



**HAL**  
open science

# Transversalité des fonctions exécutives : liens avec les apprentissages et la cognition sociale

Charlotte Pinabiaux

► **To cite this version:**

Charlotte Pinabiaux. Transversalité des fonctions exécutives : liens avec les apprentissages et la cognition sociale. Psychologie. Université Paris Nanterre, 2022. tel-04285449

**HAL Id: tel-04285449**

**<https://hal.parisnanterre.fr/tel-04285449v1>**

Submitted on 16 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.

## Charlotte Pinabiaux

Transversalité  
des fonctions exécutives :  
Liens avec les apprentissages  
et la cognition sociale  
au cours du neurodéveloppement

### Jury

Rapporteur :	Jérôme Clerc	Professeur, Université Grenoble Alpes
Rapporteur :	Sylvain Moutier	Professeur, Université de Paris
Membre du jury :	Laurence Conty	Professeure, Université Paris Nanterre
Membre du jury :	Marion Noulhiane	MCF HDR, Université de Paris
Membre du jury :	Lucia Romo	Professeure, Université Paris Nanterre

# Résumé

---

A défaut de décrire l'ensemble des travaux menés dans le cadre de mon activité de chercheuse, le propos développé dans ce manuscrit se centre sur les fonctions exécutives (FE) qui par leur caractère transversal, interviennent dans la régulation d'autres processus cognitifs et m'ont amenée à travailler en collaboration, avec des paradigmes variés et sur des thématiques diversifiées. Mes travaux se sont construits autour d'une interaction forte entre recherche expérimentale en neuropsychologie cognitive et pratique de la neuropsychologie clinique. La première partie de mes travaux a ainsi permis d'explorer la relative plasticité cérébrale à la suite d'un traitement chirurgical de syndromes épileptiques mais aussi la vulnérabilité précoce du cerveau immature soumis à des épisodes hypoxiques ou une exposition à un toxique. Les profils cognitifs complexes des jeunes patients rencontrés étaient souvent le reflet d'une interaction entre troubles exécutifs et de la cognition sociale (reconnaissance d'expressions faciales émotionnelles, théorie de l'esprit). La préoccupation pour les aspects sémiologiques de l'intrication de ces troubles fera l'objet de futurs projets collaboratifs avec notamment un état des lieux des troubles de la cognition sociale dans le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité et la création d'un outil d'évaluation d'un aspect non verbal de la cognition sociale (effet d'indigage par le regard) lors d'une co-direction de thèse. La seconde partie des travaux présentés est issue d'une co-direction de thèse qui m'a permis de m'intéresser à la question des apprentissages, en travaillant à l'interface du concept des FE, de la métacognition et de l'apprentissage auto-régulé. L'approche développée y est moins clinique et plus exploratoire. Elle repose sur la création d'un questionnaire et d'une formation métacognitive à l'apprentissage auto-régulée à destination de lycéens. Même si ces recherches ont mis en évidence des liens entre les FE et l'autorégulation des apprentissages chez l'enfant, il a été difficile de montrer l'efficacité de la formation chez les adolescents. Dans le futur je poursuivrai donc l'étude du lien entre FE et apprentissages en ciblant un âge plus précoce, avec un matériel plus en lien avec les apprentissages réels, et plus particulièrement en utilisant l'apprentissage de la programmation à la robotique proposé à l'école maternelle. A terme et en lien avec mon profil de neuropsychologue du développement, l'objectif de ce projet sera le développement d'un module de remédiation utilisant la robotique et à destination d'enfants présentant des troubles exécutifs.

Mots clés : fonctions exécutives, cognition sociale, apprentissages, neuropsychologie développementale

# Abstract

---

Without describing all the work carried out in my activities as a researcher, the present manuscript focuses on the executive functions (EF) which, by their transversality, are involved in the regulation of other cognitive processes, and have led me to develop collaborative works, using various paradigms and diversified outlines. My work is marked by a strong interaction between experimental research in cognitive neuropsychology and clinical neuropsychology. In the first part of my work, I explored the relative brain plasticity following surgical treatment of epileptic syndromes, but also the early vulnerability of the immature brain to hypoxic episodes or exposure to toxic substances. The complex cognitive profiles of the young patients I met often reflected an interaction between executive and social cognitive disorders (recognition of emotional facial expressions, theory of mind). My preoccupation for the semiology of these interweaving disorders will be the subject of future collaborative projects with an inventory of social cognition impairments in attention deficit disorder with or without hyperactivity, and the creation of an evaluative tool for non-verbal aspects of social cognition (gaze cueing effect) during the co-supervision of a PhD. The second part of the work presented is the result of a PhD co-supervision which allowed me to focus on learning, at the interface of the concept of EF, metacognition, and self-regulated learning. The approach developed is less clinical and more exploratory. It implied the creation of a questionnaire and of a metacognitive training of self-regulated learning for high school students. Although this research has shown links between EFs and self-regulation of learning in children, it has been difficult to show the effectiveness of the training in adolescents. I will continue to investigate the connection between EF and learning by targeting an earlier age, with more reality-related learning materials, and specifically using robotic programming learning in kindergarten. In the long run and in connection with my profile as a developmental neuropsychologist, the objective of this project will be the development of a remediation module using robotics and aimed at children with executive disorders.

Key words: executive functions, social cognition, learning, developmental neuropsychology

# Remerciements

---

Mes premiers remerciements s'adressent aux chercheurs qui m'ont fait l'honneur de faire partie du jury d'évaluation de cette Habilitation à Diriger des Recherches. Aux Professeurs Jérôme Clerc et Sylvain Moutier : merci infiniment d'avoir accepté d'être rapporteurs de mon travail. Je remercie chaleureusement Marion Noulhiane, pour son regard bienveillant depuis le début de ma vie de chercheuse. Merci également au Professeure Lucia Romo, qui a répondu présente pour ce tournant dans ma carrière. Je suis consciente de la chance d'être jugée par des pairs dont le regard expert aura, j'en suis sûre, une influence bénéfique sur la poursuite de ma carrière.

Chère Professeure Conty, Laurence, je suis à court de mot pour t'exprimer ma gratitude pour ton soutien constant et tes conseils avisés tout au long du travail qui a conduit à la finalisation de ce manuscrit. Je me souviens d'une marche dans Paris, à l'aube de la création de DysCo, où je te faisais part de mes difficultés à me trouver une identité de chercheuse. Tu as su me guider sans pression aucune et surtout me redonner confiance lorsque je ne me sentais pas légitime. Je n'aurais pu imaginer de meilleure marraine, tant sur le plan humain que scientifique.

La réalisation de cette HDR doit énormément à mes collègues de DysCo. En premier lieu, je pense bien sûr à mes voisines de bureau qui m'ont toujours soutenue et encouragée. Merci à Marie de Montalembert pour avoir ouvert la voie à la neuropsychologie à Nanterre, et m'avoir accepté avec tant de bienveillance à tes côtés. Merci à Antonine Goumi pour les coups de pieds aux fesses sans lesquels cette HDR n'aurait jamais vu le jour, mais surtout pour les beaux projets sur lesquels nous collaborons (merci de supporter mes montagnes russes entre enthousiasme fulgurant et pessimisme).

Merci à Corentin Gosling, dernier arrivé de la bande, mais avec qui les collaborations sont déjà riches ! Merci de m'avoir initié à l'art des méta-analyses et autres revues ombrelles. Merci à Sandrine Vieillard, qui m'a permis de travailler sur des données chez la personne âgée, m'ouvrant ainsi à la perspective « vie entière » en psychologie cognitive. DysCo ne se limitant pas à Nanterre, j'ai également de chaleureuses pensées pour nos collègues Dionysiens et Dionysiennes : Serge Caparos (merci Serge pour ta bonne humeur et ton écoute), Alexandra Ernst, Sabine Guéraud (merci Sabine pour ta bienveillance à mon arrivée dans le trio

de direction), Louise Goyet, Marianne Habib, Amélie Jacquot, Jean-Luc Picq et Claire Vallat-Azouvi.

Je remercie bien sûr l'ensemble des collègues enseignants chercheurs, praticiens hospitaliers, neuropsychologues, avec qui j'ai travaillé au cours des projets qui sont décrits dans ce manuscrit. Au Professeure Isabelle Jambaqué-Aubourg, qui a été la première à m'encourager sur la voie de l'enseignement supérieur et de la recherche. L'équipe du service de Neurochirurgie Pédiatrique de la Fondation Adolphe de Rothschild, en particulier Christine Bulteau et Jessica Save-Pédebos. David Germanaud, qui m'a fait l'honneur de sa confiance en me faisant une place à Robert Debré à l'époque des travaux menés chez les enfants avec Troubles Causés par l'Alcoolisation Fœtale, et qui m'a fait bénéficier de son expertise et de son sens clinique dans ce domaine si particulier de la neuropédiatrie. A Johanna Calderon qui a été à l'initiative de notre collaboration sur les données acquises chez les enfants avec cardiopathies congénitales. Merci au Professeur Fabien Fenouillet, qui a accepté de co-encadrer une thèse à l'intersection de champs qui semblaient à la fois très proches en termes de définitions mais très éloignés en termes paradigmatiques.

Merci également à mes collègues de l'équipe pédagogique de Psychologie Cognitive et Neuropsychologie, en particulier Laure Léger-Chorki et Emmanuel Schneider qui m'ont accueillie avec beaucoup de bonne humeur et de clémence depuis mes débuts à Nanterre (je ne compte plus le nombre de fois où il aura fallu me prêter des clés de bureau...).

En dernier lieu, je voudrais remercier celles et ceux qui sont à l'origine de ma vocation et qui m'ont poussé à continuer dans la voie de l'enseignement à la recherche et par la recherche : les 58 étudiants et étudiantes dont j'ai pu suivre et encadrer ou co-encadrer les mémoires de recherche de Master depuis 2008 jusqu'à aujourd'hui. Et plus particulièrement, merci à Pauline Laurent (PhD) et Belen Haza-Gomez, dont j'ai le bonheur d'avoir co-encadré ou de co-encadrer encore le travail de doctorat. Vous êtes celles qui permettent la réalisation de la recherche au quotidien, et j'espère être digne d'en tirer les conclusions qui se trouvent dans ce manuscrit. J'ai, je pense, beaucoup de chance d'avoir pu faire mes débuts de supervision de doctorat avec des étudiantes aussi brillantes et motivées.

Ce manuscrit est dédié à celui et celles qui partagent ma vie lorsque je tente de n'être plus ni une chercheuse, ni une enseignante :

A Thomas, Elise et Anouk, avec tout mon amour.

# Table des matières

---

Introduction .....	1
CURRICULUM VITAE .....	3
Curriculum Vitae résumé.....	4
Cursus Universitaire .....	5
Activités de recherche .....	5
Activités Pédagogiques.....	12
Responsabilités administratives et collectives.....	18
Activités cliniques .....	20
Compléments d'information.....	21
PARTIE I : SYNTHÈSE DES TRAVAUX SUR LES FONCTIONS EXECUTIVES .....	22
1. Fonctions exécutives définitions, modèles et développement.....	23
1.1. Comment définir les fonctions exécutives ? .....	23
1.2. Modélisations des fonctions exécutives : chez l'adulte .....	24
1.3. Modélisations des fonctions exécutives : chez l'enfant .....	26
1.4. Trajectoire développementale des fonctions exécutives.....	30
1.5. Synthèse .....	35
2. Fonctions exécutives et cognition sociale, une approche neuropsychologique : entre vulnérabilité et plasticité du jeune cerveau.....	36
2.1. Vulnérabilité précoce du cerveau, fonctions exécutives et cognition sociale.....	40
2.2. Plasticité cérébrale, fonctions exécutives et cognition sociale .....	57
2.3. Perspectives.....	65
3. Fonctions exécutives et apprentissages scolaires : l'apprentissage auto-régulé.....	66
3.1. Implication des FE dans les apprentissages scolaires .....	66
3.2. Comment évaluer l'apprentissage auto-régulé chez l'enfant ? .....	69
3.3. Liens entre fonctions exécutives et apprentissage auto-régulé chez l'enfant .....	78
3.4. Entraîner l'apprentissage auto-régulé et les fonctions exécutives .....	83
3.5. Perspectives.....	87
Synthèse de la première partie.....	89
PARTIE II : PROJETS DE RECHERCHE.....	90
1. Fonctions exécutives et cognition sociale dans une approche neuropsychologique : décrire et évaluer leurs intrications.....	92

2. Fonctions exécutives et apprentissage scolaires : la pertinence de la programmation robotique.....	104
Synthèse de la seconde partie .....	114
Conclusion.....	115
Références .....	116
Annexes .....	140
Annexe I. Exemples de verbalisations recueillies pour chaque catégorie de réponse.....	141
Annexe II : Echelle de régulation des apprentissages pour enfant .....	142
Annexe III. Synthèse des résultats des analyses de régression multiples.....	147
Annexe IV : Résultat de l'analyse factorielle exploratoire.....	145
Annexe V. Description des interventions sur l'apprentissage autorégulé et sur l'éco-citoyenneté.....	149
Annexe VI. Exemples d'outils proposés dans le journal personnel des lycéens .....	151



# Table des figures

---

Figure 1. Modèle en trois facteurs des fonctions exécutives (Miyake et al., 2000).....	25
Figure 2. Modèle hiérarchique des fonctions exécutives Miyake & Friedman (2012).....	26
Figure 3. Modèle des fonctions exécutives chez l'enfant d'après Anderson (2002). ....	28
Figure 4. Modèle développemental hiérarchisé et intégratif des fonctions exécutives (Diamond, 2013).....	29
Figure 5. Trajectoires développementales supposées des composantes du modèle d'Anderson (2002) de la naissance à l'âge adulte. ....	30
Figure 6. Reconstruction en 3 dimensions de l'atteinte cérébrale de Phineas Gage (Damasio et al., 1994) .....	37
Figure 7. Nombre moyen de tâches réussies dans les trois catégories d'émotion (externes, mentales et réflexives) de la TEC pour les enfants avec transposition des gros vaisseaux (TGA) et contrôles .....	44
Figure 8. Pourcentage d'enfant avec transposition des gros vaisseaux et du groupe contrôle ayant réussi les différentes tâches d'attribution de fausse croyance : épistémologique cognitive de premier ordre et second ordre, affective positive et négative de second ordre. ....	45
Figure 9. Critères diagnostiques du trouble neuro-développemental en contexte d'alcoolisation fœtale (TCAF, d'après Doyle & Mattson, 2015).....	48
Figure 10. Notes d'indices obtenues à la WISC-V (WPPSI-IV pour M.M.) pour les 6 patients regroupés selon leur profil neuro-cognitif. ....	57
Figure 11. Interaction entre le côté de l'hémisphérotomie et l'âge de la chirurgie sur le score général composite de pragmatique du langage de la CCC. ....	63
Figure 12. Ecarts à la norme (scores z) des patients avec hémisphérotomie droite (en noir) ou gauche (en blanc) à la tâche d'appariement d'expressions faciales émotionnelles. ....	64
Figure 13. Modèle en 7 facteurs .....	75
Figure 14. Schéma des relations entre les fonctions exécutives (rectangle), les capacités d'apprentissage auto-régulé (cercles) et la métacognition (nuage). ....	81
Figure 15. Procédure expérimentale de l'étude de Laurent et al (soumis).....	85
Figure 16. Représentation schématique des travaux de recherche passés.....	89
Figure 17. Vision globale du projet de recherche à long terme. TDA/H : trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité .....	93
Figure 18. Exemples des différents types d'essais pour les trois versions de l'outil. ....	101
Figure 19. Tailles d'effet standard (en ms) dans les différentes versions et conditions d'indication. ....	102
Figure 20. Décours temporel d'un essai .....	103
Figure 21. Vision globale du projet de recherche EXEBOT à long terme.....	106
Figure 22. Procédure expérimentale.....	109
Figure 23. Visualisation de la Bee-Bot et des touches de programmation. ....	110
Figure 24. Matériel utilisé lors des séances de robotique. ....	111

Figure 25. Configuration des éléments lors des tests de robotique. Les ruches représentent la case à atteindre, les fleurs représentent une étape obligatoire et les ours un obstacle à éviter. ....	112
Figure 26. Représentation schématique des projets de recherche. ....	114

# Introduction

---

J'ai soutenu mon doctorat en 2012. Comme indiqué dans mon *curriculum vitae* détaillé, il portait sur l'impact comportemental et neuro-fonctionnel de l'épilepsie du lobe temporal sur la mémoire de stimuli émotionnels chez l'enfant et l'adolescent. Ce travail a donné lieu à trois publications dans des journaux internationaux à comité de lecture, 2 articles publiés dans des revues nationales à comité de lecture, 2 chapitres d'ouvrage et 7 communications en congrès. J'ai choisi toutefois de ne pas présenter ces travaux dans la présente synthèse. En effet, mes travaux de thèse ayant déjà été évalués par mes pairs, j'ai préféré focaliser le présent manuscrit sur les travaux que j'ai eu l'occasion de mener depuis mon recrutement et qui ont façonné mon projet de recherche. De la même manière, j'ai publié en auteure principale deux articles sur le thème de la régulation émotionnelle chez les personnes âgées, à l'international. Il m'a semblé toutefois très artificiel de tenter de les présenter. J'ai estimé préférable de ne pas le faire et de privilégier ainsi la cohérence de mon manuscrit que j'espère, vous aurez plaisir à lire.

Depuis mon intégration de l'Université Paris Nanterre en tant que Maître de Conférences en 2014, mon parcours a été jalonné par des collaborations riches et variées. Cette riche variété d'échanges scientifiques a façonné mon apprentissage continu du travail d'enseignant-chercheur et m'a permis de travailler sur divers aspects du fonctionnement cognitif. Le fil directeur de ce manuscrit se trouve donc fortement influencé par le caractère collaboratif et diversifié de mes expériences de recherche. Cependant, au cours de ces expériences, mon intérêt s'est majoritairement porté vers la régulation de la cognition. Parce qu'elles interviennent justement dans la régulation d'autres processus cognitifs, les fonctions exécutives (FE) revêtent un caractère transversal, qui a entretenu et rendu cohérente mon appétence pour des paradigmes variés et des collaborations sur des thématiques diversifiées. En outre, depuis ma formation de niveau Master, ma coloration scientifique s'est construite autour d'une interaction forte entre recherche expérimentale en neuropsychologie cognitive et pratique de la neuropsychologie clinique. Ainsi, mon intérêt pour les FE et la cognition sociale est également né d'une réflexion clinique, nourrie par mon activité de psychologue-neuropsychologue et mes interactions avec mes collègues praticiens. En effet, les profils cognitifs complexes de certains patients sont souvent le reflet d'une atteinte exécutive, ayant un impact notamment sur les apprentissages mais également sur les interactions sociales au quotidien.

L'idée selon laquelle les fonctions cognitives sont interconnectées au cours du développement n'est pas nouvelle. En 1930, Lev Vygotsky énonçait :

« Au cours du développement, en particulier du développement historique du comportement, changent non seulement les fonctions comme nous le pensions auparavant (c'était notre erreur), ni leur structure ni le système de leur mouvement non plus, mais changent et se transforment plutôt leurs relations, les liaisons entre les fonctions, et apparaissent de nouveaux groupements qui étaient inconnus dans l'étape précédente de développement. » (p. 110)

Même si mes travaux de recherche n'ont pas pour ambition de décrire le développement cognitif dans sa globalité comme le proposait Vygotsky, j'espère qu'ils apportent un éclairage sur l'intrication des fonctions cognitives chez l'enfant et l'adolescent. Je m'y intéresse sous l'angle de l'implication transversale des FE, d'une part dans des aspects liés aux apprentissages scolaires et d'autre part dans leur lien avec la cognition sociale, notamment chez des enfants et adolescents présentant des troubles neuro-développementaux. Dans ce manuscrit, une première partie sera consacrée aux aspects théoriques et expérimentaux relatifs aux FE. L'objectif sera (1) de cerner les limites liées à la conceptualisation et la mesure de ce concept et (2) de rendre compte de l'apport de mes travaux sur le rôle des FE dans l'apprentissage auto-régulé et la cognition sociale au cours du développement typique ou atypique. La deuxième partie sera consacrée à la description de mes projets qui se situent dans la lignée directe de mes travaux antérieurs abordés toutefois sous un angle innovant.

# CURRICULUM VITAE

---



Née le 05/10/1984 aux Lilas (93)  
Age : 37 ans  
Nationalité française  
Situation familiale : Mariée, 2 enfants

🏠 233, rue de Bellevue  
92700 Colombes  
☎ 06.03.01.03.65  
✉ charlotte.pinabiaux@parisnanterre.fr

## Curriculum Vitae résumé

### Poste actuel (depuis 2014)

**Maître de conférences en Neuropsychologie, Psychologie Cognitive et Apprentissages** –  
Université Paris Nanterre, UFR SPSE, UR DysCo – Fonctionnement et Dysfonctionnement  
Cognitifs : les âges de la vie.

