	1222,47 (343,37)	1061,63 (376,27)
Non-switchs	907,72 (291,62)	823,72 (284,90)
Score d'interférence	322,54 (166,11)	218,37 (172,81)
15 - 20 ans		
Switchs	1210,17 (324,92)	1157,65 (333,59)
Non-Switchs	880,32 (274,48)	844,59 (277,48)
Score d'interférence	327,75 (136,60)	309,48 (171,63)

a : Les scores d'interférence calculés pour les tâches de Stroop correspondent à la différence des moyennes des temps de réaction entre les essais incongruents et les essais congruents.

b : Les scores d'interférence calculés pour les tâches Alternate correspondent à la différence des moyennes des temps de réaction entre les essais switchs et les essais non-switchs

Tableau 4. Moyennes (%) et écarts-types (entre parenthèses) aux réponses initiales et aux réponses finales aux problèmes congruents et incongruents, selon le groupe d'âge et le groupe QI.

Niveau scolaire	Groupes QI	Problèmes congruents		Problèmes incongruents	
		Réponse initiale	Réponse finale	Réponse initiale	Réponse finale
Début secondaire					
	Groupe HPI	98,44 (6,25)	100,00 (00,00)	4,17 (16,67)	6,25 (25,00)
	Groupe Contrôle	100,00 (00,00)	100,00 (00,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
Milieu secondaire					
	Groupe HPI	96,11 (10,38)	100,00 (00,00)	13,89 (28,81)	20,00 (41,40)
	Groupe contrôle	97,73 (7,54)	100,00 (00,00)	3,03 (10,05)	0,00 (0,00)
Fin secondaire					
	Groupe HPI	92,50 (23,08)	93,98 (18,92)	27,50 (43,60)	30,00 (47,02)
	Groupe contrôle	97,22 (8,08)	96,25 (16,77)	13,89 (26,04)	16,67(38,35)

Annexe 4 : Analyses supplémentaires à l'ATS version froide et chaude

1. Tableau des proportions d'essais switchs et non switchs selon le groupe d'âge et le groupe QI

Condition	Groupe QI	Groupe Age	Propotion
nonswitch	contrôle	9-11	50,32 %
nonswitch	contrôle	12-14	49,57 %
nonswitch	contrôle	15-20	49,30 %
switch	contrôle	9-11	49,68 %
switch	contrôle	12-14	50,43 %
switch	contrôle	15-20	50,70 %
nonswitch	HPI	9-11	50,17 %
nonswitch	HPI	12-14	50,08 %
nonswitch	HPI	15-20	49,68 %
switch	HPI	9-11	49,83 %
switch	HPI	12-14	49,92 %
switch	HPI	15-20	50,32 %

2. Analyses statistiques sur le score d'interférence (coût de l'alternance) pour la performance (bonnes réponses essais non-switchs – bonnes réponses essais switchs)

Afin de mesurer le coût de l'alternance entre une stratégie et une autre, nous avons calculé la différence de performance entre les essais non-switchs et les essais switchs, ce qui permet d'estimer le coût de la flexibilité pour le participant, de sorte qu'une différence plus faible représente de meilleures compétences en flexibilité mentale (cf. figure X). Un modèle de régression à effet mixte, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI, l'âge, le contexte émotionnel comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 0,04$, $p = .98$. Cela suggère que l'effet du contexte émotionnel ne varie pas en fonction de l'âge chez et

selon les capacités cognitives pour le score d'interférence. L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 0,01, p = .996$. L'interaction groupe QI x Contexte émotionnel n'est pas non plus significative, $X^2(1) = 2,39, p = .122$. Enfin, l'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel est significative, $X^2(2) = 7,26, p = .027$. Il n'y a pas d'effet principal de l'âge, $X^2(2) = 1,64, p = .441$, et du groupe QI, $X^2(1) = 0,58, p = .305$. Il y a un effet du contexte émotionnel, $X^2(1) = 8,57, p = .003$.