### Formation

**2012 : Doctorat de Psychologie** – Université Paris Descartes, France

*Titre de Psychologue obtenu en 2008*

**2008 : Master 2 Recherche Psychologie Cognitive** – Université Paris Descartes, France

**2007 : Master 1 Neuropsychologie** – Université Paris Descartes, France

**2006 : Licence de Psychologie** – Université Paris Descartes, France

### Publications et communications

Google scholar :	1 <sup>er</sup> auteur	2 <sup>ème</sup> auteur	Dernier auteur	Autre	Total
148 articles citant mes travaux ; h-index=7					
<b>Articles publiés dans des revues internationales indexées</b>	3	4	1	4	12
<b>Articles publiés dans des revues nationales indexées</b>	1	1			2
<b>Chapitres d'ouvrage</b>		3			3
<b>Conférences invitées</b>	10		1		11
<b>Communications orales</b>	3	2	2	3	10
<b>Communications affichées</b>	6	3	2		11

### Enseignements

- **Niveau Licence** : Psychologie cognitive, psychologie différentielle, psychométrie, régulation de stage
- **Niveau Master** : Neuropsychologie développementale (Méthodologie de l'évaluation neuropsychologie, troubles neurodéveloppementaux, remédiation cognitive chez l'enfant), méthodologie de la recherche

## Cursus Universitaire

**2013 : Qualifiée aux fonctions de Maître de Conférences 16<sup>ème</sup> section** (n° de qualification : 13216242088)

**2008-2012 : Doctorat de Psychologie** (Direction : Pr. Isabelle Jambaqué-Aubourg co-direction : Dr. Lucie Hertz-Pannier) – Université Paris Descartes, Institut de Psychologie, UMR 1129 « Epilepsies et Plasticité cérébrale » (Inserm – Paris Descartes – CEA)

*« Epilepsie du lobe temporal chez l'enfant et l'adolescent : Impact comportemental et neurofonctionnel sur la mémoire de stimuli émotionnels »*

Soutenu le 29 juin 2012, mention très honorable avec les félicitations du jury à l'unanimité

Jury : Pr. Séverine Samson (Rapporteur), Dr. Nathalie George (Rapporteur), Pr. Olivier Houdé (Président du jury), Dr. Stéphane Auvin (Examineur)

**2007-2008 : Master 2 Recherche Psychologie Cognitive**, Mention Très bien (lauréate de promotion), Université Paris Descartes

**2006-2007 : Master 1 Neuropsychologie**, Mention Très Bien (lauréate de promotion), Université Paris Descartes

**2003-2006 : Licence de Psychologie**, Mention Très Bien (lauréate de promotion), Université Paris Descartes

**2002 : Baccalauréat Scientifique**, spécialité Sciences de la Vie et de la Terre, Mention Bien, Lycée d'état de Sèvres (92)

## Activités de recherche

### Publications

---

#### Publications internationales avec comité de lecture :

1. Gosling, C.J., **Pinabiaux, C.**, Caparos, S., Delorme, R., Cortese, S. (2020). Influence of the month of birth on persistence of ADHD in prospective studies: protocol for an individual patient data meta-analysis. *BMJ Open*, 10(11):e040952. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-040952>. PMID: 33199424; PMCID: PMC7670948.
2. Vieillard, S., **Pinabiaux, C.**, & Bigand, E. (2020). Positive and Detached Reappraisal of Threatening Music in Younger and Older Adults. *Frontiers in Human Neuroscience, section Cognitive Neuroscience*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00216>
3. Vieillard, S., & **Pinabiaux, C.** (2019). Spontaneous response to and expressive regulation of mirth elicited by humorous cartoons in younger and older adults. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, 26(3), 407-423. <https://doi.org/10.1080/13825585.2018.1453922>

4. Bouyeure, A., Germanaud, D., Bekha, D., Delattre, V., Lefèvre, J., **Pinabiaux, C.**, ... Noulhiane, M. (2018). Three-Dimensional Probabilistic Maps of Mesial Temporal Lobe Structures in Children and Adolescents' Brains. *Frontiers in Neuroanatomy*, 12, 98. <https://doi.org/10.3389/fnana.2018.00098>
5. Save-Pédebos, J., **Pinabiaux, C.**, Dorfmueller, G., Sorbets, S. F., Delalande, O., Jambaqué, I., & Bulteau, C. (2016). The development of pragmatic skills in children after hemispherotomy: Contribution from left and right hemispheres. *Epilepsy & Behavior: E&B*, 55, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.12.013>
6. Zebdi, R., Goyet, L., **Pinabiaux, C.**, & Guellai, B. (2016). Psychological Disorders and Ecological Factors Affect the Development of Executive Functions: Some Perspectives. *Frontiers in Psychiatry*, 7, 195. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00195>
7. Calderon, J., Angeard, N., **Pinabiaux, C.**, Bonnet, D. & Jambaqué, I. (2014) Facial expression recognition and emotion understanding in children after neonatal open-heart surgery for transposition of the great arteries. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 56(6), 564-71. 10.1016/j.yebeh.2009.07.006.
8. **Pinabiaux, C.**, Hertz-Pannier, L., Chiron, C., Rodrigo, S., Jambaqué, I. & Noulhiane, M. (2013). Age related networks of fearful faces memory in children and adolescents: Specializations of amygdala nuclei and medial temporal lobe. *Frontiers in human neuroscience*, 7;901, doi: 10.3389/fnhum.2013.00901
9. **Pinabiaux, C.**, Bulteau, C., Fohlen, M., Dorfmueller, G., Chiron, C., Hertz-Pannier, L., Delalande, O. & Jambaqué, I. (2013) Impaired emotional memory recognition after early temporal lobe epilepsy surgery: The fearful face exception? *Cortex*, 49(5), 1386-1393.
10. Noulhiane, M.<sup>1</sup>, **Pinabiaux, C.**<sup>1</sup>, Jambaqué, I., Chiron, C. & Hertz-Pannier (2013). Recent advances in functional magnetic resonance imaging: contribution to pediatric epilepsy. *Journal of Pediatric Epilepsy*, 2, 63-71.
11. Calderon, J., Bonnet, D., **Pinabiaux, C.**, Jambaqué, I. & Angeard, N. (2013). Use of early remedial services in children with transposition of the great arteries: Prevalence and associated factors. *Journal of Pediatrics*, 163(4), 1105-1110. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2013.04.065>
12. Jambaqué, I., **Pinabiaux, C.**, Dubouch, C., Fohlen, M. Bulteau, C. & Delalande, O. (2009). Verbal emotional memory in children with epilepsy. *Epilepsy & Behavior*, 16(1), 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2009.07.006>.

#### **Publications nationales avec comité de lecture :**

1. Gossard, C., **Pinabiaux, C.**, Charpentier, A., Lalande, A-C. & Grosmaître, C. Evaluation du langage de l'enfant de 18 à 36 mois : Adaptation d'Antoine et Caroline, *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 134, 73-92.
2. **Pinabiaux, C.**, Bulteau, C. & Jambaqué, I. (2013). L'évaluation neuropsychologique dans le contexte de l'épilepsie du nourrisson et du jeune enfant. *Contraste*, 38, 103-120.

#### **Chapitres d'ouvrages :**

1. Jambaqué, I., **Pinabiaux, C.**, & Lassonde, M. (2013). Cognitive disorders in pediatric epilepsy. *Handbook of clinical neurology*, 111, 691-695. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52891-9.00071-3>

---

<sup>1</sup> Both authors contributed equally to the manuscript.



2. Jambaqué, I. & **Pinabiaux, C.** (2009). Fonctions cérébrales supérieures : Examen neuropsychologique. In: B. Chabrol, O. Dulac, J. Mancini, & G. Ponsot, Neurologie Pédiatrique (3<sup>ème</sup> édition). Paris: Flammarion.
3. Jambaqué, I. & **Pinabiaux, C.** (2009). Troubles Mnésiques. In: B. Chabrol, O. Dulac, J. Mancini, & G. Ponsot, Neurologie Pédiatrique (3<sup>ème</sup> édition). Paris: Flammarion.

### Communications orales :

1. Laurent, P.<sup>2</sup>, **Pinabiaux, C.**, Lorent, S., Masson, J., & Fenouillet, F. (2018). La régulation des apprentissages par l'enfant : développement d'un outil de mesure. 59<sup>ème</sup> Congrès de la Société Française de Psychologie, Université de Reims.
2. Laurent, P.<sup>2</sup>, Fenouillet, F., & **Pinabiaux, C.** (2018). Métacognition et fonctions exécutives des enfants de 8 à 11 ans : Influence sur la régulation des apprentissages. 59<sup>ème</sup> Congrès de la Société Française de Psychologie, Université de Reims.
3. Laurent, P.<sup>2</sup>, Fenouillet, F. & **Pinabiaux, C.** (2016). Formation des lycéens à l'apprentissage autorégulé : compensation de difficultés exécutives. Journée d'étude : L'efficacité cognitive au service des apprentissages, ESPE de Lille.
4. **Pinabiaux, C.**, Save, J. Dorfmüller, G., Bulteau, C., & Jambaqué, I. (2016). Facial identity and emotional facial expressions processing after left or right functional hemispherectomy in 40 children. Joint meeting of the British Neuropsychological Society with Société de Neuropsychologie de Langue Française, London, 17<sup>th</sup>-18<sup>th</sup> March 2016.
5. Laurent, P.<sup>2</sup>, Fenouillet, F., **Pinabiaux, C.**, & de Montalembert, M. (2015). Compensation par l'apprentissage autorégulé de difficultés exécutives chez les apprenants. Journée d'hiver de la Société de Neuropsychologie de Langue Française, Paris, 4 décembre 2015.
6. Calderon, J., **Pinabiaux, C.**, Bonnet, D., Jambaqué I. & Angeard, N. (2013). Emotion comprehension and theory of mind in children after open-heart surgery for congenital heart disease. 43rd Annual Meeting of the Jean Piaget Society – Social Development: Current Trends & Perspectives, Chicago, 6-8 June 2013.
7. Calderon, J., Bonnet, D., **Pinabiaux, C.**, Angeard, N. & Jambaqué, I. (2013). Early remedial services use in children with transposition of the great arteries: prevalence and associated factors. 47th Annual Meeting of the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology, London, 22<sup>nd</sup>-25<sup>th</sup> May 2013.
8. Calderon, J., Bonnet, D., **Pinabiaux, C.**, Angeard, N. & Jambaqué, I. (2013). Are deficits in emotion processing part of the neurodevelopmental morbidities after transposition of the great arteries (TGA)? 47th Annual Meeting of the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology, London, 22<sup>nd</sup>-25<sup>th</sup> May 2013.
9. **Pinabiaux C.**, Noulhiane M., Fohlen M., Ferrand-Sorbet S., Delalande O., Chiron C., Hertz-Pannier L., Jambaqué I. Impact d'une chirurgie de l'épilepsie du lobe temporal sur la mémoire émotionnelle : Etude d'un cas de résection temporale antéro-mésiale droite à l'âge de 12 ans. Symposium International de Neuropsychologie: Rehabilitation cognitive et prise en charge chirurgicale, Lille, France, 25<sup>th</sup>-27<sup>th</sup> June 2012.
10. **Pinabiaux, C.**, Golouboff, N., Dubouch, C., Delalande, O. & Jambaqué, I. (2010). Apprentissage et rappel différé de mots émotionnels au cours du développement normal et impact de l'épilepsie du lobe temporal. 34<sup>ème</sup> journées de printemps de la Société de Neuropsychologie de Langue Française : « Emotions et cognition sociale : du normal au pathologique ». Lille, 28<sup>th</sup>-29<sup>th</sup> May 2010.

---

<sup>2</sup> Etudiante encadrée

### Communication affichée avec actes :

1. **Pinabiaux, C.**, Jambaqué, I., Chiron, C., Rodrigo, S., Delalande, O., Fohlen, M., Hertz-Pannier, L., & Noulhiane, M. (2011). Reorganization of cerebral networks for fear faces memory in children with temporal lobe epilepsy: preliminary fMRI findings. 29<sup>th</sup> International Epilepsy Congress, Rome, Italy, 31<sup>th</sup> August-1<sup>st</sup> September 2011. *Epilepsia*, 52(Suppl. 6), 23–263.

### Communications affichées :

1. Laurent, P.<sup>2</sup>, Fenouillet, L., de Montalembert, M. & **Pinabiaux, C.** (2021). Fonctions exécutives et métacognition chez des enfants de 8 à 10 ans : Influences sur la régulation des apprentissages. Journée des Fonctions Exécutives, Angers (en ligne), 23-26 juin 2021.
2. **Pinabiaux, C.** & Goumi, A. (2021). Des robots dans la classe ! Liens entre robotique éducationnelle et fonctions exécutives à l'école maternelle. Journée des Fonctions Exécutives, Angers (en ligne), 23-26 juin 2021.
3. Haza, B.<sup>2</sup>, Mersali, J., **Pinabiaux, C.** & Conty, L. (2021). Evaluating spatial cueing effects of social cues in children with ADHD: Pretest of three versions of a neuropsychological tool in children without disorders. Journée de la Recherche de la Fédération EPNR, Nanterre, 4 juin 2021.
4. Flais, C.<sup>2</sup>, **Pinabiaux, C.** & Goumi, A. (2019). Le lien entre la robotique et les fonctions exécutives : étude préliminaire de l'effet de séances pédagogiques avec la Blue-bot chez des enfants de maternelle. Journée de la recherche de la Fédération EPNR, Nanterre, 19 avril 2019.
5. De Montalembert, M.<sup>1</sup> & **Pinabiaux, C.**<sup>1</sup> (2016). Les défis de l'enseignement de la remédiation en Neuropsychologie. Préparer la nouvelle génération de Psychologues : Objectifs, méthodes et ressources dans l'Enseignement de la Psychologie. Un débat national, Paris, 6-17 septembre 2016.
6. Laurent, P.<sup>2</sup>, Fenouillet, F. & **Pinabiaux, C.** (2016). Formation à l'apprentissage autorégulé : Compensation de difficultés exécutives. 4<sup>ème</sup> colloque international de langue française sur le TDAH, Bruxelles.
7. Seba, J.<sup>2</sup> & **Pinabiaux, C.** (2016). L'influence des émotions sur la mémoire épisodique chez les enfants d'âge scolaire. 57<sup>ème</sup> congrès de la Société Française de Psychologie, Nanterre, 7-9 septembre 2016.
8. Lepoittevin J.<sup>2</sup>, **Pinabiaux, C.** Garzon, P., Leduc-Leballeur, J. Noulhiane, M. Voltzenlogel V. & Germanaud D. (2016). Cognition sociale : Explorer le fonctionnement mnésique et la perception des émotions chez l'enfant porteur de Troubles Causés par l'Alcoolisation Fœtale. 26<sup>ème</sup> congrès de la Société Française de Neurologie Pédiatrique, Lille, 20<sup>th</sup>-22<sup>th</sup> January 2016.
9. **Pinabiaux, C.**, Sitbon, D., Dorfmueller, G., Bulteau, C. & Jambaqué, I. (2016). Are episodic and semantic memory impairments independent in childhood temporal lobe epilepsy? Preliminary results from a congruency effect study. Joint meeting of the British Neuropsychological Society with Société de Neuropsychologie de Langue Française, London, 17<sup>th</sup>-18<sup>th</sup> March 2016.
10. Noulhiane, M., **Pinabiaux, C.**, Leroy, F., Dubois, J., Dehaene-Lambertz, G., Jambaqué, I., Hasboun, D., Chiron, C. & Hertz-Pannier, L. (2013). Les structures temporales mésiales en IRM au cours du développement : Intérêt de l'analyse volumétrique en neuropédiatrie. 23<sup>ème</sup> congrès de la Société Française de Neurologie Pédiatrique, Nancy, 23<sup>th</sup>-26<sup>th</sup> January 2013.

11. **Pinabiaux, C.**, Bulteau, C., Fohlen, M., Hertz-Pannier, L., Delalande, O., Jambaqué, I. (2011). Memory for emotional faces and words after temporal lobe surgery in childhood. Federation of European Societies of Neuropsychology (ESN) Congress, 7<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> September 2011.
12. **Pinabiaux, C.**, Fohlen, M., Delalande, O., & Jambaqué, I. (2010). Troubles de la mémoire émotionnelle chez des enfants et adolescents avec épilepsie du lobe temporal. Journées Française de l'Epilepsie, Grenoble, France, 11<sup>th</sup>-13<sup>th</sup> novembre 2010.
13. **Pinabiaux, C.**, Hertz-Pannier, L. & Jambaqué, I. (2009). Neuropsychologie développementale de la modulation émotionnelle de la mémoire épisodique verbale et non verbale : Validation comportementale d'un protocole de neuroimagerie fonctionnelle (IRMf). Journée des doctorants LPNCog, Boulogne-Billancourt, France, 25<sup>th</sup> may 2009.

### Conférences invitées :

1. Laurent, P.<sup>2</sup>, & **Pinabiaux, C.** (2021). Construction et validation d'une échelle de l'apprentissage autorégulé des élèves de CM1 et CM2. Groupe des Neuropsychologues Cliniciens de l'Enfant, en ligne, 28 janvier 2021.
2. **Pinabiaux, C.** (2017). Evaluation neuropsychologique et diagnostic fonctionnel des Troubles Causés par l'Alcoolisation Fœtale : du cas clinique à l'analyse de file active, Colloque Alcool et Grossesse, Journée mondiale de sensibilisation à l'alcoolisation fœtale, Bordeaux, France, 9 septembre 2017.
3. **Pinabiaux, C.** (2017). Évaluation et diagnostic fonctionnels des Troubles Causés par l'Alcoolisation Fœtale : apport des explorations neuropsychologiques, Journée « Alcoolisation prénatale en neuropédiatrie », Hôpital Robert Debré, Paris, France, 3 mai 2017.
4. **Pinabiaux, C.** & Labidurie, M. (2014). Evaluation des fonctions frontales chez l'enfant. 2<sup>ème</sup> journée chirurgicale des épilepsies du nourrisson et de l'enfant, « les épilepsies frontales », Fondation Rothschild, Paris, France, 28 mars 2014.
5. **Pinabiaux, C.** & Leunen, D. (2013). Epilepsies et neuropsychologie. Groupe des Neuropsychologues Cliniciens de l'Enfant, Hôpital Necker Enfants Malades, Paris, France, 14 juin 2013.
6. **Pinabiaux, C.** & Save J. (2013). Epilepsie, émotions et anxiété. 2<sup>ème</sup> journée d'épilepsie pédiatrique, « Epilepsie et comorbidités », Hôpital Robert Debré, Paris, France, 22 mars 2013.
7. **Pinabiaux, C.** & Noulhiane, M. (2012). Mémoire et développement cérébral chez l'enfant. Séminaire du Groupe de Recherche en Imagerie Pédiatrique (GRIP), NeuroSpin, Saclay, France, 4 mai 2012.
8. **Pinabiaux, C.** (2012). Epilepsie du lobe temporal, mémoire épisodique et émotions. 1<sup>ère</sup> journée d'épilepsie pédiatrique, « Epilepsie et comorbidités », Hôpital Robert Debré, Paris, France, 16 mars 2012.
9. **Pinabiaux, C.**, Hertz-Pannier, L. & Jambaqué, I. (2010). Epilepsie temporale chez l'enfant : Impact sur la mémoire des visages émotionnels. Résultats préliminaires en IRMf. Séminaire « Epilepsie et Neurosciences », Royaumont, France, 23-24 septembre 2010.
10. **Pinabiaux, C.**, Hertz-Pannier, L. & Jambaqué, I. (2008). Impact des émotions sur la mémoire chez l'enfant sain et avec épilepsie partielle : Projet d'étude en IRM fonctionnelle. Séminaire « Epilepsie et Neurosciences », Pont-Royal, France, 21-23 mai 2008.

## **Financements**

---

**Tool for diagnosing other's gaze following in Neuropsychological disorders – TooN** (en cours de financement par la COMUE Paris Lumières) ; Porteur : Laurence Conty

Le regard d'autrui provoque une orientation automatique de l'attention vers l'espace regardé. Ce phénomène sociocognitif, connu sous le nom d'Effet d'Indiçage par le Regard (EIR) est robuste, reproductible et est un bon prédicteur des compétences sociales. Nous proposons d'employer l'EIR pour le diagnostic de désordres neuropsychologiques. Notre objectif est de développer un outil étalonné et standardisé, à destination des neuropsychologues, permettant de déterminer si un patient est sensible ou non à l'EIR. Le présent projet propose d'étalonner cet outil en France et au Royaume-Uni, pour deux types de pathologies : la négligence spatiale unilatérale et le trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité.

Montants alloués :

<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>Total</b>
9 700 euros	16 400 euros	7 000 euros	33 100 euros

**Influence des émotions sur le raisonnement analogique chez des adolescents à haut potentiel intellectuel – ERAHPI** (financement par la COMUE Paris Lumières en 2015-2016) ; Porteurs : Emmanuel Sander et Charlotte Pinabiaux

Le projet a décrit l'influence des émotions sur le raisonnement analogique chez l'adolescent tout-venant et haut potentiel intellectuel (HPI). Plus particulièrement, des tâches expérimentales ont été créées afin de comparer les performances de raisonnement analogique conceptuel et à partir de scénarii chez l'adolescent tout-venant et HPI et d'explorer l'influence des relations sémantiques émotionnelles et du contenu émotionnel sur le raisonnement analogique. Une étudiante de Master a été rémunérée lors de la réalisation d'un stage pour ce projet.