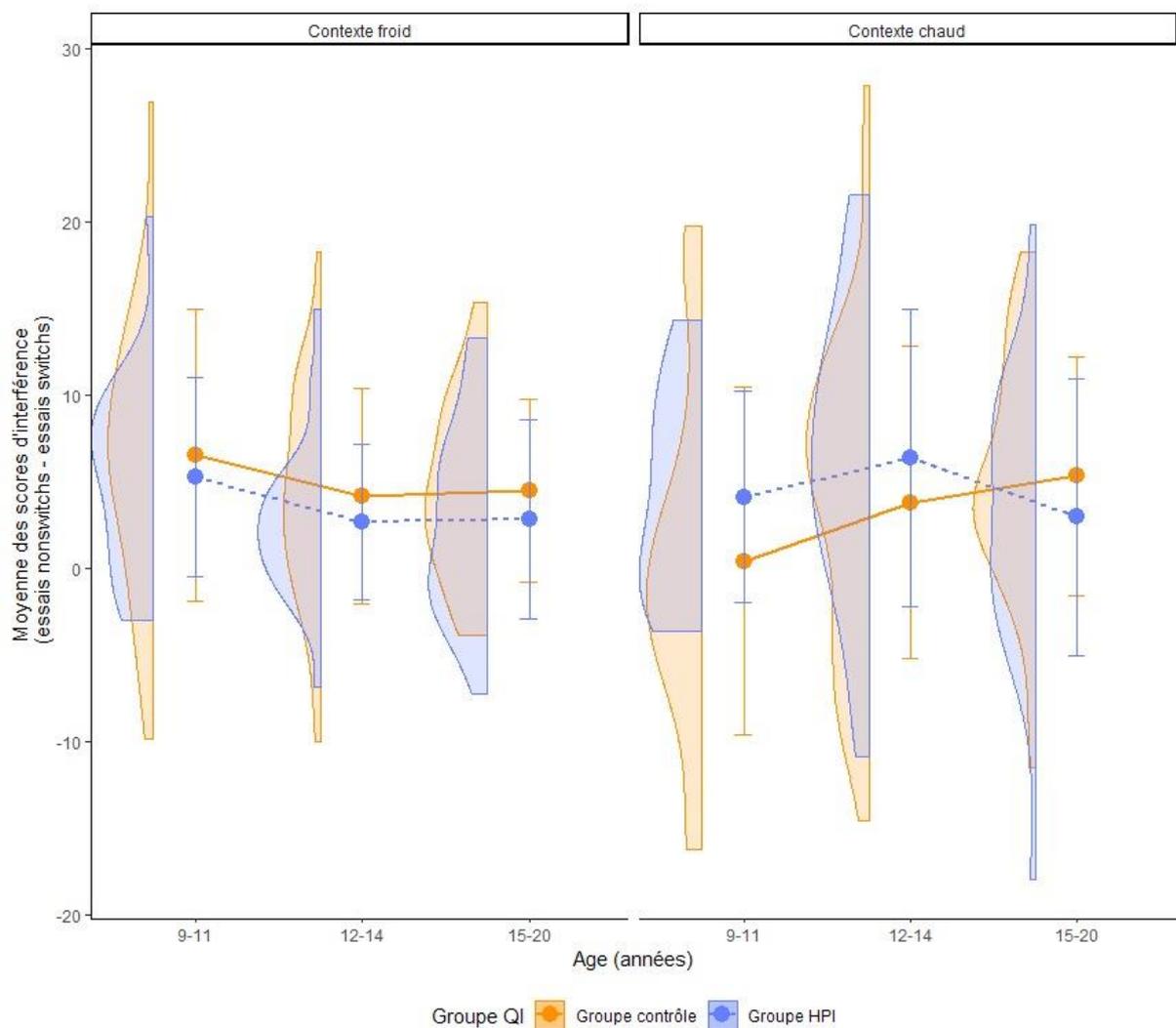


Figure X. La moyenne des scores d'interférence (Bonnes réponses aux essais non-switchs – Bonnes réponses aux essais switchs) en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche de Stroop.

3. Analyses statistiques sur le score d'interférence pour les temps de réaction (temps de réaction aux essais switchs – temps de réaction aux essais nonswitchs)

Afin de mesurer le coût de l'alternance entre une stratégie et une autre, nous avons calculé la différence de temps de réaction entre les essais switchs et les essais non-switchs, ce qui permet d'estimer le coût de la flexibilité pour le participant, de sorte qu'une différence plus faible représente de meilleures compétences en flexibilité mentale (cf. figure X). Un modèle de régression à effet mixte, dans lequel chaque participant a été mis en intercept de l'effet aléatoire et le groupe QI, l'âge, le contexte émotionnel comme facteurs fixes, a montré que l'interaction Groupe QI x Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 1,43, p = .489$, cela suggère que l'effet du contexte émotionnel ne varie pas en fonction de l'âge chez et selon les capacités cognitives pour le score d'interférence. L'interaction Groupe QI x Age n'est pas significative, $X^2(2) = 1,84, p = .399$. L'interaction groupe QI x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(1) = 1,32, p = .251$. Enfin, l'interaction Groupe Age x Contexte émotionnel n'est pas significative, $X^2(2) = 2,11, p = .349$. Il n'y a pas d'effet principal de l'âge, $X^2(2) = 1,02, p = .600$, du groupe QI, $X^2(1) = 0,12, p = .731$ et du contexte émotionnel, $X^2(1) = 0,05, p = .825$.