Montant alloué : 2 000 euros

**2008-2011 : Allocation de Recherche MENRT** pour une thèse de doctorat à l'Université Paris Descartes (ED 261)

## **Expériences professionnelles de chercheuse**

---

**Septembre 2014 - ... : Maître de conférences en Neuropsychologie, Psychologie cognitive et Apprentissages**, Université Paris Nanterre, UFR Sciences Psychologiques et Sciences de l'Education, UR DysCo (Fonctionnement et Dysfonctionnement Cognitifs : les âges de la vie)

**Novembre 2013 – août 2014 : Assistante de recherche, LATI** (Laboratoire Adaptations, Travail, Individu – EA4469, Université Paris Descartes), collaboration avec Marion Botella, PhD & Maria Pereira Da Costa, PhD

- ➔ *Participation à une étude sur les styles d'apprentissage et le profil de personnalité chez des collégiens tout venant et à haut potentiel*
- ➔ *Revue de littérature sur les différences inter-genres chez les sujets à haut potentiels*

**Avril 2013 – juillet 2014 : Neuropsychologue/assistante de recherche, protocole Epicard** (Devenir des enfants porteurs de cardiopathies congénitales : étude en population en Ile de France), Unité Inserm U1153 (Recherche épidémiologique en santé périnatale et santé des femmes et des enfants), équipe « Evènements de la période périnatale : Etiologie et conséquences sur le développement de l'enfant et de la santé maternelle »

- ➔ *Evaluations neuropsychologiques (KABC-2, NEPSY-2) dans le cadre du suivi à 8 ans d'enfants porteurs de cardiopathies congénitales*

**2008-2011 : Allocataire de Recherche MENRT (rang au concours : 1<sup>ère</sup> ex-aequo)**, pour une thèse de doctorat à l'Université Paris Descartes (ED 261)

**2007 : Stage d'introduction à l'imagerie cérébrale fonctionnelle (CEA – SHFJ Orsay)** sous la responsabilité de C. Chiron et L. Hertz-Pannier (100 heures)

- ➔ *Initiation aux passations et analyses statistiques en IRMf (logiciel SPM5)*

**Avril – Juillet 2005 : Stage de recherche fondamentale au Laboratoire de Psychologie de la Perception** (UMR 8242) sous la direction de C. Lorenzi et P. Mamassian (100 heures)

- ➔ *Formation à l'évaluation psychophysique du signal de parole et de la perception des indices visuels de tridimensionalité (eye-link)*

## **Expertise**

---

**Relectrice pour les revues :** *Canadian Journal of Behavioral Science, Frontiers in Psychology, Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*

Comité de relecture pour la Société Française de Psychologie (2016-2018)

## **Vulgarisation scientifique**

---

Interview pour l'émission radiophonique « La Méthode Scientifique », sur France Culture : Demain, tous hyperactifs ? en date du 20 septembre 2021.

<https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/demain-tous-hyperactifs>

## Activités Pédagogiques

**2014-présent : Maître de conférences en neuropsychologie, psychologie cognitive et apprentissages** section Psychologie Cognitive, Université Paris Nanterre

J'ai bénéficié de décharges d'enseignement au titre :

- D'un *congé maternité* en 2017/2018 pour la naissance de mon deuxième enfant (charge d'enseignements réalisés 97h équivalent TD)
- D'un *temps partiel de droit* (80%, enfant de moins de 3 ans) en 2018/2019 (charge d'enseignements réalisés 158h équivalent TD) et en 2019/2020 (charge d'enseignements réalisés 176h équivalent TD)
- D'un *CRCT* en 2020/2021 (charge d'enseignements réalisés 96h équivalent TD)
- De *responsabilités administratives et collectives* (co-direction de l'UR DysCo, responsabilités de mention et de niveau de Master)

**2012-2015 : Chargée de cours vacataire**

- Collège Européen d'Ostéopathie
- Département Universitaire d'Enseignement et de Formation en Orthophonie de l'Université Pierre et Marie Curie
- Centre de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportives de Reims

**2011-2013 : Attachée Temporaire d'Enseignement et de Recherche** (mi-temps – 96 heures / an) à l'Université Paris Descartes, Institut de Psychologie

**2008-2011 : Monitrice** (64 heures / an) à l'Université Paris Descartes, Institut de Psychologie

La majorité des enseignements a été effectuée dans des filières de psychologie, à différents niveaux de diplômes (Licence et Master). Les enseignements que j'ai réalisés portent (1) sur des aspects fondamentaux de la psychologie cognitive, la psychologie différentielle et de la neuropsychologie ; (2) sur des aspects méthodologiques transversaux (psychométrie, statistiques, anglais de la psychologie) et (3) sur des savoir-faire cliniques (évaluation et remédiation neuropsychologique, suivi de stage). Outre les enseignements en Master dont je porte la responsabilité (Neuropsychologie du développement, Troubles des apprentissages), j'ai également conçu plusieurs enseignements à différents niveaux de diplômes : CM de psychologie différentielle (L2) et de psychométrie (L3), ainsi que l'ensemble des enseignements réalisés au niveau Master.

Le tableau ci-dessous récapitule mes enseignements (2008-2021) et indique, pour chacun d'entre eux, le niveau auquel il est destiné, son volume horaire équivalent TD, le lieu d'enseignement et le statut correspondant.

Niveau	Enseignements	Type	HTD	Lieu	Statut
Licence 1	Psychologie Cognitive	TD	96	UPN	MCF
	Anglais pour Psychologues	TD	22	Paris Descartes	Monitorat
	Méthode d'observation	TD	18	Paris Descartes	ATER
	Tutorat	TD	20	Paris Descartes	Vacataire
Licence 2	Psychologie Différentielle	CM	54	UPN	MCF
	Psychologie Cognitive	TD	216	UPN	MCF
	Psychologie Différentielle	TD	324	UPN	MCF
	Analyse statistique des données en psychologie	TD	48	Paris Descartes	Monitorat
Licence 3	Psychométrie	CM	42	UPN	MCF
	Psychométrie	TD	192	UPN	MCF
	Régulation de stage	TD	24	UPN	MCF
	Anglais de la recherche en Psychologie	TD	48	Paris Descartes	Monitorat
	Introduction à la neuropsychologie clinique	TD	40	Paris Descartes	ATER
	Méthodes et Pratiques Professionnelles des Psychologues	TD	17	Paris Descartes	ATER
	Psychophysiology et Neuropsychologie	TD	15	Paris Descartes	Monitorat
<b>Volume horaire total Licence = 1174heures</b>					
Master 1	Intelligence cognitive et émotionnelle	TD	18	UPN	MCF
	Attention et Motivation	TD	45	UPN	MCF
	Régulation de stage	TD	24	UPN	MCF
	Examen Neuropsychologique	TD	14	Paris Descartes	ATER
	Neuropsychologie du développement	TD	21	Paris Descartes	ATER
	Principaux syndromes et Neuropsychologie clinique	TD	6	Paris Descartes	ATER
	Régulation de stage	TD	20	Paris Descartes	ATER
Master 2	Evaluation neuropsychologique des enfants et adolescents	TD	24	UPN	MCF
	Neuropsychologie du développement	CM	162	UPN	MCF
	Evaluation neuropsychologique et études de cas	TD	8	UPN	MCF
	Remédiation cognitive	TD	12	UPN	MCF
	Troubles des apprentissages	TD	168	UPN	MCF

	Dissymétries hémisphériques fonctionnelles	CM	6	Paris Descartes	ATER
	Neuropsychologie et Neurosciences développementales	CM	36	Paris Descartes	ATER
	Neuropsychologie et Neurosciences développementales	TD	36	Paris Descartes	ATER
	Neuropsychologie et Psychopathologie	CM	18	Paris Descartes	ATER
	Neurosciences et examen neuropsychologique	CM	26	Paris Descartes	ATER
	Techniques d'intervention, rééducation, leçons cliniques	CM	30	Paris Descartes	ATER
<b>Volume horaire total Master = 674 heures</b>					
Brevet Professionnel	Développement de la petite enfance à l'âge adulte avancé	TD	18	CREPS Reims	Vacataire
Capacité d'orthophonie	Epilepsies : Répercussions cognitives et psycho-sociales	CM	13	UPMC	Vacataire
Diplôme d'ostéopathie	Introduction à la neuropsychologie	CM	72	CEO	Vacataire
<b>Volume horaire total = 1951 heures</b>					

n.b. UPN = Université Paris Nanterre, CREPS = Centre de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportive, UPMC = Université Pierre et Marie Curie, COE = Collège Européen d'Ostéopathie, ATER = Attachée temporaire d'enseignement et de recherche, MCF = Maître de conférences, TD = Travaux Dirigés, CM = Cours Magistraux, HTD = Heures équivalents Travaux Dirigés

## **Encadrements d'étudiant-e-s**

---

### **Thèses :**

Depuis mon recrutement à l'Université Paris Nanterre, j'ai pu co-encadrer deux doctorats (une co-direction en cours) au sein de l'ED139. Ces deux doctorats ont été financés par un contrat doctoral. J'ai bénéficié d'une formation de 16h en 2016 : "Accompagner et encadrer un doctorant".

1. Co-direction avec le Pr. Laurence Conty (DysCo, Université Paris Nanterre) de **Mme Belen Haza-Gomez (2020-...)**, Titre de la thèse : « Le comportement de suivi du regard et du pointage du doigt d'autrui dans le TDAH : développement et calibrage d'un outil diagnostique pour neuropsychologues »  
*Taux d'encadrement : 50%*  
*Financement : contrat doctorat ComUe Université Paris Lumière*
2. Co-direction avec le Pr. Fabien Fenouillet (EA 4004 CHArt, Université Paris Nanterre) de **Mme Pauline Laurent (2015-2020)**, Titre de la thèse : « Contrôle cognitif de l'enfance à l'adolescence : évaluation et intervention centrée sur l'apprentissage auto-régulé », soutenue en janvier 2020  
*Taux d'encadrement : 50%*  
*Financement : contrat doctoral ED 139*



## Mémoires de recherche :

Entre 2008 et aujourd'hui, j'ai encadré 63 mémoires de psychologie cognitive et / ou neuropsychologie (41 de niveau Master 1 et 22 Master 2). Le détail de ces encadrements est présenté dans le tableau suivant :

Année	Niveau	Etudiant-e	Université	Intitulé
2008-2009	M1	Dina Roos	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant
2009-2010	M2	Dina Roos	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant avec TDA/H
2010-2011	M1	Claire-Sara Krakowski	Paris Descartes	Influence des émotions sur la mémoire de mots et de visages chez l'enfant
	M2	Coralie Rastel	Paris Descartes	Etude de la modulation émotionnelle sur le fonctionnement mnésique chez des enfants sains et épileptiques
2011-2012	M1	Marine Labidurie	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant
	M1	Idoïa Calzada	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant
	M1	Ingrid Godard	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant
	M1	Clotilde Serre	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant
2012-2013	M2	Marine Labidurie	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant avec trouble du spectre autistique
	M2	Idoïa Calzada	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant avec épilepsie
	M2	Ingrid Godard	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant avec TDA/H
2013-2014	M1	Delphine Sitbon	Paris Descartes	Interaction entre mémoire épisodique et sémantique : étude de l'effet de congruence chez l'enfant
	M2	Clotilde Serre	Paris Descartes	Reconnaissance des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant avec épilepsie
2014-2015	M1	Laura Antonini	Paris Descartes	Interaction entre mémoire épisodique et sémantique : étude de l'effet de congruence chez l'enfant
	M1	Flore Thieulin	UPN	Interaction entre mémoire épisodique et sémantique : étude de l'effet de congruence chez l'enfant
	M1	Flavie Guillemot	UPN	Mémoire associative visage-prénom chez l'enfant : impact de l'expression faciale
	M1	Manon Lewis	UPN	Mémoire associative visage-prénom chez l'enfant : impact de l'expression faciale
	M1	Justine Seba	UPN	Influence des émotions sur la mémoire de mots chez l'enfant
	M2	Delphine Sitbon	Paris Descartes	Interaction entre mémoire épisodique et sémantique chez l'enfant avec épilepsie du lobe temporal : étude de l'effet de congruence
	M2	Julie Lepoittevin	Toulouse III	Compétences en cognition sociale chez l'enfant porteur de Troubles Neuro-développementaux

				en Contexte D'alcoolisation Fœtal (TCAF) : Les liens entre la Mémoire, la Théorie de l'Esprit et la Reconnaissance des Expressions Faciales Emotionnelles.
2015-2016	M1	Marine Van Es	UPN	Mémoire associative visage-prénom chez l'enfant avec épilepsie : impact de l'expression faciale
	M1	Marie Trou	UPN	Lien entre reconnaissance des expressions faciales émotionnelles et régulation émotionnelle chez l'adolescent
	M1	Johanna Gonzales de Lineras	UPN	Lien entre reconnaissance des expressions faciales émotionnelles et régulation émotionnelle chez l'adolescent
	M1	Sylvie Kutyla	UPN	Connaissances sémantiques conceptuelles et émotionnelles chez l'adolescent : lien avec la régulation émotionnelle
	M1	Saliha Naveed	UPN	Connaissances sémantiques conceptuelles et émotionnelles chez l'adolescent : lien avec l'anxiété
	M1	Anthony Pereira	UPN	Apprentissage auto-régulé : étude exploratoire chez l'enfant d'âge scolaire
	M2	Virgilia Baud	Paris Descartes	Troubles Neuro-développementaux et volumétrie des structures-temporo-mésiales en Contexte D'alcoolisation Fœtal (TCAF) : Les liens entre la Mémoire, la Théorie de l'Esprit, la Reconnaissance des Expressions Faciales Emotionnelles.
2016-2017	M1	Chloé Sans	UPN	TCAF et intelligence émotionnelle
	M1	Valentin Poirson	UPN	Raisonnement catégoriel émotionnel et neutre dans le HPI
	M1	Pierre Hérviaux	UPN	Raisonnement catégoriel émotionnel et neutre dans le HPI
	M1	Chloé Henrion	UPN	Influence du contenu émotionnel dans une tâche de recherche visuelle chez l'enfant
	M1	Coralie Pierret	UPN	SMS, conscience phonologique et dyslexie
	M1	Maxime Colle	UPN	Perception du temps chez l'enfant
	M1	Janice Chantre	UPN	Inhibition cognitive et émotionnelle chez l'enfant
	M1	Charlotte Hodin	UPN	Inhibition cognitive et émotionnelle chez l'enfant
	M1	Charles Gallard	UPN	SMS, conscience phonologique et dyslexie
	M1	Isaure Chevron	UPN	Influence du contenu émotionnel dans une tâche de recherche visuelle chez l'enfant
2017-2018	M1	Sarah Plantade	UPN	Apprentissage mnésique et métacognition chez l'enfant
	M1	Romain Provendier	UPN	Apprentissage mnésique et métacognition chez l'enfant
2018-2019	M1	Nour Fleyet	UPN	Perception du temps chez l'enfant
	M1	Capucine Flais	UPN	Robotique et Fonctions exécutives à la maternelle

	M1	Audrey Haziza	UPN	Perception du temps chez l'enfant
	M2	Emma Tourreix	UPN	Profils cognitif et émotionnel dans le HPI
2019-2021	M2	Amandine Lemoine	UPN	Robotique et Fonctions exécutives à la maternelle
	M2	Pauline Barret	UPN	Robotique et Fonctions exécutives à la maternelle
	M2	Alexandra Milan	UPN	Perception du temps chez l'enfant avec TDA/H
	M2	Sarah Joanny	UPN	Représentation spatiale et Perception du temps chez l'enfant
	M2	Agathe Laurency	UPN	Validation d'une échelle d'évaluation des compétences sociales et émotionnelles de l'enfant en français
	M2	Asmaa Abbou	UPN	Apprentissage mnésique et métacognition chez l'enfant
	M2	Raphaël Marec	UPN	Apprentissage mnésique et métacognition chez l'adulte
	2020-2022	M2	Sandrine Castellarnau	UPN
M2		Jonathan Joanny	UPN	Représentation spatiale et Perception du temps chez l'enfant
M2		Justine Ferrand	UPN	Robotique et Fonctions exécutives à la maternelle
M2		Victoria Wlodarczyk	UPN	Robotique et Fonctions exécutives à la maternelle
M2		Jeanne Rousseau	UPN	Impact de l'orthographe inclusive sur les processus de lecture
2021-2022	M1	Clara Douceur	UPN	Impact de l'orthographe inclusive sur les processus de lecture
	M1	Méline Arenate	UPN	Impact de l'orthographe inclusive sur les processus de lecture
	M1	Maud Gaucher	UPN	Effet d'indilage par le regard chez l'enfant
	M1	Vanessa Barbier	UPN	Méta-analyse des troubles de la cognition sociale dans le TDAH
	M1	Emeline Conreur	UPN	Robotique et Fonctions exécutives dans les troubles neurodéveloppementaux
	M1	Leonor Julienne	UPN	Robotique et Fonctions exécutives dans les troubles neurodéveloppementaux
	M1	Samy Atmane	UPN	Représentation spatiale et Perception du temps chez l'enfant
	M1	Keren Bensimon	UPN	Revue ombrelle des troubles cognitifs dans les TSA

n.b. UPN = Université Paris Nanterre ; TDAH = Trouble du Déficit de l'Attention avec Hyperactivité ; TSA = Troubles du Spectre de l'Autisme

## **Responsabilités administratives et collectives**

### **Comités et jurys**

---

#### **Participation à des comités de sélection pour des postes de Maîtres de Conférences :**

- Université de Nîmes, 2016, poste de maître de conférences en Psychologie Cognitive
- Université de Franche-Comté, 2019, poste de maître de conférences en Neuropsychologie

#### **Participation à des jurys de soutenance de thèse :**

- Examinatrice pour la thèse de Mme Marie-Laure Cuny, 10 novembre 2017, « Etude pré et post-opératoire des troubles neuropsychologiques et des difficultés d'apprentissage chez des enfants porteurs d'un kyste intracrânien temporo-sylvien », sous la direction de Pascale Piolino (Pr) et Laurence Vaivre-Douret (Pr)

#### **Participation à des comités de suivi de thèse :**

- Mme Emma Tourreix, sous la direction de Maud Besançon, Université Rennes 2
- Mme Jessica Monsillion, sous la direction de Lucia Romo et Rafika Zebdi, Université Paris Nanterre

### **Responsabilités scientifiques**

---

**2021-... : Directrice adjointe de l'Unité de Recherche DysCo (Fonctionnement et Dysfonctionnement Cognitifs : les âges de la vie)**

- ➔ *Responsable pour le site Paris Nanterre*
- ➔ *Gestion du budget*
- ➔ *Animation des séminaires de recherche*
- ➔ *Participation au collège des directeurs de laboratoires*
- ➔ *Webmaster du site internet de l'UR ([www.dysco.parisnanterre.fr](http://www.dysco.parisnanterre.fr))*

**2016 : Membre du comité d'organisation du congrès SFP 2016, 7-9 septembre 2016, Université Paris Nanterre**

**2009-2011 : Représentante des doctorants à l'école doctorale « Cognition, Comportement, Conduites humaines » (Paris Descartes)**

### **Responsabilités Pédagogiques**

---

**2021-... : Co-responsable du Master 1 Neuropsychologie Cognitive et Clinique, Neurosciences et membre du Conseil de Perfectionnement, Université Paris Nanterre**

**2020-2024 : Responsable de la mention de Master Neuropsychologie, Université Paris Nanterre**

**2019-2020 : Porteuse « LMD4 » de l'offre de formation 2020-2024 pour la mention de Master Neuropsychologie**

**2016-2020 : Co-responsable de l'itinéraire pédagogique « Neuropsychologie » du Master 2 « Psychologie Cognitive, Technologies, Neuropsychologie et Neurosciences (CT2N) » - Université Paris Nanterre**

**2016 : Membre du comité d'organisation du congrès SFP 2016, 7-9 septembre 2016, Université Paris Nanterre**

**2015-... : Coordinatrice Licence pour la section Psychologie Cognitive, Département de Psychologie, UFR SPSE, Université Paris Nanterre**

**2015-2017 : Création et animation d'un Journal Club à destination des étudiants de Master 2**

**2015-2017 : Enseignant référent pour les stages de niveau L3**

## Activités cliniques

**2015-2017 : Neuropsychologue** (20%), service de Neurologie et Maladies Métaboliques (Pr. O. Boesflug-Tanguy), CHU Robert Debré

- ➔ *Bilans neuropsychologiques de diagnostic fonctionnel d'enfants et d'adolescents au sein de la consultation spécialisée « neuro-cognition »*
- ➔ *Encadrement de stagiaires de niveau Master 1 et 2 de Neuropsychologie*
- ➔ *Participations aux staffs*

**2012-2015 : Psychologue en libéral**

- ➔ *Bilans psychométriques et neuropsychologiques de l'enfant et de l'adolescent*

**2009-2011 : Neuropsychologue** (20%) dans l'Unité de Neurochirurgie pédiatrique de la Fondation Rothschild (Dr. Delalande), dans le cadre de la consultation « Neuropsychologie de l'épilepsie » (Dr. Bulteau, Pr. Jambaqué)

- ➔ *Evaluations neuropsychologiques pré et post chirurgicales chez des enfants avec épilepsie*
- ➔ *Evaluation de l'impact de l'épilepsie en fonction de sa topographie et établissement du profil neuro-cognitif de base*
- ➔ *Suivi à long terme des répercussions de l'épilepsie et de la chirurgie*

**Décembre 2008 : Obtention du titre de Psychologue** (n° ADELI : 75 93 3981 5)

**Juin-Juillet 2008 : Stage de neuropsychologie** dans le Service de Neurologie Pédiatrique de l'Hôpital Necker Enfants Malades (300 heures, référents : C. Gonin et Ch. Bouis)

- ➔ *Bilans neuropsychologiques au Centre de Référence des Epilepsies Rares*
- ➔ *Bilans neuropsychologiques chez des enfants avec diverses pathologies neurologiques (neurofibromatose, tumeurs,...)*

**2006-2007 : Stage de neuropsychologie** dans le Service de Neuropédiatrie de l'Hôpital Armand Trousseau (300 heures, référente : S. Sacco)

- ➔ *Bilans neuropsychologiques chez des enfants avec pathologies neurologiques (agénésies du corps calleux, dilatations ventriculaires, leucodystrophies,...)*
- ➔ *Bilans neuropsychologiques chez des enfants avec troubles des apprentissages*
- ➔ *Bilans neuropsychologiques chez des enfants avec retard mental*
- ➔ *Bilans neuropsychologiques chez le très jeune enfant (Echelle Brunet-Lézine Révisée)*

**Août 2006 : Stage de psychologie clinique** à la Maternité et au Centre de Planification des Lilas (50 heures)

- ➔ *Observation des entretiens avec les mères en suite de couches*
- ➔ *Observation des entretiens de mise en place d'interruption volontaire de grossesse*
- ➔ *Participation au groupe de parole « Autour de la césarienne »*

**Juin-Juillet 2006 : Stage de neuropsychologie** à la Consultation Mémoire du Centre des Abondances (50 heures)

➔ *Observation des bilans mémoire dans le cadre du dépistage de démences chez la personne âgée*

## **Compléments d'information**

**Compétences linguistiques :** Anglais (lu, écrit, parlé)

**Compétences informatiques :**

*Le niveau d'expertise est mentionné après chaque outil : expert (e), intermédiaire (i), débutant (d).*

- OS : Windows (e), Linux (i)
- Bureautique : Word (e), Excel (e), Power Point (e), Open office (e)
- Gestion bibliographique : Zotero (e), EndNote (e)
- Traitement d'images : Photoshop (e), Gimp (i)
- Programmation : E-prime (e), OpenSesam (e), Matlab (d),
- Imagerie cérébrale : SPM (e), BrainVisa (i), Anatomist (e), MriCro (i)
- Traitements statistiques : Statistica (e), SPSS (e), R (d), Jamovi (e), Jasp (d)
- Gestion de site web : K-sup (e)

**Permis B**, véhicule

# PARTIE I : SYNTHÈSE DES TRAVAUX SUR LES FONCTIONS EXECUTIVES

---





Cette partie est consacrée dans un premier temps à des aspects théoriques concernant les fonctions exécutives (FE), afin de présenter les modèles conceptuels et les trajectoires développementales de façon synthétique et d'illustrer leur caractère transversal. Cela me permettra ensuite de présenter les études que j'ai entreprises avec une approche neuropsychologique, et qui portent sur les relations entre difficultés exécutives et cognition sociale dans des contextes de vulnérabilité cérébrale précoce ou de plasticité cérébrale. J'aborderai ensuite les travaux que j'ai menés sur l'implication des FE dans la régulation des apprentissages scolaires.

## 1. Fonctions exécutives définitions, modèles et développement



Avant de présenter les travaux que j'ai pu effectuer, il est important de poser les bases du concept de fonctions exécutives (FE). En effet, il s'agit d'un concept complexe, qui comprend plusieurs composantes dont la définition ou l'organisation relative ne fait pas consensus au sein de la communauté des chercheurs. Dans cette partie, je propose donc de délimiter le concept des FE, au regard des modèles théoriques actuels, chez l'adulte, puis chez l'enfant. Le développement des FE, reposant sur la maturation pré-frontale, supposée lente et progressive, les trajectoires développementales des différentes composantes seront rapidement abordées en fin de partie.

### 1.1. Comment définir les fonctions exécutives ?

Le terme de fonctions exécutives (FE) est souvent utilisé de manière non univoque en fonction des auteurs. Ces fonctions regroupent généralement une large variété de processus cognitifs tels que la planification, la résolution de problème, le contrôle attentionnel et l'inhibition, la flexibilité, le développement de stratégies ou la mémoire de travail. Voici un aperçu des définitions pouvant être rencontrées :

- « *En neuropsychologie humaine, la notion de fonctions exécutives fait référence à des fonctions de direction permettant [...] la définition d'un but ou des objectifs à atteindre, d'une stratégie pour y parvenir, le contrôle de sa mise en œuvre et des résultats. Elles correspondent donc à des fonctions de haut niveau [...], impliquées dans de nombreuses formes d'activité cognitive.* » (Allain & Legall, 2008, p. 9)

- « *Les fonctions exécutives ont un rôle de contrôle cognitif et comportemental. Elles interviennent principalement dans les situations non routinières [...] nécessitant la coordination des actions et de pensées finalisées, dirigées vers un but.* » (Brissart et al., 2010, p. 9-10)

Malgré ces différences, les FE sont considérés de façon consensuelle comme un ensemble de processus cognitifs permettant à l'individu de se fixer des buts, de trouver et de mettre en place des stratégies pour atteindre ces buts ainsi que de contrôler l'activité. Cette définition met en lumière le caractère transversal des FE, qui ne sont pas limitées à un type de matériel ou de tâches. La fonction principale des FE est en fait d'aider l'individu à s'adapter aux différentes situations rencontrées dans son environnement, notamment dans des situations nouvelles ou inhabituelles. Les situations d'apprentissages, ou d'interactions sociales avec de nouvelles personnes sont donc des situations lors desquelles les FE jouent un rôle primordial.

## 1.2. Modélisations des fonctions exécutives : chez l'adulte

A l'origine, les fonctions exécutives ont principalement été conceptualisées comme un module unitaire au sein de modèles d'autres fonctions cognitives telles que l'attention (le système attentionnel superviseur du modèle de Norman & Shallice, 1986) ou la mémoire de travail (l'administrateur central du modèle de Baddeley & Hitch, 1974). Cependant, cette unicité a été remise en question par l'observation clinique de patients avec des lésions frontales présentant des dissociations entre les performances à différentes tâches impliquant les fonctions exécutives (e.g. Godefroy et al., 1999). Les modélisations actuelles s'accordent ainsi sur l'hypothèse de fonctions exécutives multiples mais interdépendantes.

L'un des principaux modèles reconnu chez l'adulte a été développé à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle par Miyake et ses collaborateurs (Miyake et al., 2000). Ces auteurs ont mené des analyses factorielles exploratoires et confirmatoires afin de tester les relations entre trois processus largement considérés comme constituant les fonctions exécutives de base : la flexibilité mentale entre tâches ou processus cognitifs (*shifting*), la mise à jour et la surveillance de la mémoire de travail (*updating*) et l'inhibition d'une réponse automatique (*inhibition of prepotent response*). Ces processus semblent d'assez bas niveau contrairement à d'autres tels que la planification ou la résolution de problèmes. Le modèle retenu par les auteurs est composé de trois facteurs inter corrélés, correspondant à chacun des processus pouvant être évalués par des tâches spécifiques (cf. figure 1).

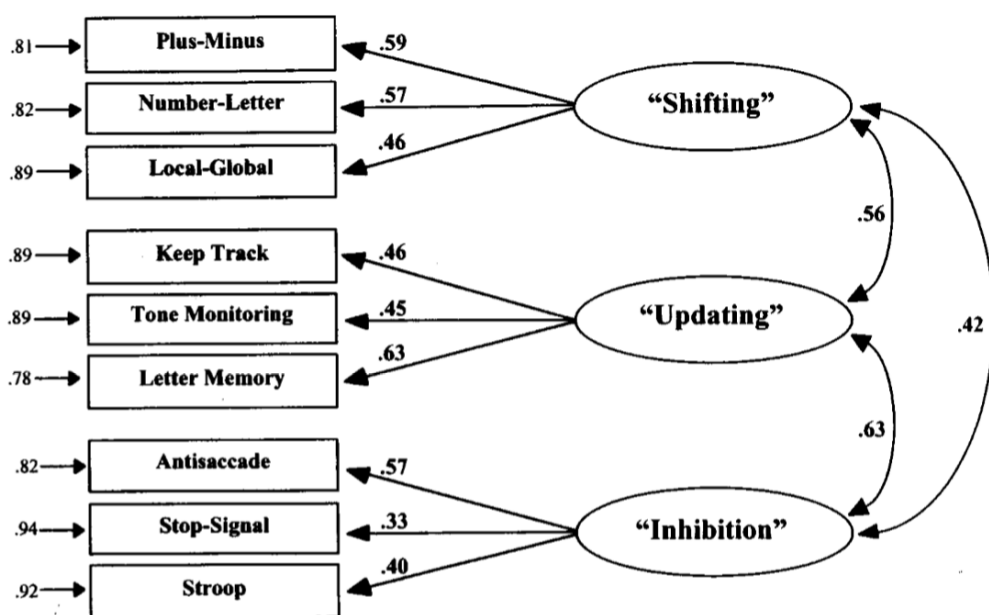


Figure 1. Modèle en trois facteurs des fonctions exécutives (Miyake et al., 2000). Les trois facteurs de ce modèle sont la flexibilité mentale (« shifting »), la mise à jour/contrôle de la mémoire de travail (« updating ») et l'inhibition d'une réponse automatique (« inhibition »). La flexibilité mentale a été mesurée par le plus-minus Task (Jersild, 1927 ; cité par Miyake et al., 2000), le number-letter task (Rogers & Monsell, 1995) and the local-global task ; la mise à jour de la mémoire de travail a été mesurée par le keep track task (Yntema, 1963 ; cité par Miyake et al., 2000), the letter memory task (Morris & Jones, 1990 ; cité par Miyake et al., 2000) et le tone monitoring task ; l'inhibition a été mesurée par la tâche de Stroop (Stroop, 1935 ; cité par Miyake et al., 2000), the antisaccade task (e.g., Everling & Fischer, 1998 ; cité par Miyake et al., 2000) et the stop-signal task (Logan, 1994 ; cité par Miyake et al., 2000). Les valeurs correspondent aux corrélations entre les facteurs (doubles flèches), entre les facteurs et les tâches (flèches vers la gauche) et entre l'ensemble des scores et les tâches (flèches vers la droite).

La révision du modèle en 2012 par Miyake et Friedman met l'accent sur l'existence d'une dimension commune aux trois facteurs de base. D'après ce modèle, dans une tâche exécutive, les capacités inhibitrices représentent un socle unitaire exécutif qui interviendrait de façon permanente tandis que la dimension spécifique des deux autres composantes (mise à jour/contrôle de la mémoire de travail et flexibilité) serait ponctuellement activée selon le besoin de la tâche. Des études en neuroimagerie fonctionnelle (e.g. Collette et al. (2005) apportent des arguments en faveur du modèle révisé de Miyake et Friedman (2012) : il existerait effectivement des activités cérébrales communes aux composantes, mais aussi des activations spécifiques en fonction de la tâche (cf. figure 2).

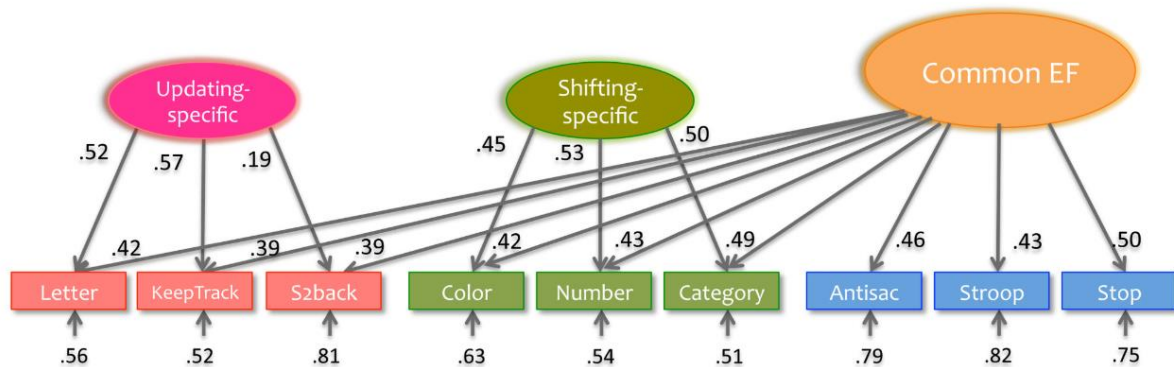


Figure 2. Modèle hiérarchique des fonctions exécutives de Miyake & Friedman (2012). Cette figure illustre l'unicité et la diversité des FE. Toutes les tâches sont saturées avec le facteur « FE commune » (Common EF), tandis que les facteurs mise à jour de la MDT (updating, en rose) et flexibilité (shifting, en vert) sont spécifiques à certaines tâches. Un troisième facteur spécifique (inhibition, en bleu) n'apparaît pas sur la figure car il est parfaitement corrélé avec le facteur « FE commune ». Letter = letter memory, Keep = keep track, S2back = Spatial 2-back, Color = color-shape, Number = number-letter, Category = category-switch, Antisac = antisaccade, and Stop = stop-signal (pour les détails, voir Friedman et al., 2008).

### 1.3. Modélisations des fonctions exécutives : chez l'enfant

Chez l'enfant, plusieurs études ont permis de transposer les modèles non unitaires des FE en démontrant l'existence de composantes différenciées dès l'âge pré-scolaire (e.g. Hughes, 1998). Des analyses factorielles confirmatoires conduites auprès d'enfants plus âgés ont également pu fournir un appui empirique au modèle de Miyake et al. (2000). Lehto et al. (2003) ont ainsi constaté que ce modèle en trois facteurs permettait une meilleure analyse des données recueillies auprès des enfants âgés de 8 à 13 ans qu'un modèle unitaire. En revanche Huizinga et al. (2006) n'ont validé que partiellement le modèle de Miyake et al. (2000) auprès d'une large cohorte âgée de 7 à 21 ans : seules les composantes mémoire de travail et flexibilité mentale évoluaient en tant que variables communes latentes, ce qui n'était pas le cas de la composante d'inhibition. Néanmoins, si le degré d'unité et d'interdépendance des trois composantes des FE peut changer au cours du développement, le niveau de performance des FE paraît suffisamment homogène dans les différents groupes d'âge pour suggérer la stabilité de construit des capacités exécutives de l'enfance à l'âge adulte.

Ainsi, le cadre conceptuel proposé par le modèle de Miyake et al. (2000) a fortement influencé les études développementales. Néanmoins les modélisations successives proposées par Miyake et ses collaborateurs cherchent à essentialiser les FE en décrivant des composantes les plus basiques possibles. Certains modèles développementaux ont intégré des FE souvent

considérées comme de plus haut niveau. Parmi ces modèles, celui d'Anderson (2002) s'appuie sur des études factorielles et en neuropsychologie développementale, et propose une partition différente des fonctions exécutives (cf. figure 3). Sa conceptualisation s'appuie notamment sur des travaux antérieurs qui postulaient l'existence d'un système de supervision intégré des FE, permettant le contrôle et la régulation des activités cognitives (Stuss & Alexander, 2000). Anderson (2002) regroupe différentes FE dans ce qu'il appelle quatre « domaines exécutifs », qu'il considère comme des fonctions séparées, pouvant être reliées à des systèmes frontaux différents. Le contrôle attentionnel (*attentional control*) désigne la capacité à focaliser intentionnellement l'attention sur les informations pertinentes et à inhiber les réponses automatiques dominantes. Il inclut également la régulation et le suivi des actions afin que les étapes soient exécutées dans le bon ordre et que les erreurs soient identifiées (autocontrôle). La flexibilité cognitive (*cognitive flexibility*) désigne la capacité de passer d'une tâche à une autre, d'apprendre de ses erreurs et d'établir des stratégies alternatives. Elle intègre également les capacités à diviser l'attention pour traiter simultanément plusieurs sources d'information et la mise à jour de la mémoire de travail. La fixation des objectifs (*goal setting*) désigne la capacité à initier une activité et à suivre un plan. Les capacités d'initiation, d'organisation et de planification du comportement, mais aussi de raisonnement conceptuel sont incluses dans ce domaine. Le quatrième et dernier domaine est le traitement des informations (*information processing*) qui désigne l'efficacité, la fluidité et la vitesse de traitement. Les quatre domaines décrits par Anderson seraient indépendants mais fonctionneraient de façon intégrative lors de l'accomplissement d'une tâche dans une situation nouvelle. Le contrôle attentionnel, domaine supérieur, influence grandement le fonctionnement des autres domaines exécutifs. Les domaines de traitement de l'information, de flexibilité cognitive et de définition des objectifs sont quant à eux interdépendants.

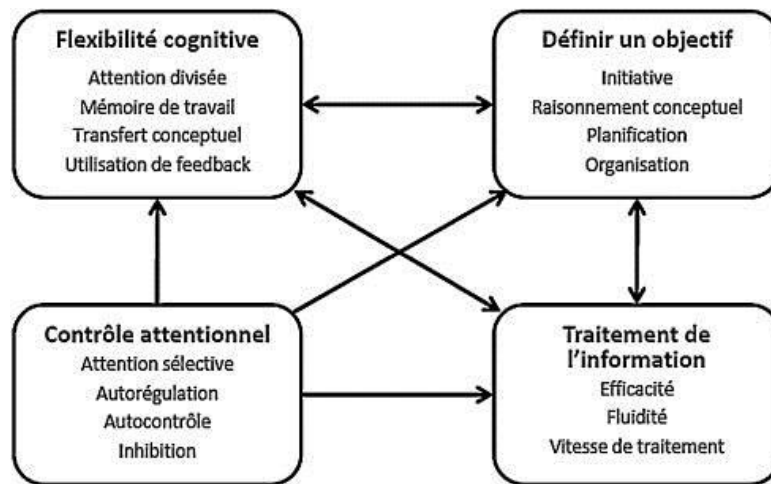


Figure 3. Modèle des fonctions exécutives chez l'enfant d'après Anderson (2002). Dans ce modèle, 15 composantes des FE sont réparties en 3 domaines interdépendants et un domaine supérieur, le contrôle attentionnel, qui influence le fonctionnement des 3 autres.

Si le modèle d'Anderson (2002) a l'avantage d'inclure des FE de plus haut niveau que les modélisations successives de Miyake et ses collaborateurs (2000 ; 2012) et peut ainsi donner une l'impression d'une vision plus exhaustive des FE, les regroupements proposés par l'auteur posent toutefois question. En particulier, il peut paraître restrictif de limiter les processus inhibiteurs au contrôle attentionnel (inhibition des distracteurs) en excluant d'autres aspects de l'inhibition (inhibition d'une réponse dominante ou contrôle de l'impulsivité motrice par exemple). Friedman et Miyake (2004) ont notamment proposé et mis en évidence trois mécanismes inhibiteurs distincts chez l'adulte : l'inhibition d'une réponse comportementale dominante ou automatique qu'elle soit de nature motrice ou cognitive (*prepotent inhibition response*), l'inhibition de la réponse à un distracteur externe (*response to distractor inhibition*) qui est associée à l'attention sélective, et la résistance à l'interférence proactive (*resistance to proactive interference*) qui permet de résister aux intrusions cognitives, notamment mnésiques provenant d'informations préalablement pertinentes pour la tâche mais devenues non pertinentes.

Plus récemment, Diamond (2013) a proposé un modèle théorique hiérarchisé et intégratif du développement des FE, incluant les trois principaux processus mis en évidence par les études factorielles de Miyake et al. (2000), ainsi que les habiletés de planification et de résolution de problèmes, considérées par l'auteure comme des « fonctions exécutives de plus haut niveau », sur la base des données empiriques accumulées ces dernières années et des principes néo-piagétiens. A l'instar de la révision du modèle de Miyake en 2012, le modèle de

Diamond accorde une place prépondérante à la composante inhibitrice au sein des FE (cf. figure 4). Nous retrouvons ici d'ailleurs une subdivision de l'inhibition entre trois mécanismes : inhibition d'une réponse comportementale, résistance aux interférences externes (attention sélective) et internes (inhibition cognitive). Contrairement au modèle de Miyake cependant, la flexibilité cognitive revêt une place sur-ordonnée à l'inhibition et à la mémoire de travail. Le modèle de Diamond suppose ainsi que le développement de la composante inhibitrice serait plus précoce que celui des autres composantes. Par exemple, dans une tâche mobilisant les capacités de mise à jour de la mémoire de travail, les capacités inhibitrices doivent être fonctionnelles pour que les distracteurs non essentiels à la tâche soient ignorés afin de permettre le maintien et la manipulation des éléments pertinents uniquement. Le développement des FE est donc considéré comme un processus précoce, prolongé et différencié selon l'âge des enfants, donnant lieu à différents calendriers développementaux. Enfin, le modèle de Diamond possède une réelle nature intégrative puisque les FE y sont envisagées comme le support d'autres fonctions cognitives comme la créativité, la théorie de l'esprit et l'auto-régulation et en lien avec des aspects émotionnels et motivationnels intervenant dans la régulation comportementale.