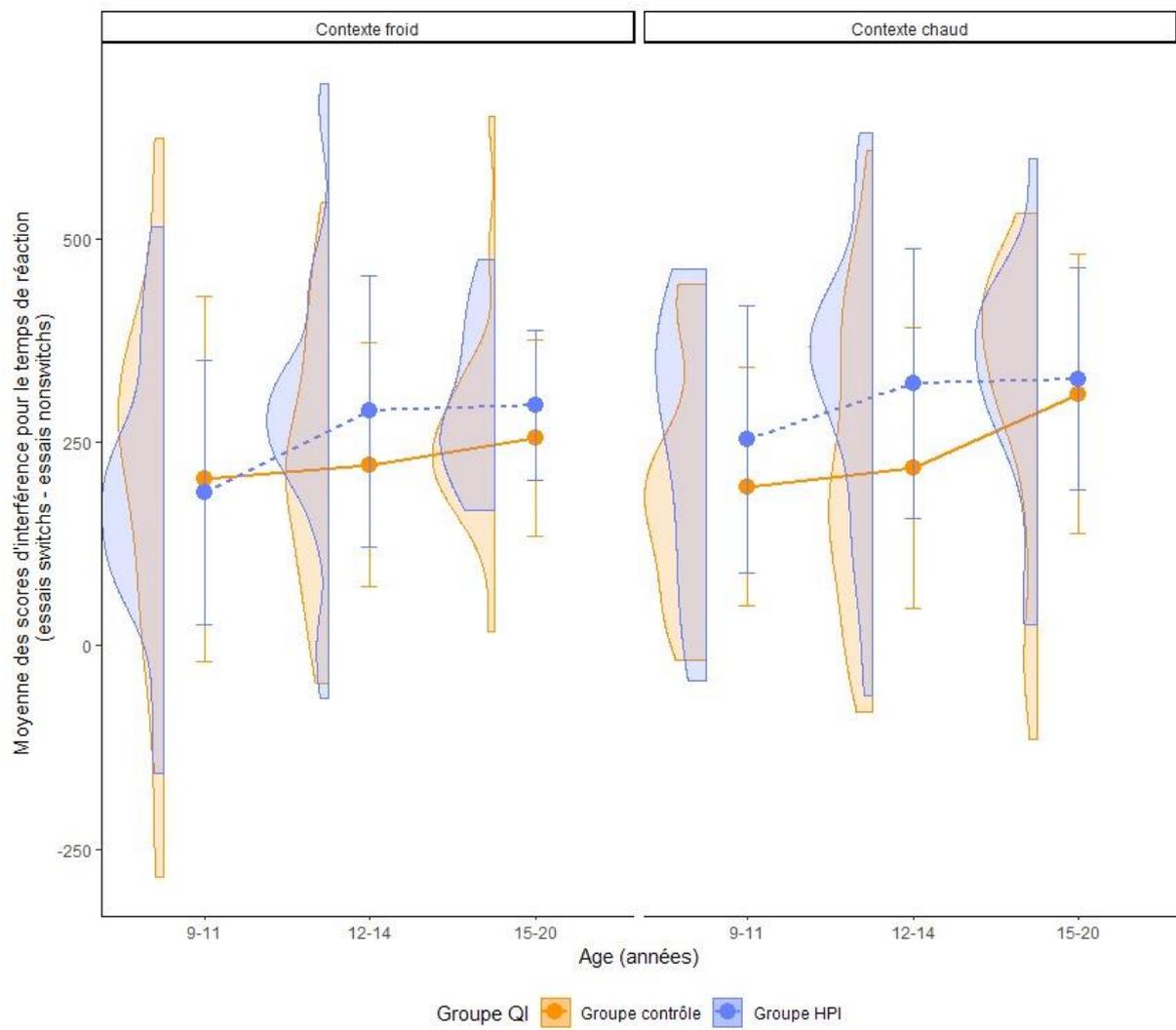


Figure X. La moyenne des scores d'interférence (Bonnes réponses aux essais non-switchs – Bonnes réponses aux essais switchs) en fonction du contexte émotionnel (chaud, froid) et du groupe QI (HPI et contrôle) pour la tâche de Stroop.