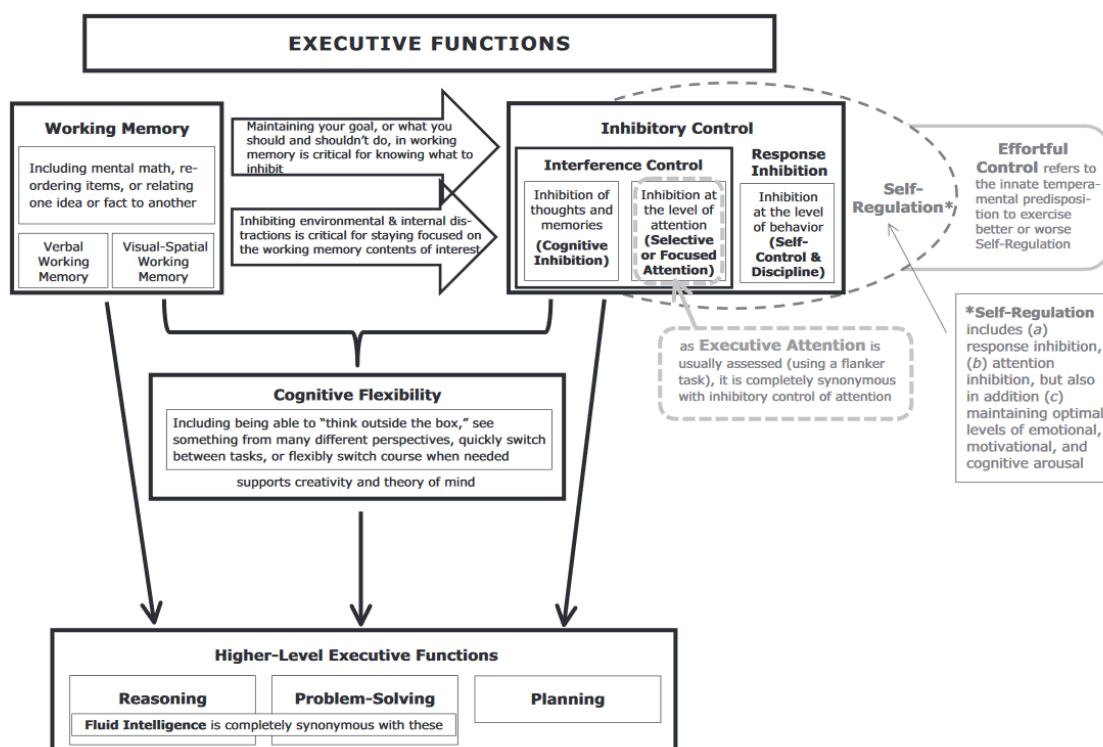


Figure 4. Modèle développemental hiérarchisé et intégratif des fonctions exécutives (Diamond, 2013).

#### 1.4. Trajectoire développementale des fonctions exécutives

Il est intéressant de noter que si tous les modèles ne sont pas d'accord sur la relation hiérarchique entretenues par les différentes FE, tous prédisent des trajectoires développementales différenciées selon les FE, les composantes les plus basiques se développant *a minima* plus précocement. La figure 5 montre par exemple les hypothétiques trajectoires développementales dérivées du modèle d'Anderson (2002).

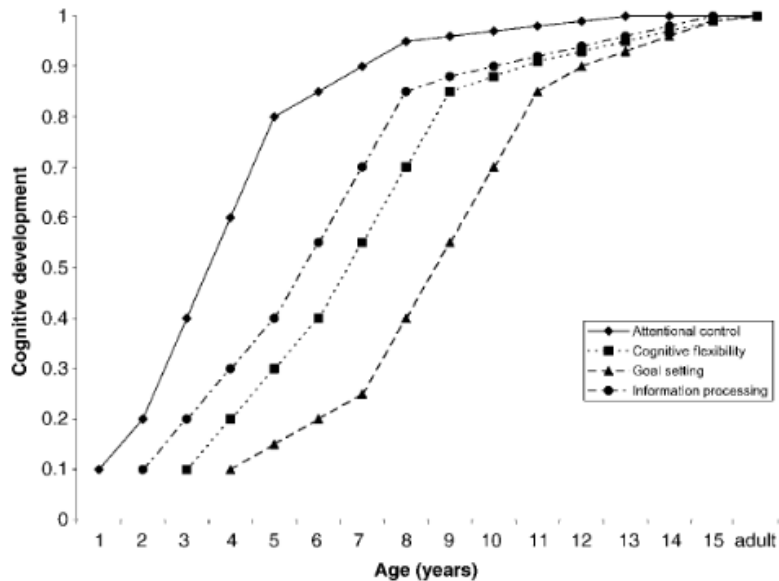


Figure 5. Trajectoires développementales supposées des composantes du modèle d'Anderson (2002) de la naissance à l'âge adulte. En fonction des composantes, les phases de développement rapide seraient plus ou moins précoces et le niveau de performance adulte serait atteint plus ou moins tôt en fonction du niveau de complexité de la composante considérée. Par exemple, le contrôle attentionnel se développerait rapidement lors de la période pré-scolaire, tandis que le développement du traitement de l'information serait plus rapide à la fin de l'enfance.

Il est donc possible de décrire des phases de développement différentes selon les composantes considérées. Les capacités d'inhibition d'une réponse automatique évoluent principalement entre 3 et 5 ans, comme cela a pu être démontré avec la tâche de résistance à l'interférence jour / nuit<sup>3</sup> (Diamond et al., 2002; Gerstadt et al., 1994). Les enfants de 4 ans obtiennent de meilleurs scores que les enfants de 3 ans mais de moins bons résultats que les enfants de 5 ans, sans que cela soit explicable par une moins bonne compréhension de la tâche

<sup>3</sup> Dans cette tâche, proche du paradigme du test de Stroop, il est demandé à l'enfant de produire une réponse en contradiction avec le stimulus présenté. Lorsque l'expérimentateur présente une carte blanche représentant un soleil, l'enfant doit répondre « nuit » et si la carte présentée est noire avec une lune et des étoiles, il doit dire « jour ».



(Gerstadt et al., 1994). A 3 ans en effet, les enfants sont en mesure de conserver la consigne en mémoire de travail (MDT) et d'expliquer ce qu'ils doivent effectuer, mais ils ne peuvent pas encore résister à leurs réponses automatiquement déclenchées par des stimuli environnementaux. Les enfants de 4 ans augmentent significativement leur performance si l'adulte les incite à réfléchir plus longuement en leur demandant d'attendre avant de fournir leur réponse (Diamond et al., 2002).

La capacité à maintenir et mettre à jour des informations en MDT émerge tôt au cours du développement. Les performances des enfants âgés de 9 à 12 mois à des tâches de type « A-non-B » reflètent une capacité de mise à jour de la MDT (e.g. Bell & Cuevas, 2016). Les mesures réalisées avec la SOPT<sup>4</sup> par exemple montrent que cette capacité se développerait ensuite de façon quasi linéaire entre 3 et 5 ans (Hongwanishkul et al., 2005), de 5 à 11 ans (Cragg & Nation, 2007), puis jusqu'à l'âge adulte (Ward et al., 2005). La capacité à manipuler de multiples éléments en MDT se développerait de façon plus tardive et progressive depuis la période pré-scolaire jusqu'à l'âge adulte (Carlson, 2005).

Dès 2 ans et demi, les enfants sont capables de réussir des tâches de *flexibilité mentale* nécessitant d'inverser une association stimulus-réponse (e.g. « appuie à droite quand tu vois un cercle et à gauche quand tu vois un triangle » puis l'inverse ; Brooks et al., 2003). La capacité à prendre en compte alternativement différents aspects d'un stimulus est classiquement évaluée à l'aide de tâche de classement de cartes selon des critères changeants au fil du temps. La plupart des enfants de 3 ans parviennent à trier une série de cartes en fonction d'un critère initial (e.g. la couleur) sur plusieurs essais, mais échouent à changer de dimension (e.g. la forme) et persévèrent dans l'utilisation du critère initial. Les enfants peuvent effectuer le changement de critère à partir de 4 ou 5 ans selon les études (Kloo & Perner, 2005 ; Zelazo et al., 2003). Des progrès notables existent ensuite pour des tâches plus complexes, exigeant plusieurs changements de critères ou que l'enfant détermine lui-même le but de la tâche (Carlson, 2005 ; Smidts et al., 2004). Les performances évoluent alors jusqu'à la fin de l'adolescence, dans des paradigmes de task-switching<sup>5</sup> (Cepeda et al., 2001 ; Davidson et al., 2006 ; Reimers & Maylor,

---

<sup>4</sup> Self Ordered Pointing Task (Petrides & Milner, 1982). L'enfant doit pointer à chaque essai, parmi un ensemble d'éléments dont l'arrangement varie chaque fois, l'un des objets qui n'ont pas encore été sélectionnés, ce qui requiert de mettre à jour la liste des éléments au fur et à mesure que ceux-ci sont sélectionnés.

<sup>5</sup> Paradigme dans lequel il faut alterner à de multiples reprises entre au moins deux tâches, sur la base d'indices (Meiran, 2010 ; Rogers & Monsell, 1995)

2005), ou de classement de cartes comme le WCST<sup>6</sup> (Cianchetti et al., 2007 ; Crone et al., 2004 ; Huizinga & Van der Molen, 2007 ; Somsen, 2007).

Il apparaît au total que la période pré-scolaire est une étape de développement massif des FE, la littérature pointant d'ailleurs des facteurs environnementaux précoces qui joueraient un rôle prépondérant au cours de cette période (cf. Encadré n°1). Cependant, les enfants d'âge pré-scolaire ne seraient pas encore capables de les déployer dans des contextes complexes :

*« preschoolers generally do not suffer a lack of abilities, but rather from the ability to deploy these abilities in particular contexts, that is, they lack basic metacognitive awareness of when, and how, to apply their knowledge and to deploy particular strategies effectively » (Espy, 2004, p380).*

**Encadré n°1 – Influence des facteurs environnementaux sur le développement précoce des fonctions exécutives.**

Depuis quelques décennies, l'impact des caractéristiques de l'environnement et de la qualité des relations parents-enfants sur le développement cognitif de l'enfant suscite un intérêt croissant [1]. En 2016, nous avons mené avec Rafika Zebdi, Louise Goyet et Bahia Guellaï une revue de littérature sur le sujet (Zebdi et al., 2016). Le développement des FE en particulier résulte d'une interaction dynamique entre la maturation pré-frontale et l'environnement externe [2, 3]. Les environnements défavorables résultant de la négligence, des abus, de la violence, du stress et du statut socioéconomique de la famille peuvent exposer les enfants à un stress toxique, qui perturbe l'architecture du cerveau et altère et retarde sérieusement le développement des FE [4, 5]. De plus, le stress, le manque de sommeil, la solitude ou le manque d'exercice peuvent nuire aux FE [6].

En revanche, le fait de grandir dans un environnement bilingue serait un des facteurs influençant positivement le développement des FE. La maîtrise de deux langues procurerait en effet aux locuteurs bilingues des avantages cognitifs notamment en matière de flexibilité cognitive et d'attention sélective. Des études ont par exemple mis en évidence une meilleure capacité des enfants bilingues à coordonner les composantes du contrôle exécutif nécessaires à l'exécution de tâches complexes. Cet avantage des bilingues serait présent avant l'âge d'un an [7-10] et persisterait à l'âge adulte [11,12].

Les pratiques parentales constituent un autre facteur environnemental qui pèse sur le développement des FE. Selon Vygotsky [13], l'interaction avec un partenaire social plus compétent, tel que le parent, favorise les fonctions cognitives supérieures de l'enfant. De ce point de vue socioconstructiviste, le développement des FE peut être considéré comme un transfert de la régulation inter- à intra-personnelle. Trois dimensions de l'éducation parentale ont été associées au développement des fonctions exécutives [14] : l'étaillage (« *scaffolding* »), la sensibilité (« *sensitivity* ») et la prise en compte des états mentaux (« *mind-mindedness* »). La plupart des études se sont concentrées sur le concept d'étaillage. Ce vaste concept fait référence à la manière dont les conseils parentaux permettent aux enfants d'atteindre un niveau de résolution de problèmes qu'ils

<sup>6</sup> Wisconsin Card Sorting Test. Les participants doivent appairer des cartes en fonction de leur couleur, de leur forme ou de leur nombre et inférer la dimension pertinente et les changements de dimensions sur la base des commentaires données par l'expérimentateur (Eling et al., 2008 ; Grant & Berg, 1948)

n'auraient pas pu atteindre par eux-mêmes. Hughes et Ensor [15] ont montré que l'étayage maternel était plus prédictif du développement des FE à l'âge pré-scolaire que le modèle d'imitation ou que les modèles positifs ou négatifs plus globaux. Bernier et al. [16] ont observé les habitudes parentales pendant des sessions de jeu libre et de résolution de problèmes à 12, 18 et 23 mois qui ont été corrélées avec plusieurs mesures de FE à 18 et 26 mois dans 80 dyades mère-enfant. Indépendamment du niveau d'éducation de la mère et de ses capacités cognitives générales, les auteurs ont constaté que (1) la sensibilité maternelle à 12 mois permettait de prédire le développement des FE à 26 mois ; (2) la prise en compte des états mentaux par la mère à 12 mois permettait de prédire la MDT à 18 mois et l'augmentation des compétences exécutives entre 18 et 23 mois ; et (3) l'étayage maternel à 12 mois permettait de prédire la MDT et la catégorisation à 18 mois et les FE à 26 mois. Dans une autre étude, Bernier et al. [17] ont examiné le lien entre le comportement interactif maternel, le comportement interactif paternel, la sécurité de l'attachement de l'enfant entre 1 et 2 ans, et les FE de l'enfant à 2 et 3 ans. Les résultats montrent que le comportement parental et l'attachement de l'enfant sont liés aux performances de l'enfant dans les tâches de FE, en particulier dans les composantes de flexibilité cognitive. Plus récemment, Bernier et al. [18] ont confirmé le rôle prédictif de la sécurité de l'attachement à 2 ans sur le développement des FE à 5-6 ans. Ces résultats suggèrent que les relations parents-enfants peuvent jouer un rôle important dans le développement des capacités d'autorégulation des enfants. Les deux explications suivantes peuvent être avancées : (1) le rôle parental fournit à l'enfant le contexte social dans lequel il peut exercer ses capacités de régulation émergentes et (2) le rôle parental peut affecter les réseaux cérébraux impliqués dans les FE, en particulier le système de réponse au stress, comme cela a été démontré dans des études sur des animaux [19]. En effet, Wagner et al. [20] ont mis en évidence que les enfants présentant une mauvaise FE avaient des niveaux plus élevés de cortisol salivaire (c'est-à-dire lié au niveau de stress), et leurs parents ont signalé un stress parental plus élevé. Il semble donc que le rôle des parents et d'autres facteurs psychologiques tels que le stress soient importants pour comprendre le développement des FE.

Publication associée : Zebdi, R., Goyet, L., **Pinabiaux, C.**, & Guellaï, B. (2016). Psychological Disorders and Ecological Factors Affect the Development of Executive Functions: Some Perspectives. *Frontiers in Psychiatry*, 7, 195.

Références :

- [1] Garon, N., Bryson, S.E., & Smith, I.M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychol Bull*, 134:31-60. doi:10.1037/0033-2909.134.1.31
- [2] Calkins, S.D., & Fox, N.A. (2002). Self-regulatory processes in early personality development: a multilevel approach to the study of childhood social withdrawal and aggression. *Dev Psychopathol*, 14:477-98. doi:10.1017/S095457940200305X
- [3] Diamond, A. (2009). All or none hypothesis: a global-default mode that characterizes the brain and mind. *Dev Psychol* 45:130-8. doi:10.1037/a0014025
- [4] McClelland, M.M., & Tominey, S.L. (2014). The development of self-regulation and executive function in young children. *Zero to Three J* 35:2-8.
- [5] Starcke, K., Wiesen, C., Trotzke, P., & Brand, M. (2016). Effects of acute laboratory stress on executive functions. *Front Psychol* 7:461. doi:10.3389/fpsyg.2016.00461
- [6] Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annu Rev Psychol* 64:135-68. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- [7] Kovács, A.M., & Mehler, J. (2009). Cognitive gains in 7-month-old bilingual infants. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106:6556-60.
- [8] Kovács, Á.M., & Mehler J. (2009). Flexible learning of multiple speech structures in bilingual infants. *Science* 5940:611-2. doi:10.1126/science.1173947
- [9] Adi-Japha, E., Berberich-Artzi, J., & Libnawi, A. (2010). Cognitive flexibility in drawings of bilingual children. *Child Dev* 81(5):1356-66. doi:10.1111/j.1467-8624.2010.01477.x
- [10] Bialystok, E. (2010). Global-local and trail-making tasks by monolingual and bilingual children: beyond inhibition. *Dev Psychol* 46:93-105. doi:10.1037/a0015466
- [11] Bialystok, E. (2011) Coordination of executive functions in monolingual and bilingual children. *J Exp Child Psychol* 110:461-8. doi:10.1016/j.jecp.2011.05.005

- [12] Morales, J., Yudes, C., Gómez-Ariza, C.J., & Bajo, M.T. (2015). Bilingualism modulates dual mechanisms of cognitive control: evidence from ERPs. *Neuropsychologia* 66:157–69. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.11.014
- [13] Vygotsky, L. (1978). Interaction between learning and development. In: Gauvain M, Cole M, editors. *Readings on the Development of Children*. New York: Scientific. p. 34–41.
- [14] Carlson, S.M. (2003). Executive function in context: development, measurement, theory, and experience. *Monogr Soc Res Child Dev* 68(3):138–51. doi:10.1111/j.1540-5834.2003.06803012.x
- [15] Hughes, C.H., & Ensor, R.A. (2009). How do families help or hinder the emergence of early executive function? *New Dir Child Adolesc Dev* 123:35–50. doi:10.1002/cd.234
- [16] Bernier, A., Carlson, S.M., & Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation: early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child Dev* 81(1):326–39. doi:10.1111/j.1467-8624.2009.01397.x
- [17] Bernier, A., Carlson, S.M., Deschênes, M., & Matte-Gagné, C. (2012). Social factors in the development of early executive functioning: a closer look at the caregiving environment. *Dev Sci* 15(1):12–24. doi:10.1111/j.1467-7687.2011.01093
- [18] Bernier, A., Beauchamp, M.H., Carlson, S.M., & Lalonde, G. (2015). A secure base from which to regulate: attachment security in toddlerhood as a predictor of executive functioning at school entry. *Dev Psychol* 51(9):1177–89. doi:10.1037/dev0000032
- [19] Gunnar, M.R., & Fisher, P.A. (2006). The early experience, stress, and prevention network. Bringing basic research on early experience and stress neurobiology to bear on preventative interventions for neglected and maltreated children. *Dev Psychopathol* 18:651–77. doi:10.1017/S0954579406060330
- [20] Wagner, S., Müller, C., Helmreich, I., Huss, M., & Tadić, A. (2015). A meta-analysis of cognitive functions in children and adolescents with major depressive disorder. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 24:5–19. doi:10.1007/s00787-014-0559-2

Qu'en est-il des trajectoires développementales par la suite ? Peu d'études permettent d'alimenter ce débat. Toutefois, de Luca et al. (2003) ont étudié le développement de la MDT, de la flexibilité mentale, de la planification et de la fixation d'objectifs de 194 individus âgés de 8 à 64 ans. Toutes ces fonctions présentaient une amélioration progressive des performances au fur et à mesure de l'avancée en âge, exceptée à la flexibilité mentale. Cette dernière était mature chez les plus jeunes enfants de l'étude âgés de 8 à 10 ans. Quelques études mettent en évidence que l'adolescence peut être considérée comme une étape supplémentaire vers la maîtrise des FE et non comme le point final de ce développement (De Luca & Leventer, 2008). Luna et Sweeney (2004) décrivent notamment l'adolescence comme une période de transition lors de laquelle les circuits sous-tendant les FE deviennent plus spécifiques, mieux connectés et donc plus efficaces dans l'organisation et la surveillance des comportements. Le vieillissement est ensuite marqué par un déclin notable de l'ensemble des FE (Diamond, 2013). En particulier, le déclin du contrôle inhibiteur rend les adultes âgés plus vulnérables aux interférences proactives et retroactives (Hedden & Park 2001, Solesio-Jofre et al. 2012) et à la distraction (Rutman et al. 2010, Zanto & Gazzaley, 2009), ce qui impacte leurs capacités en MDT (e.g., Fiore et al. 2012, Fournet et al. 2012).

## 1.5. Synthèse

L'objectif de cette première partie était d'établir un état des lieux synthétique de la conceptualisation actuelle des FE et de leur développement. Nous avons vu que les modèles adultes reposent sur des analyses factorielles qui mettent en avant le caractère multi-composite des FE tout en soulignant le rôle central de l'inhibition. Les modèles développementaux proposent également une vision non unitaire des FE et postulent une hiérarchie dans les composantes, avec des trajectoires développementales plus ou moins rapides en fonction du niveau de sophistication de la composante considérée. Dans l'ensemble nous retiendrons que les FE constituent un ensemble de processus qui permettent d'organiser les comportements vers un but, dès lors qu'un comportement automatique ne serait pas pertinent ou ne pourrait pas être appliqué.

Au cours de ma carrière, je me suis intéressée aux FE en liens avec la cognition sociale avec une approche en neuropsychologie du développement, ce qui m'amènera à définir les concepts de fonctions exécutives chaudes (en lien avec des aspects émotionnels) et froides.

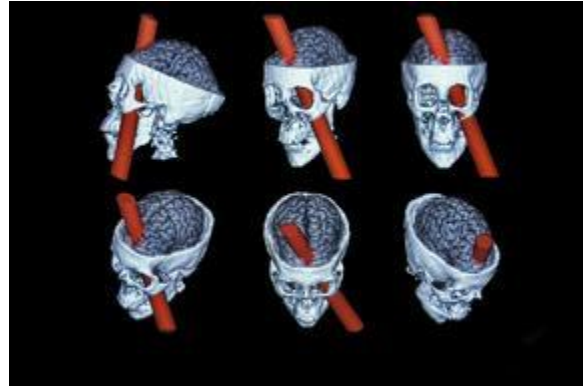
Par ailleurs les situations d'apprentissage constituent des situations typiques de recours aux FE froides puisqu'elles mettent par nature l'individu dans une situation nouvelle, non routinière et pour laquelle les traitements ne sont pas encore automatisés. C'est dans cette optique que je me suis par la suite intéressée aux liens entre les FE et les apprentissages scolaires.

## 2. Fonctions exécutives et cognition sociale, une approche neuropsychologique : entre vulnérabilité et plasticité du jeune cerveau



Cette partie de la synthèse concerne des travaux menés dans le champ de la neuropsychologie développementale et qui reposent sur des collaborations avec des services hospitaliers (à la Fondation Adolphe de Rothschild, à l'Hôpital Necker Enfants Malades et à l'Hôpital Robert Debré). Ces travaux sont en partie issus de réflexions cliniques qui ont orienté mon travail vers les liens possibles des FE avec la cognition sociale. Je propose donc dans un premier temps de présenter succinctement les concepts de FE chaudes et froides et de cognition sociale dans une approche neuropsychologique. J'exposerai l'ensemble des travaux que j'ai menés sur le sujet et qui mettent en avant d'une part la vulnérabilité précoce de ces fonctions en cas d'atteinte cérébrale néo ou péri-natale (cardiopathies congénitales cyanogènes et exposition prénatale à l'alcool), et d'autre part la remarquable plasticité cérébrale permettant une certaine récupération de ces fonctions après un traitement chirurgical de syndromes épileptiques.

L'approche neuropsychologique a toujours été essentielle dans la façon dont les FE ont été modélisées. L'étude de ces fonctions dites « frontales » repose en effet à l'origine sur l'observation de patients adultes présentant des lésions du lobe pré-frontal. Un des exemples les plus célèbres de patient « frontal » étant le cas de Phineas Gage qui a subi une atteinte frontale en 1848, et dont la description clinique a été reprise par Damasio et al. en 1994 au regard des avancées technologiques ayant permis une reconstruction de la lésion en 3 dimensions (cf. figure 6).



*Figure 6. Reconstruction en 3 dimensions de l'atteinte cérébrale de Phineas Gage (Damasio et al., 1994). Cet employé de chemin de fer a fait accidentellement exploser une charge explosive et la barre à mine qu'il tenait dans sa main ('représentée ici par un cylindre rouge), a traversé sa joue gauche, son lobe frontal puis la boîte crânienne.*

A l'époque Phinéas Gage a été considéré comme apparemment guéri, puisque le toucher, la vue, l'audition et la motricité étaient normales. Son médecin, le docteur John Harlow, rapporte en revanche que sa personnalité a été profondément bouleversée. Il est devenu grossier, irritable, capricieux, instable. Ces nouveaux traits de caractères contrastaient nettement avec son ancienne personnalité. La pérennité de ces troubles, ou leur diminution au fil du temps ont été discutés dans la littérature, mettant l'accent sur les capacités de récupération et de plasticité cérébrale (MacMillan, 2000 pour une revue). Pendant près de 150 ans, la description des lésions présentées par Gage ont été spéculatives, se limitant le plus souvent à une localisation au niveau du lobe frontal gauche (Van Horn et al., 2012 pour une revue). Hanna Damasio a été la première à proposer d'étudier le cerveau de Gage, et donc les lésions causées par son accident, de façon indirecte au moyen de l'IRM (Damasio et al., 1994). Le crâne de Gage, qui était exposé au musée de la Médecine à Boston, a été photographié sous différents angles et des mesures de la distance entre les contours de la lésion et une série de points de repère standard ont été effectuées. L'étude de ces photographies associée à la description de la blessure a permis de restreindre la gamme des trajectoires possibles de la barre de fer lors de l'accident. Cela a permis de confirmer qu'en dépit de la masse de tissu cérébral touchée, la lésion n'avait pas touché les régions nécessaires à la motricité ou au langage, que la lésion a détruit la portion ventromédiane du cortex préfrontal, tandis que le cortex dorso-latéral a été relativement préservé. L'observation de cas présentant des lésions frontales semblables à celles de Phineas Gage a permis de décrire des déficits dans la faculté de raisonnement et de prise de décision mais aussi dans l'expression et la perception des émotions. Le lobe frontal serait donc à la fois le siège de

FE, dévolue à des aspects cognitifs du comportement localisés au niveau dorso-latéral, mais également de FE impliquées dans la sphère émotionnelle et sociale, qui impliqueraient le cortex préfrontal ventro-médian. Zelazo et ses collaborateurs introduisent au début des années 2000 le concept de FE froides et chaudes pour distinguer les premières des secondes (Happaney et al., 2004 ; Zelazo & Müller, 2002 ; cf. Encadré n°2).

### **Encadré n°2 – Fonctions exécutives froides et chaudes.**

Traditionnellement, les FE étaient évaluées à l'aide de tâche décontextualisées, ne possédant pas de composantes affectives ou motivationnelles (e.g. classement de cartes, tour de Londres...). Ces tâches sont associées au cortex préfrontal dorso-latéral et correspondent aux aspects cognitifs, froids (« *cool* ») des FE. A l'inverse, des tâches mettant en jeux des composantes émotionnelles et/ou motivationnelles (e.g. tâches avec récompense, délai de gratification...) sont associées aux cortex orbito-frontal et à des régions médianes et sont qualifiés de FE chaudes (« *hot* »). La célèbre tâche du Marshmallow [1] est un exemple de situation où la composante motivationnelle est importante : pour obtenir une récompense plus élevée, l'enfant doit subir un délai de gratification plus long, tout en résistant à la tentation d'une récompense immédiate mais inférieure.

Des comparaisons directes entre les FE froides et chaudes semblent indiquer que le développement des FE chaudes est plus tardif [2,3]. Par exemple, Hooper et al. [4] ont testé des enfants âgés de 9 à 17 ans sur une mesure des FE chaudes (Iowa Gambling Task : tâche de pari impliquant des prises de risques proportionnelles à la récompense potentielle associée), et deux mesures des FE froides (empan de chiffres et Go/No-Go). Les résultats ont révélé des améliorations des performances liées à l'âge pour les trois tâches, mais alors que des améliorations pour la tâche d'empan et le Go/No-Go ont été observées entre les deux groupes d'âge les plus jeunes, seuls les adolescents les plus âgés (14-17 ans) ont obtenu de bons résultats pour la tâche de pari. De même, Prencipe et al. [5] ont testé des enfants âgés de 8 à 15 ans et ont rapporté que des niveaux de performance similaires à ceux des adultes étaient atteints pour les mesures des FE chaudes à un âge plus avancé que pour les mesures des FE froides. Dans les deux études, les mesures chaudes et froides étaient faiblement corrélées. Ensemble, ces résultats sont compatibles avec la possibilité que les FE chaudes et froides se développent de manière relativement indépendante.

#### Références :

- [1] Mischel, W., Shoda, Y., & Rodriguez, M. I. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244(4907), 933-938.
- [2] Rumsey, J. M., & Ernst, M. (2009). *Neuroimaging in Developmental Clinical Neuroscience*. Cambridge University Press.
- [3] Zelazo, P. D., Qu, L., & Kesek, A. C. (2010). Hot executive function: Emotion and the development of cognitive control. In S. D. Calkins & M. A. Bell (Eds.), *Child development at the intersection of emotion and cognition* (pp. 97-111). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12059-006>
- [4] Hooper, C. J., Luciana, M., Conklin, H. M., & Yarger, R. S. (2004). Adolescents' Performance on the Iowa Gambling Task: Implications for the Development of Decision Making and Ventromedial Prefrontal Cortex. *Developmental Psychology*, 40(6), 1148-1158. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.6.1148>
- [5] 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>



Les interactions sociales sont essentielles à un développement somatique, cognitif et émotionnel harmonieux. Afin d'établir et de maintenir des interactions sociales satisfaisantes, les individus possèdent des capacités socio-cognitives spécifiques, certaines étant très basiques et d'autres de beaucoup plus haut niveau. Le terme de « cognition sociale » est issu de la psychologie sociale et a été employé pour la première fois en 1954 par Bruner et Tagiuri pour décrire ce regroupement d'habiletés sociales et émotionnelles qui permettent la régulation des relations interindividuelles ou intergroupes.

Actuellement, les recherches portant sur la cognition sociale s'intéressent principalement à trois composantes plus ou moins intriquées : le traitement d'indices sociaux (e.g. Shütz et al., 2020), la théorie de l'esprit (Theory of Mind, ToM, Perner & Wimmer, 1985) et l'empathie (Uekermann et al., 2010). Sans entrer dans les débats théoriques actuels, nous retiendrons pour simplifier que : (i) le traitement d'indices sociaux concerne la capacité à percevoir et à utiliser les informations de nature attentionnelle, intentionnelle et/ou émotionnelle provenant de différentes modalités sensorielles à partir de signaux véhiculés par le visage (expressions faciales émotionnelles, regards), la voix (prosodie, contenu verbal) et le corps (gestes, postures) d'autrui ; (ii) la ToM correspond aux connaissances et processus cognitifs qui permettent aux individus de conceptualiser leurs propres états mentaux ou ceux d'autrui. Il est d'usage de distinguer l'inférence d'états mentaux cognitifs (croyances, connaissances...) et l'inférence d'états mentaux affectifs (émotions) ; (iii) l'empathie fait référence à la capacité de ressentir une émotion appropriée en réponse à l'état mental d'une autre personne. Les études de neuro-imagerie suggèrent que ces fonctions sont contrôlées par des réseaux neuronaux qui impliquent le cortex préfrontal, tout comme les FE. Ces résultats sont cohérents avec les études qui ont montré des déficits cognitifs sociaux après une lésion préfrontale ou des maladies neurodégénératives et neuropsychiatriques qui affectent également le cortex préfrontal (e.g. la schizophrénie, la dépression, le TDA/H ; Brennan et Arnsten, 2008 ; Brune & Brune-Cohrs, 2006 ; Drevets et al., 2008).

Le lien entre les FE et la cognition sociale peut se comprendre à deux niveaux, en fonction de si l'on considère les FE chaudes ou froides. Les FE chaudes seraient impliquées dans des compétences précoces de la ToM, incluant notamment la capacité des enfants à repérer partiellement puis à discriminer les émotions des personnes lors d'interactions sociales. Elles seraient également en lien avec la capacité plus tardive à comprendre les états émotionnels d'autrui, par exemple dans des tâches d'attribution de fausses croyances affectives (Perner et al., 1999 ; Vetter et al., 2013). Les capacités de FE froides seraient un prédicteur des capacités

de résolution de tâches de fausses croyances épistémologiques, i.e. sans connotation émotionnelle, en cela qu'elles permettent d'inhiber le point de vue ou les connaissances propres au profit de ceux d'autrui (e.g. Hajduk et al., 2018).

Dans cette partie, je présenterai les travaux menés au cours de ma carrière qui explorent de façon conjointe les FE chaudes ou froides, la cognition sociale (ToM). Ces travaux, menés avec une approche de neuropsychologie développementale, mettent en avant la vulnérabilité précoce de ces fonctions (dans le cas de cardiopathies cyanogènes ou d'exposition prénatale à l'alcool) mais également les capacités de plasticité cérébrale et de récupération fonctionnelle (hémisphérotomie). Ils reposent sur des collaborations avec différents acteurs de services médicaux pédiatriques parisiens (Necker Enfants Malades, Robert Debré, Fondation Adolphe de Rothschild).

## 2.1. **Vulnérabilité précoce du cerveau, fonctions exécutives et cognition sociale**

### 3.1.1. *Vulnérabilité périnatale : Effets d'une chirurgie cardiaque précoce*

Si le cas de Phineas Gage met l'accent sur l'impact d'une lésion frontale massive survenue à l'âge adulte sur les FE froides et chaudes, il existe également une vulnérabilité précoce du cerveau dont une atteinte dans les tous premiers stades de développement peut avoir des répercussions délétères sur le fonctionnement exécutif ultérieur.

---

#### **Apport expérimental : Difficultés exécutives et prise en charge d'enfants avec cardiopathie congénitale**

---

Publication associée : Calderon, J., Bonnet, D., **Pinabiaux, C.**, Jambaqué, I. & Angeard, N. (2013). Use of early remedial services in children with transposition of the great arteries: Prevalence and associated factors. *Journal of Pediatrics*, 163(4), 1105-1110.

Objectifs: Utiliser une approche écologique (inventaire comportemental) pour mettre en évidence les difficultés exécutives chez des enfants porteurs d'une cardiopathie congénitale à risque d'hypoxie néonatale, et mesurer les conséquences de ces difficultés en termes de prise en charge.

Apports principaux: Importance de la prévalence des difficultés et troubles exécutifs dans une population ne présentant pas de dommage cérébral acquis mais dont le cerveau a pu présenter une vulnérabilité précoce.

---

A ce titre, nous avons, en collaboration avec Johanna Calderon (doctorante), Nathalie Angeard, Isabelle Jambaqué et Damien Bonnet du service de cardiologie pédiatrique de l'hôpital Necker Enfants Malades, mené une étude prospective visant à connaître la prévalence du recours précoce à des aides de remédiation chez des enfants âgés de 4 à 6 ans ayant subi une

chirurgie dans les premières semaines de vie pour une transposition des gros vaisseaux (Calderon et al., 2013). Cette chirurgie est proposée de façon très précoce pour les enfants souffrant de maladies cardiaques congénitales qui peuvent être dépistées en anténatale au décours d'une échographie morphologique ou en post-natal face à des signes de souffrance cardiaque (troubles du rythme, cyanose) pouvant être à l'origine d'une hypoxie cérébrale. Calderon et al. (2010) avaient démontré dans une étude préliminaire que des patients (n=21 ; âge moyen : 7 ans 6 mois) ayant été opérés pour une transposition des gros vaisseaux présentaient des difficultés dans des tâches d'inhibition cognitive, de mémoire de travail auditivo-verbale et visuo-spatiale et de planification, malgré une efficacité cognitive globale normative. Nous avons cherché en 2013 à répliquer ces résultats avec une approche écologique, en incluant un inventaire comportemental et en mesurant les conséquences des difficultés exécutives en termes de prise en charge. Les patients de cette étude (n=45, âge moyen 5 ans ± 4 mois) ont ainsi été évalués au moyen d'une échelle de Wechsler et d'une batterie de tests mesurant les FE, incluant des mesures d'inhibition motrice et cognitive, de mémoire de travail et de flexibilité cognitive. L'inventaire BRIEF était également rempli par les parents. Parmi les patients de cette étude, 53% recevait une aide de remédiation (soutien scolaire [42%], orthophonie [37%], psychologie [17%], neuropédiatrie [8%]), ce qui constituait une proportion significativement plus élevée que dans le groupe contrôle (18%,  $\chi^2[1] = 12.41; p = .0004$ ). Ces enfants présentaient des scores aux tests de FE significativement plus faibles et avec plus de problèmes exécutifs dans leur vie quotidienne que leurs pairs qui n'étaient pas suivis (cf. tableau 1). Le recours aux aides de remédiation était significativement prédit par la sévérité de la pathologie (diagnostic post-natal pouvant causer une acidose pré-opératoire et séjour long en unité de soin intensif). Un pourcentage non négligeable (43%) des enfants qui ne bénéficiaient pas d'aide présentaient eux aussi des déficits modérés à sévères des FE.

Tableau 1. Scores obtenus aux tests des fonctions exécutives par les patients ayant subi une transposition des gros vaisseaux et bénéficiant ou non d'une aide de remédiation.

Test	Domaine	Avec aide (n=24)	Sans aide (n=21)
		Moyenne (ds)	Moyenne (ds)
Columbia Mental Maturity Scale <sup>7</sup>	QI	110,3 (7,15)	111,9 (8,89)
Nepsy Cogner/frapper <sup>8</sup>	Inhibition motrice	23 (4,49)*	25 (2,30)

<sup>7</sup> Burgermeister, Blum & Lorge, 1972

<sup>8</sup> Les enfants doivent réaliser des mouvements de la main en inhibant l'imitation de l'adulte (Korkman, Kirk & Kemps, 1998)

Stroop Animal <sup>9</sup> – temps de réaction	Contrôle de l'interférence	84,1 (32,54)	80,49 (31,20)
Stroop Animal – nombre d'erreurs	Inhibition cognitive	3,54 (3,68)	2,57 (2,01)
Empans de chiffres endroit – Wisc-IV	Mémoire à court terme auditivo-verbale	5,45 (2,02)	5,47 (1,50)
Empans de chiffres envers – Wisc-IV	Mémoire de travail auditivo-verbale	2,50 (2,73)	3,23 (2,18)
Empans visuo-spatial endroit – BEM-144 <sup>10</sup>	Mémoire à court terme visuo-spatiale	4,08 (1,24)*	4,90 (1,33)
Empans visuo-spatial envers – BEM-144	Mémoire de travail visuo-spatiale	2,33 (2,03)*	3,90 (1,94)
DCST <sup>11</sup>	Flexibilité cognitive	6,45 (3,18)*	8,2 (2,19)
Nombre total moyen de difficultés exécutives ( $\leq$ -1ds) (0-8)		1,8 (1,16)	1,5 (1,03)
Nombre total moyen de déficits exécutifs modérés à sévères ( $\leq$ -2 ds) (0-8)		2,4 (2,06)*	1,09 (1,44)

BEM-144 = Batterie d'Efficiace Mnésique 144 ; DCST = Dimensional Card Sorting Test

\*p<.05

Au total, cette première étude soulignait l'importance de la prévalence des difficultés et troubles exécutifs dans une population ne présentant pas de dommage cérébral acquis mais dont le cerveau a pu présenter une vulnérabilité précoce.

#### **Apport expérimental : Fonctions exécutives et cognition sociale chez des enfants avec cardiopathie congénitale**

Publication associée : Calderon, J., Angeard, N., **Pinabiaux, C.**, Bonnet, D. & Jambaqué, I. (2014). Facial expression recognition and emotion understanding in children after neonatal open-heart surgery for transposition of the great arteries. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 56(6), 564-71.

Objectifs: Evaluer les composantes élémentaires de la cognition sociale (reconnaissance faciale émotionnelle, compréhension émotionnelle) et la théorie de l'esprit (attribution de fausses croyances épistémologiques ou affectives) chez des enfants ayant subi une transposition des gros vaisseaux.

Apports principaux: Les enfants avec transposition des gros vaisseaux présentaient une déficience significative en matière de compréhension d'états mentaux affectifs complexes, même si la reconnaissance des expressions faciales était généralement préservée. Les facteurs préopératoires sont des déterminants importants des résultats à long terme après une cardiopathie congénitale cyanotique.

<sup>9</sup> Des animaux chimériques composés du corps d'un animal et de la tête d'un autre sont présentés aux enfants. Ils doivent alors dénommer l'animal dont le corps est représenté et inhiber la dénomination – plus automatisée – de l'animal dont la tête est représentée (Wright et al., 2003).

<sup>10</sup> Les enfants doivent pointer des séquences de cubes en ordre endroit ou envers (Signoret, 1991)

<sup>11</sup> Les enfants doivent classer des cartes selon des critères (forme, couleur) qui alternent (Zelazo, 2006).

En plus des déficits exécutifs, Calderon et al., rapportaient en 2010 des difficultés dans des tâches de théorie de l'esprit de type attribution de fausse croyance de premier et second ordre. Plusieurs travaux avaient ainsi pointé la présence de difficultés de cognition sociale dans la population de patients ayant bénéficié d'une chirurgie cardiaque précoce (Bellinger, 2010 ; Calderon et al., 2012 ; Marino et al., 2012). Dans la continuité du travail de thèse de Johanna Calderon, nous avons cherché à approfondir les connaissances sur les conséquences d'une chirurgie cardiaque précoce sur les FE et la cognition sociale dans des aspects affectifs et épistémologiques (Calderon et al., 2014). Nous avons donc évalué des composantes élémentaires de la cognition sociale telles que la reconnaissance faciale émotionnelle (TREFE<sup>12</sup>, Golouboff et al., 2008), la compréhension émotionnelle<sup>13</sup> et l'attribution de fausses croyances épistémologiques ou affectives auprès de 38 enfants avec une transposition des gros vaisseaux (âge moyen : 7 ans 3 mois ± 14 mois) et 31 enfants contrôles (âge moyen : 7 ans 4 mois ± 13 mois) appariés pour le niveau d'efficience globale (QI non verbal<sup>14</sup> : 113 ± 8,4 et 116 ± 9,6 respectivement), le niveau d'éducation parental et le niveau socio-économique. Les analyses de covariance effectuées avaient permis de démontrer que les enfants avec TGA ne présentaient pas de difficultés pour reconnaître les expressions faciales émotionnelles par rapport aux enfants contrôles lorsque l'âge, le sexe, le niveau socio-culturel et les capacités langagières étaient prises en compte. Les enfants avec TGA présentaient en revanche des difficultés pour comprendre les émotions dites mentales (désirs, fausse croyance affective de

---

<sup>12</sup> Le TREFE est composé de 108 visages, 18 par expression émotionnelle (joie, peur, colère, dégoût, tristesse, neutralité). Dans un premier temps, une tâche d'appariement perceptif est proposée pour contrôler le traitement visuo-perceptif correct des expressions émotionnelles faciales : le participant doit faire correspondre le visage de l'enfant qui "semble exprimer la même émotion que le modèle" parmi 6 possibilités (1 par émotion). Ensuite, lors de la tâche d'étiquetage, chaque visage est présenté un par un au participant, qui doit étiqueter l'émotion exprimée par le visage. Enfin, lors de la tâche d'appariement verbal, le participant est invité à choisir les visages qui expriment les trois émotions énoncées successivement par l'expérimentateur. Six visages (un par émotion, 3 cibles et 3 contremarques) sont présentés à la fois. Pour les deux tâches, la précision est mesurée par le nombre de bonnes réponses par émotions (/8) et un score total de reconnaissance des émotions est calculé (/48) pour chaque tâche séparément. Les références normatives ont été créées à partir d'un échantillon de 102 enfants et adolescents (56 filles) répartis en 5 groupes d'âge (7-8 ; 9-10 ; 11-12 ; 13-14 ; 15-16 ans).

<sup>13</sup> Des scénarii illustrés présentent des situations pour lesquelles l'enfant doit choisir l'émotion ressentie par le personnage parmi plusieurs possibilités (tristesse, colère, peur, joie, neutre). Le niveau général de compréhension émotionnelle est compris entre 0 et 9. Trois scores peuvent être également calculés : la catégorie « émotions externes » correspond à la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles, la compréhension des causes des émotions et de l'impact des événements extérieurs sur les ressentis ; la catégorie « émotions mentales » inclut la compréhension des désirs, des fausses croyances affectives de premier ordre et la distinction entre les émotions exprimées et ressenties ; la catégorie plus complexe « Emotions réflexives » comprends la compréhension des émotions contradictoires, des stratégies de régulation émotionnelle et de la moralité (Pons et al., 2004 ; Pons & Harris, 2005).

<sup>14</sup> Mesuré à l'aide du Columbia Mental Maturity Scale (Burgermeister et al., 1972)

premier ordre, distinction entre émotions exprimées et ressenties), alors qu'il s'agit d'un niveau de compréhension émotionnelle généralement atteint entre 6 et 7 ans (Pons & Harris, 2005). La compréhension des émotions dites externes (reconnaissance des expressions faciales, compréhension des causes des émotions et de l'impact des événements extérieurs sur les émotions) et réflexives (compréhension d'états affectifs combinant deux émotions contradictoires, stratégies de régulation émotionnelle et sens moral) n'était en revanche pas significativement différente dans les deux groupes (cf. figure 7). Cela plaide à nouveau en faveur d'une acquisition correcte des processus basiques de traitement des émotions, classiquement opérée vers 5 ans (Pons & Harris, 2005).

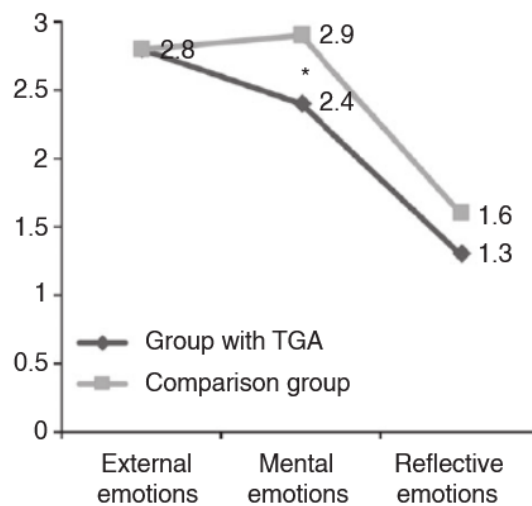


Figure 7. Nombre moyen de tâches réussies dans les trois catégories d'émotion (externes, mentales et réflexives) de la TEC pour les enfants avec transposition des gros vaisseaux (TGA) et contrôles. \* $p < .005$ .

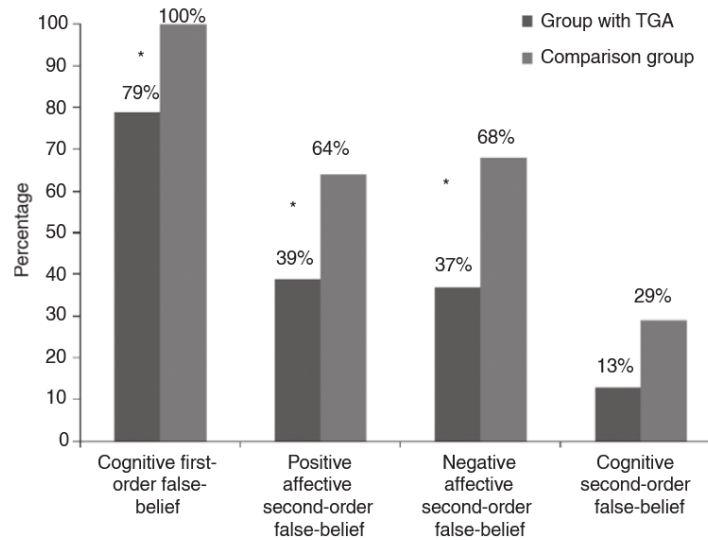


Figure 8. Pourcentage d'enfant avec transposition des gros vaisseaux et du groupe contrôle ayant réussi les différentes tâches d'attribution de fausse croyance : épistémologique cognitive de premier ordre et second ordre, affective positive et négative de second ordre.  $p < .005$ .

Concernant spécifiquement les épreuves de théorie de l'esprit, nos résultats confirmaient les difficultés rapportées dans l'étude préliminaire de Calderon et al. (2010). En effet, tous les enfants du groupe contrôle réussissaient la tâche d'attribution de fausse croyance épistémologique de premier ordre alors que seulement 79% des enfants avec TGA y parvenaient (Wald's  $X^2(1)=7,38$ ;  $p=0.006$ ). Le taux de réussite à la tâche de second ordre était équivalent dans les deux groupes (cf. figure 8). Bien que le taux de réussite dans les tâche d'attribution de fausse croyance affective de second ordre étaient moindre dans le groupe d'enfants avec TGA par rapport au groupe contrôle, l'effet facilitateur classique de la composante affective par rapport à la tâche épistémologique (Parker et al., 2007), était présent dans les deux groupes (McNemar test (1)=8,59,  $p=.003$  pour l'émotion positive and McNemar test (1)=9,5,  $p=.002$  pour l'émotion négative).

Nos données montraient par ailleurs que parmi les variables pré-, per- et postopératoires examinées, seuls les facteurs préopératoires (présence d'une communication interventriculaire, jeune âge lors de la commutation artérielle et diagnostic prénatal de TGA) étaient significativement associés à de meilleures performances de reconnaissance des expressions faciales et d'attribution de fausse croyance affective. Ces variables pré-opératoires sont toutes en lien avec la potentialité de lésions cérébrales : la communication interventriculaire permet une meilleure saturation en oxygène avant la chirurgie cardiaque, un âge plus jeune est associé à une réduction du risque de leucomalacies périventriculaires, le diagnostic prénatal est associé

à une réduction des risques de cyanose prolongée avant une chirurgie cardiaque (Bonnet et al., 1999).

### *3.1.2. Vulnérabilité prénatale : Effets d'une exposition prénatale à l'alcool*

Nous avons par la suite exploré la vulnérabilité précoce des FE et de la cognition sociale au moyen du modèle de l'exposition prénatale à l'alcool, en collaboration avec David Germanaud, neuropédiatre à l'Hôpital Robert Debré et chercheur associé de l'équipe InDeV (UNIACT Neurospin CEA et UMR1141 NeuroDiderot).

Une étude menée en 2012 par l'INPES a permis d'estimer qu'en France chaque année, 7000 naissances (soit 1% du nombre de naissances totales) sont concernées les conséquences d'une exposition prénatale à l'alcool dont 700 présentent un syndrome d'alcoolisation fœtale complet ou partiel. L'appellation « Troubles du Spectre de l'Alcoolisation Fœtale » (TSAF) permet de désigner l'ensemble des affections possibles que peut présenter un enfant ayant eu une exposition prénatale à l'alcool (EPA). Une exposition prénatale à l'alcool peut entraîner un ensemble de troubles pouvant s'exprimer plus ou plus sévèrement. Le diagnostic étiologique d'une pathologie liée à une EPA repose sur un examen clinique approfondi permettant de caractériser la sévérité du tableau et son aspect éventuellement syndromique. Le Syndrome d'Alcoolisation Fœtale (SAF) complet ou partiel constitue la forme syndromique la plus sévère au sein de ce spectre de troubles. Etant donnée la difficulté inhérente à la connaissance exacte de l'exposition prénatale à l'alcool, le diagnostic repose sur la présence d'une triade de signes cliniques apparaissant au cours du développement ultérieur et incluant des anomalies faciales caractéristiques, un retard de croissance pré et post-natal et un dysfonctionnement du système nerveux central (cf. Encadré n°3). Les données fonctionnelles issues de l'IRM, montrent que les activations cérébrales associées à des tâches d'apprentissage verbal (Sowell et al., 2007), d'inhibition d'une réponse automatique (Fryer et al., 2007), d'attention sélective visuelle (Li et al., 2008) et de mémoire de travail (Malisza et al., 2005, Astley et al., 2009, Spadoni et al., 2009, O'Hare et al., 2005) seraient altérées chez les patients. D'un point de vue morphologique, les études volumétriques ont montré que l'exposition prénatale à l'alcool engendrait une réduction du volume de matière grise (Donald et al., 2016, Roussotte et al., 2012), mais également des atteintes plus spécifiques au niveau des lobes pariétal (Archibald et al., 2001) et frontal (Sowell et al., 2002), du corps calleux (Yang et al., 2012), du cervelet, des noyaux caudés, de l'hippocampe (Donald et al., 2015, Norman et al., 2009), des ganglions de la base, du diencéphale, du thalamus (Roussotte et al., 2012), et de l'amygdale (Nardelli et al., 2011).



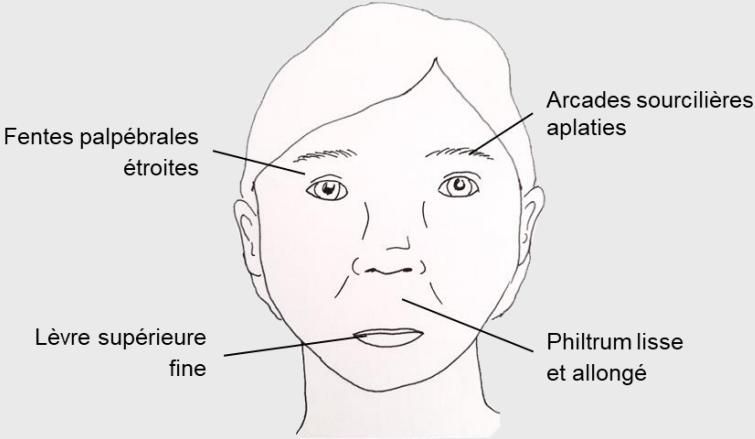
De plus, la connectivité des réseaux serait altérée chez les individus avec TCAF (Wozniak et al., 2017). Roussotte et al. (2012) ont par ailleurs rapporté des corrélations entre des mesures de volumétrie cérébrale et le degré de dysmorphie faciale chez des individus exposés à l'alcool en prénatal.

Il existe en effet une variabilité dans la présentation des traits faciaux, tous les individus ayant subi une exposition prénatale à l'alcool ne présenteront pas les caractéristiques physiques correspondant à la forme syndromique complète (Mattson et al., 2011), le terme de trouble neuro-développemental en contexte d'alcoolisation fœtale (TCAF) permet alors d'englober l'ensemble des conséquences liées à une exposition prénatale à l'alcool, avérée ou suspectée.

Cette terminologie a d'ailleurs été incluse dans la dernière version du manuel diagnostique des troubles mentaux (DSM-5, American Psychiatric Association, 2013), dont les critères diagnostiques proposés sont présentés dans la figure 9.

**Encadré n°3 – Signes cliniques permettant le diagnostic d'un SAF.**

1) La **dysmorphie faciale** se caractérise par les attributs suivants :



Les signes associés possibles sont : un pli épicanthal, la base du nez basse, des anomalies auriculaires mineures et une micrognathie.

2) Le **retard de croissance** (prénatal et post-natal) se caractérise par une microcéphalie (périmètre crânien < 10ème percentile de l'âge chronologique) et une taille et un poids inférieurs à la norme (< 10ème percentile de l'âge chronologique).

3) Le **dysfonctionnement du système nerveux central** correspond à des troubles cognitifs et/ou comportementaux.

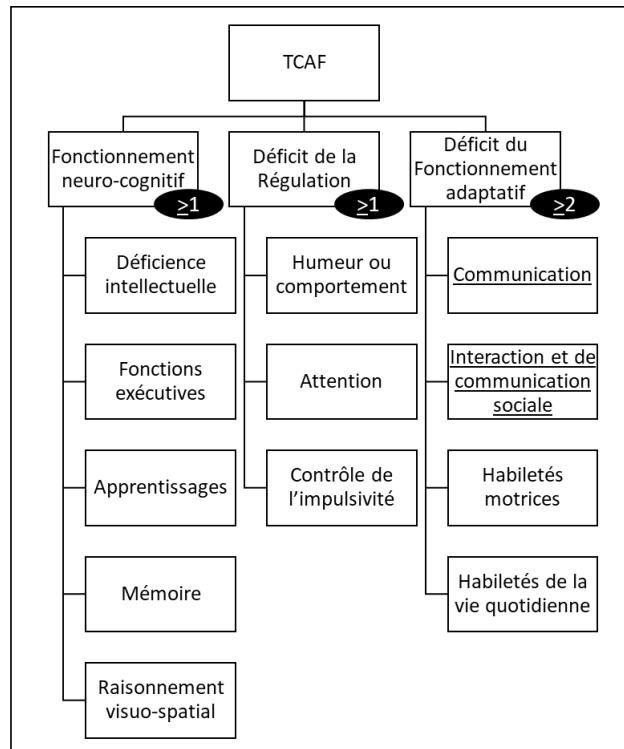


Figure 9. Critères diagnostiques du trouble neuro-développemental en contexte d'alcoolisation fœtale (TCAF, d'après Doyle & Mattson, 2015). Les éléments soulignés doivent obligatoirement figurer au tableau clinique.

Parmi les impacts sur le fonctionnement neuro-cognitif, la *baisse du QI* est un des résultats les plus fréquemment rapporté dans les études portant sur les effets de l'exposition prénatale à l'alcool (Mattson et al., 2011). Dans les formes les plus sévères sur le plan fonctionnel par une diminution de l'efficacité intellectuelle qui est de l'ordre de 20 points en moyenne dans les SAF et 1 à 15 dans les autres TCAF (Mattson et al. 2011). Le *dysfonctionnement exécutif* global est considéré par certains auteurs comme, sinon caractéristique, du moins prédominant dans le profil cognitif des porteurs de TCAF (Mattson et al., 1997 ; Mattson et al., 1999 ; Kingdon et al., 2016 ; Riley & McGee, 2005 ; Schonfeld et al., 2001). Ces difficultés diffuses seraient cependant plus marquées dans certaines sous-composantes exécutives. En effet, Khoury et al. (2015) ont conduit une méta-analyse de 46 études comparant les performances à des tâches exécutives d'enfants et d'adolescents avec TCAF à des pairs au développement neuro-typique. Les enfants et adolescents avec TCAF rencontraient des déficits significatifs des FE mais qui étaient plus marqués pour la flexibilité cognitive que pour l'inhibition et la mémoire de travail. Ces altérations semblent spécifiques au TCAF, puisqu'il est possible de distinguer les atteintes exécutives dans le cadre d'un TCAF de celles générées par un TDA/H. En effet, Kingdon et al. (2016) ont conduit une méta-analyse de 51 études comparant les performances exécutives d'enfants et d'adolescents avec TCAF ou

TADH avec des pairs au développement neuro-typique. Les enfants avec un TCAF montraient des déficits importants et consistants dans les épreuves de planification, de fluence verbale, et de flexibilité cognitive par rapport aux contrôles et aux enfants avec TDA/H. Les déficits en mémoire de travail étaient plus modérés et il n’y avait pas de différence entre les enfants avec TCAF et ceux avec TDA/H sur les mesures d’inhibition.

Si les déficits exécutifs semblent être un marqueur du TCAF, les patients peuvent présenter des altérations dans d’autres domaines spécifiques de la cognition (pour une revue, voir Mattson et al. 2019). Ainsi, les études rapportent des difficultés à maintenir un niveau d’attention soutenue (Kodituwakku, 2009 ; Nanson & Hiscock, 1990), notamment en modalité auditive (Coles et al., 2002 ; Connor et al., 1999 ; Mattson et al., 2006 ; Rasmussen et al., 2013). Cependant, cette capacité est altérée lorsque la tâche présentée à l’enfant combine le traitement d’une information auditive en lien avec d’autres FE telles que l’inhibition ou la flexibilité (Rasmussen et al., 2013). Des déficits langagiers, qui peuvent être liés à des difficultés en mémoire de travail, ont notamment été rapportés au niveau compétences syntaxiques et grammaticales (Carney & Chermak, 1991 ; Thorne, 2017). L’hippocampe est une structure très vulnérable à l’exposition à l’alcool pendant la période pré-natale, ce qui induit des réductions volumiques importantes (Lebel et al., 2011). Des déficits au niveau de la mémoire à long terme épisodique verbale sont donc fréquemment rapportés (Crocker et al., 2011 ; Kodituwakku, 2009 ; Mattson & Roebuck, 2002 ; Rasmussen et al., 2013 ; Willoughby et al., 2008), même après un contrôle statistique du QI (Lewis et al., 2015). Les déficits visuo-spatiaux et visuo-constructifs sont très peu documentés dans cette population, des déficits ayant été rapportés dans des tâches de visuo-construction de façon sporadique (Uecker & Nadel, 1996). L’ensemble de ces déficits cognitifs entraîneraient d’une part, des retentissements sur le plan scolaire (échecs scolaires multiples en lien avec des troubles des apprentissages se traduisant par une chute des performances allant parfois jusqu’à l’abandon) et d’autre part, des difficultés sur le plan social et émotionnel (Kodituwakku, 2007).

Les capacités de cognition sociale ne sont pas répertoriées en tant que telles dans les critères diagnostiques du TCAF proposés par Doyle et Mattson (2015) et les données de la littérature concernant ce domaine sont nettement moins nombreuses que dans les autres sphères de la cognition. Cependant, la description des capacités de cognition sociale pourrait être utile pour mieux comprendre les troubles du comportement et les difficultés d’interaction sociale fréquemment rencontrées dans cette population (Kodituwakku, 2007 ; Mattson et al., 2011). Greenbaum et al. (2009) ont constaté que les enfants atteints de TCAF âgés de 6 à 13 ans avaient

davantage de difficultés à identifier les émotions du visage et à prédire le comportement d'un protagoniste ainsi que l'expression faciale émotionnelle associée à une situation imagée concrète, par rapport aux enfants TDA/H et contrôles. Plus récemment, Lindinger et al., en 2016, ont administré des mesures de la théorie de l'esprit et de la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles à des enfants âgés de 9 à 11 ans avec TCAF, SAF partiel ou exposition à l'alcool en prénatal non syndromique ainsi qu'à des enfants contrôles non exposés à l'alcool. Les chercheurs ont mené cette étude auprès de 63 enfants âgés entre 9 et 11 ans. Les résultats obtenus suggèrent que les enfants avec TCAF et SAF partiel ont de moins bonnes performances comparativement aux enfants contrôles dans une tâche de théorie de l'esprit difficile, consistant à inférer l'état mental d'autrui sur la base uniquement de son regard (Reading the mind in the eyes Test, Baron-Cohen et al., 2001). Ce déficit spécifique était seulement partiellement influencé par le QI et pas par les capacités exécutives ni la présence d'un diagnostic de TDA/H. Les difficultés recensées en cognition sociale et notamment en théorie de l'esprit chez les enfants atteints de TCAF pourraient donc être spécifiques et contribuer à l'explication des nombreux problèmes de comportement social, de façon indépendante de l'atteinte cognitive générale. En effet, Quatellbaum et O'Connor (2013) ont montré que les difficultés de cognition sociale chez les enfants exposés à l'alcool en prénatal persistaient après contrôle du QI. En outre, Rasmussen et ses collaborateurs (2009), ont observé chez des enfants atteints de TCAF, âgés de 4 à 8 ans, qu'ils obtenaient des performances moins bonnes que celles des enfants contrôles sur les tâches de fausse croyance. Les chercheurs expliquent cette faible performance à la tâche de théorie de l'esprit par un déficit exécutif. Ils ont notamment conclu que le déficit en ToM serait attribué aux difficultés de contrôle inhibiteur. La co-existence de déficits de cognition sociale et des FE a été retrouvée à l'âge adulte et continuerait d'impacter fortement leur vie quotidienne (Rangmar et al., 2015).

---

**Apport expérimental : Cognition sociale chez des enfants et adolescents avec TCAF**

---

Communication associée : Lepoittevin J., Pinabiaux, C. Garzon, P., Leduc-Leballeur, J. Noulhiane, M. Voltzenlogel V. & Germanaud D. (2016). Cognition sociale : Explorer le fonctionnement mnésique et la perception des émotions chez l'enfant porteur de Troubles Causés par l'Alcoolisation Fœtale. 26ème congrès de la Société Française de Neurologie Pédiatrique, Lille, 20th-22th january 2016.

Objectifs : Evaluer la cognition sociale (théorie de l'esprit, reconnaissance des émotions faciales) chez des enfants et des adolescents ayant subi une exposition prénatale à l'alcool en prenant en compte l'influence de l'efficacité cognitive générale et les capacités mnésiques.

Apports principaux : Les enfants et adolescents avec TCAF présentent des déficits massifs en théorie de l'esprit et dans la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles. Cependant, ces difficultés ne seraient pas spécifiques mais en lien avec l'atteinte globale du fonctionnement cognitif causée par l'exposition prénatale à l'alcool. Des études de cas ont permis d'apporter une analyse clinique plus fine en dégagant des profils de patients.

---

En 2015/2016, nous avons réalisé une étude portant sur les capacités de cognition sociale chez 22 patients, âgés de  $10,67 \pm 2,92$  ans (âge minimum : 5,75 ans, et âge maximum : 15,17 ans, 10 filles et 12 garçons) avec un diagnostic de TCAF ou SAF, suivis au sein du service de neuro-pédiatrie au Centre Hospitalo-Universitaire (CHU) Robert Debré à Paris par le Dr. David Germanaud (Lepoittevin et al., 2016). Le diagnostic était posé à la suite d'une exclusion d'un syndrome de type X Fragile, d'une absence micro-remaniement chromosomique récurrent par kit MLPA (par exemple un syndrome de Di George (syndrome vélo-cardio-facial, 22q11) ou du syndrome de Williams-Beuren (7q11-23)). Les enfants étaient pour la grande majorité, issus de l'adoption et pour certains d'une même fratrie, et avaient pour origine des pays de l'Est de l'Europe ou encore des DOM TOM. En plus d'une évaluation psychométrique à l'aide de la WISC-V, la théorie de l'esprit<sup>15</sup> était évaluée avec une épreuve de la NEPSY-2. Le TREFE (Test de Reconnaissance des Expressions Faciales Emotionnelles pour Enfant ; Golouboff et al, 2008 ; Pinabiaux et al, 2013) a été administré pour l'évaluation des capacités de discrimination et de dénomination émotionnelles.

Tableau 2 : Résultats aux épreuves psychométriques et neuropsychologiques des patients avec TCAF.

		Moyenne (écart-type)	Min	Max	Valeur <i>t</i>	Valeur <i>p</i>
WISC-V	ICV (n=20)	82,05 (11,26)	66	108	-7,13	.000001
	IRP (n=18)	78,56 (12,57)	46	96	-7,24	.000001
	IMT (n=18)	70,83 (13,54)	50	97	-9,14	<.000001
	IVT (n=17)	77,65 (17,01)	45	106	-5,42	.000057
	QIT (n=20)	71,25 (13,06)	45	96	-9,85	<.000001
NEPSY-2	ToM verbale (n=22)	3,27 (1,88)	1	7	-1,81	.08
	ToM totale (n=20)	3,05 (1,73)	1	6	-2,45	.02
TREFE (n=22)	Appariement	-3,02 (4,43)	-14,40	1,66	-3,13	.005
	Dénomination	-2,12 (3,75)	-14,41	2,04	-2,59	.02
	Désignation	-2,30 (3,94)	-16,24	0,91	-2,67	.01

Les données sont exprimées en moyenne (écarts-types). Le nombre de participants diffère en fonction des indices car l'ensemble des épreuves n'a pas pu être administrée à tous les patients en raison de difficultés comportementales. Les variables dépendantes étaient les rangs percentiles (RP) de la théorie de l'esprit verbale (TdE verbale), et ceux de la totalité de l'épreuve (verbale + contextuelle : TdE totale). Ici, les RP ont été transformés en variable ordinale (rang percentile <2 = classe 1 ; rang percentile [2-5] = classe 2 ; rang percentile [6-10] = classe 3 ; rang percentile [11-25] = classe 4 ; rang percentile [26-

<sup>15</sup> L'épreuve de Théorie de l'Esprit de la Nepsy 2 (Korkman et al., 2012) comprend une série d'items évaluant l'aptitude à comprendre les états mentaux comme les fausses croyances, la tromperie, les émotions, ainsi que la distinction apparence / réalité, la compréhension du sens figuré et la reconnaissance des causes des émotions.

50] = classe 5 ; rang percentile [51-75] = classe 6 ; rang percentile >75 = classe 7), la moyenne correspondant au niveau 4 de l'échelle. Un test t de Student de comparaison à une norme ( $m=100$ ,  $ety=15$  pour les indices de la WISC-V,  $m=4$  pour les scores de théorie de l'esprit,  $m=0$  pour le TREFE) a été effectué.

Une analyse de variance portant sur les scores aux quatre indices de l'échelle d'efficacité intellectuelle permettait de faire ressortir un profil cognitif globalement hétérogène ( $F(3, 42)=2,94$ ,  $p=.044$ ), avec un IMT en moyenne plus faible que les autres indices ( $F(1, 14)=13$ ,  $p=.0028$ ). En revanche, il n'existait pas de dissociation visuo- verbale en moyenne ( $F(1, 14)>1$ ,  $p$  non significatif). Concernant les épreuves de ToM et le TREFE, les patients obtenaient des scores z en moyenne déficitaires pour toutes les tâches. Les analyses de variance menées sur les scores z moyens ne mettaient pas en évidence d'effet du type d'expression émotionnelle ni du type de tâche (facteurs intra-groupes, tous les  $p>.05$ ).

Afin de déterminer s'il y avait un lien entre le déficit mnésique et les capacités en cognition sociale chez les enfants avec TSAF, des corrélations non paramétriques de Spearman ( $p<.05$ ) ont été réalisées entre les différents scores du protocole. Ces analyses corrélationnelles ont fait ressortir un lien significatif ( $ps <.05$ ) entre le QIT et les scores de théorie de l'esprit verbale ( $r=.51$ ), de rappel libre ( $r=.47$ ) et de reconnaissance ( $r=.48$ ) en mémoire narrative, et de reconnaissance des expressions faciales émotionnelles (en appariement,  $r=.61$  ; en dénomination,  $r=.56$  ; et en désignation,  $r=.57$ ). De plus, les scores de l'ICV étaient significativement en lien avec la théorie de l'esprit verbale ( $r=.56$ ) et totale ( $r=.57$ ) ainsi qu'avec les trois tâches de l'épreuve du TREFE (en appariement,  $r=.48$  ; en dénomination,  $r=.66$  ; et en désignation,  $r=.50$ ). Enfin, l'IMT était corrélé de manière significative aux scores obtenus dans les deux modalités de l'épreuve de mémoire des prénoms (trois rappels immédiats,  $r=.48$  ; rappel différé,  $r=.60$ ) et donc à la note totale du test ( $r=.53$ ). Il y avait également un lien significatif entre l'IMT et la reconnaissance en mémoire narrative ( $r=.84$ ) ainsi qu'avec la note totale de théorie de l'esprit ( $r=.54$ ). En conclusion, les difficultés en théorie de l'esprit ne semblent pas spécifiques chez les enfants avec TCAF, mais seraient en lien avec l'atteinte cognitive globale.

Nous avons cherché à étudier avec une approche plus clinique la question de la spécificité des déficits en cognition sociale au moyen d'une étude de cas multiples et en incluant cette fois-ci des épreuves de FE. Six patients avec TCAF issus de la consultation de David Germanaud ont été inclus. Les caractéristiques démographiques, médicales et anamnestiques de ces patients sont présentées dans le tableau 3. Ces patients ont bénéficié d'une évaluation

neuropsychologique comprenant : une mesure de l'efficacité intellectuelle (WISC-V), des épreuves de FE (NEPSY-2 : Production de mots<sup>16</sup>, Inhibition<sup>17</sup>, Fluidité de dessins<sup>18</sup>, Catégorisation<sup>19</sup>, Attention Auditive et Réponses Associées<sup>20</sup> ; BADS-C : Test du zoo ; Blocs de Corsi<sup>21</sup> ; Barrage des soleils de Mesulam<sup>22</sup>) et de cognition sociale (NEPSY-2 : Reconnaissance d'Affects<sup>23</sup>, Théorie de l'Esprit). A noter que le protocole était adapté à l'âge du patient, ainsi certains tests ne sont pas adaptés à de jeunes enfants (5/6 ans) et inversement, certains sont normés jusqu'à l'âge de 12 ans. Les enfants et leurs parents étaient convoqués à l'hôpital Robert Debré pour une journée entière d'hospitalisation en Hôpital de Jour (HDJ). Le bilan durait en moyenne quatre heures.

---

<sup>16</sup> L'enfant doit donner le plus de mots possibles en 1 minute au sein de catégories sémantiques (animaux, aliments et boissons) puis littérales (mots commençant par F puis S).

<sup>17</sup> Ce subtest est composé de trois parties, qui sont chacune présentées avec 2 types de matériel (formes puis flèches). Dans la première partie, l'enfant doit dénommer les formes (carré ou rond) / le sens des flèches (en haut ou en bas) le plus rapidement possible. Dans la deuxième partie, on lui demande de dire l'inverse de ce qu'il / elle voit (e.g. dit « carré » lorsque tu vois un rond). Dans la troisième partie, l'enfant doit alterner entre les consignes de la première partie et de la seconde en fonction de la couleur (noire ou blanche respectivement) de la forme ou de la flèche. Les temps d'exécution et les erreurs autocorrigées ou non corrigées sont recueillis.

<sup>18</sup> Ce subtest évalue la capacité à générer des dessins tous différents à partir d'un ensemble de 5 points à relier et disposés de façon structurée ou non pendant un temps limité à 2 minutes.

<sup>19</sup> Ce subtest est une mesure de flexibilité cognitive. L'enfant doit procéder à des tris de cartes présentant des dessins d'animaux dans différents contextes selon des critères qu'il ou elle établit. Le nombre de catégories correctes trouvées et le nombre d'erreurs (catégorie non pertinente, persévérations) sont relevés.

<sup>20</sup> Ce subtest mesure l'attention auditive sélective et soutenue et dans la seconde partie l'inhibition. Dans la première partie, l'enfant doit réagir à une cible auditive (toucher le rond rouge lorsqu'il ou elle entend « rouge » lors de l'écoute d'un enregistrement diffusant un mot par seconde pendant 180 secondes). Dans la seconde partie (Réponses Associées), l'enfant doit s'adapter à une consigne contradictoire et inhiber le pattern précédent (toucher le rond rouge lorsqu'il ou elle entend « jaune », et inversement, et toucher le rond bleu lorsqu'il ou elle entend « bleu »). Les erreurs d'omission et d'inhibition sont relevées.

<sup>21</sup> Cette épreuve mesure la composante visuo-spatiale de la mémoire de travail et permet d'obtenir une mesure d'empan endroit et envers. Elle consiste à reproduire, dans le même ordre ou en ordre inverse, une séquence de mouvements de pointage de séries croissantes de cubes parmi 9 disposés sur une planche (Fournier & Albaret, 2013).

<sup>22</sup> Dans la première partie, l'enfant doit rechercher la cible (un soleil barré) parmi les distracteurs (qui varient dans leur ressemblance physique avec la cible) disposés de manière aléatoire sur la feuille. Il est demandé à l'enfant de travailler le plus rapidement possible, sans limitation temporelle. Dans la seconde partie, le matériel et les consignes sont identiques mais les figures sont présentées en lignes structurées (Mesulam, 1985).

<sup>23</sup> Ce subtest évalue la capacité à discriminer les émotions de peur, joie, tristesse, colère et neutralité exprimées par des visages d'enfants. L'épreuve n'implique pas de réponse verbale afin de limiter les effets de langage, mais la labellisation des émotions aide à la réussite de la tâche.

Tableau 3 : Caractéristiques médicales et démographiques des 6 patients de l'étude de cas multiples.

Patient	Sexe	Âge (Année, mois)	Âge et lieu d'adoption	Diagnostic	Morphologie faciale	Données staturo-pondérales	EPA	Développement psychomoteur	Scolarité et PEC	Comportement
D.D.	M	14 ; 5	16 mois Russie	TCAF	Fentes palpébrales étroites Lèvre supérieure et philtrum de finesse intermédiaire	Retard de croissance jusqu'à 1 an Microcéphalie légère (-1,5 ds)	Forte probabilité (alcoolisme de la mère biologique)	Pas de retard, difficulté de motricité fine, lenteur	3 <sup>ème</sup> Difficultés d'apprentissage	Impulsivité, crises de colère, difficultés à maintenir les relations amicales
M.L.	F	13 ; 6	6 ans Russie	TCAF	Prognathisme net, lèvre supérieure fine, philtrum court, petits yeux	Microcéphalie légère (-1 ds)	Forte probabilité (alcoolisme de la mère biologique)	Mention d'un « retard mental léger » dans le dossier d'adoption	5 <sup>ème</sup> Ulis Orthophonie	Difficultés à maintenir les relations amicales
A.A.	F	6 ; 5	20 mois Russie	SAF partiel	Fentes palpébrales étroites, philtrum modérément émoussée, lèvre supérieure légèrement fine	Microcéphalie modérée (-2,5 ds)	Forte probabilité (alcoolisme de la mère biologique)	Pas de retard psychomoteur avéré	CP Orthophonie	Hyperkinésie
M.M.	M	6 ; 9	5 ans Russie	SAF	Fentes palpébrales étroites, philtrum émoussé, lèvre supérieure fine, épicanthus	Microcéphalie modérée (-2 ds)	Forte probabilité d'exposition à l'alcool en pré-natal (alcoolisme de la mère)	Pas de données avant 5 ans Difficultés de motricité fine retard dans l'acquisition du langage	GSM Retard dans les acquisitions	Hyperkinésie



					marqué et discrète antéversion nasale		biologique)	Propreté nocturne non acquise		
S.V.	F	10 ; 2	5 mois France (adoption par l'oncle paternel)	SAF	Fentes palpébrales étroites, philtrum court, lèvre supérieure fine	Microcéphalie légère (-1 ds)	Exposition avérée à l'alcool en pré-natal (alcoolisme de la mère biologique)	Retard dans l'acquisition du langage Hypoacousie bilatérale importante appareillée en fin de CP	CM1 avec AVS Dyslexie	Hyperkinésie et difficultés comportementales avec agressivité
L.R.	M	14 ; 8	4 ans Russie	TCAF	Fentes palpébrales étroites, lèvre supérieure un peu fine, philtrum un peu court	Microcéphalie modérée (-2 ds)	Forte probabilité d'exposition à l'alcool en pré-natal (alcoolisme de la mère biologique)	Premières années de vie non documentées Pas de difficultés à l'arrivée en France	4 <sup>ème</sup> Redoublement du CE1 (retard d'acquisition de la lecture)	Pas de difficultés rapportées

EPA= Exposition Prénatale à l'Alcool ; PEC= Prise en Charge ; Ulis = Unité Localisée pour l'Inclusion Scolaire ; GSM = Grande Section de Maternelle ; AVS = Auxiliaire de Vie Scolaire

Les six patients de l'étude présentaient une atteinte de leur fonctionnement cognitif plus ou moins marquée et différenciée selon les cas (les résultats individuels à l'échelle d'efficacité sont présentés dans la figure 10). Trois patients avec TCAF ou SAF partiel (D.D., L.R. et A.A.) présentaient une efficacité intellectuelle dans la norme avec un profil neurocognitif comparable s'exprimant différemment en fonction de l'âge. Chez les deux adolescents (D.D. et L.R.), les troubles concernent de façon spécifique le contrôle inhibiteur, l'attention auditive soutenue et la mémoire de travail auditivo-verbale. Chez la patiente A.A, plus jeune (6 ans) les troubles sont plus bruyants au niveau comportemental avec une hyperkinésie associée au déficit d'attention soutenue. Deux patients avec SAF (S.V. et M.M) se caractérisaient par une efficacité intellectuelle située dans la zone normale faible. Une hyperkinésie ainsi que de l'impulsivité sont retrouvées chez les deux enfants, associé à un déficit de l'attention. Les performances sont en deçà de la norme, concernant le domaine verbal, exécutif, en mémoire de travail et en perception sociale. Enfin, M.L. (TCAF) était la seule patiente à présenter une déficience intellectuelle légère, avec une atteinte de l'ensemble des domaines cognitifs évalués dans le bilan. Les domaines de l'attention, des FE, mais aussi de la perception sociale et du verbal sont nettement déficitaires. Si un axe de sévérité semble se dégager concernant l'efficacité intellectuelle, il apparaît surtout que les FE sont impactées dans l'ensemble des cas, et l'indice de mémoire de travail constitue d'ailleurs systématiquement le point faible de l'efficacité cognitive (cf. figure 10). D'un point de vue de la pratique neuropsychologique, il semble donc essentiel de cibler ces fonctions lors de l'évaluation en contexte de suspicion d'exposition prénatale à l'alcool. Il est cependant difficile de faire un lien entre la sévérité du diagnostic médical (SAF, SAF partiel ou TCAF) et la sévérité de l'atteinte neurocognitive. En effet, en raison de l'histoire familiale de ces patients, les premières années de vie sont rarement documentées, et les conditions de vie prénatale sont inconnues. Le recueil des données anamnestiques est donc extrêmement compliqué et l'exposition prénatale à l'alcool est souvent inférée à partir des éléments souvent pauvres du dossier d'adoption.

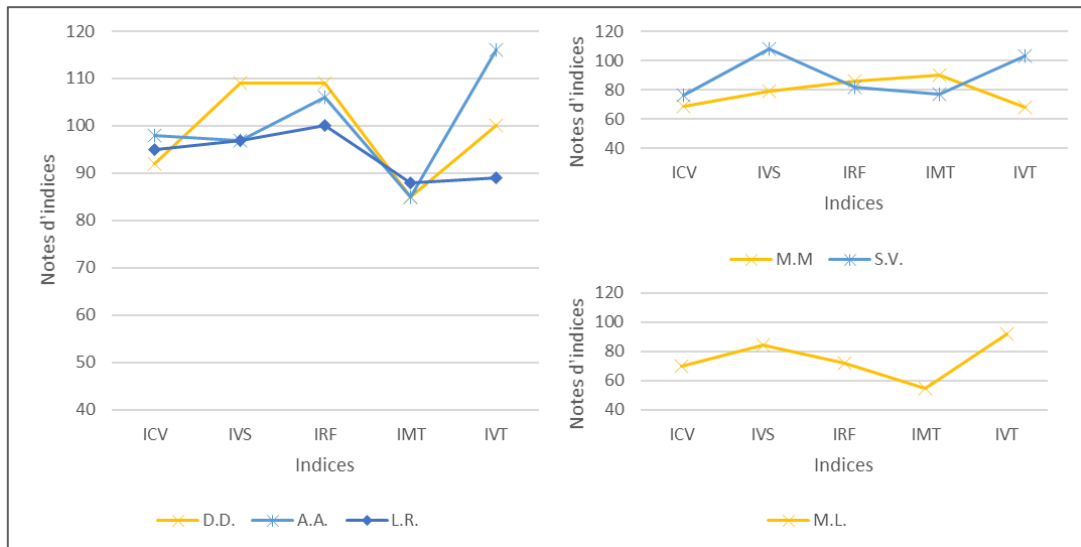


Figure 10. Notes d'indices obtenues à la WISC-V (WPPSI-IV pour M.M.) pour les 6 patients regroupés selon leur profil neuro-cognitif.

ICV : Indice de Compréhension Verbale, IVS : Indice de Raisonnement Visuo-Spatial, IRF : Indice de Raisonnement Fluide, IMT : Indice de Mémoire de Travail, IVT : Indice de Vitesse de Traitement.

## 2.2. Plasticité cérébrale, fonctions exécutives et cognition sociale

Les recherches neuropsychologiques menées auprès des enfants et adolescents présentant un facteur de risque lié à des pathologies périnatales (Calderon et al., 2013 ; Calderon et al. 2014) ou une exposition prénatale à l'alcool (Lepoittevin et al. 2018) mettaient en avant la vulnérabilité du cerveau dans ses stades précoces de développement et l'impact sur le développement ultérieur des FE et de la cognition sociale. Cependant, en d'autres circonstances, la remarquable capacité plastique des réseaux cérébraux à se réorganiser consécutivement à une lésion cérébrale, même importante, peut également être mise en avant en neuropsychologie développementale. Parmi ces circonstances, la situation des patients vivant avec un seul hémisphère constitue une occasion unique d'étudier la plasticité cérébrale et la latéralisation des fonctions cognitives.

J'ai ainsi eu l'occasion de travailler en collaboration avec l'équipe de neurochirurgie pédiatrique de la Fondation Adolphe de Rothschild à Paris dans le cadre de la thèse de Jessica Save-Pédebos, neuropsychologue, portant sur le devenir d'enfant ayant subi une hémisphérotomie et encadrée par le Professeur Isabelle Jambaqué-Aubourg (Professeur en Neuropsychologie, Laboratoire Mémoire, Cerveau & Cognition, Université de Paris) et

Christine Bulteau (Neuropédiatre, Fondation Adolphe et Rothschild). L'hémisphérotomie<sup>24</sup> est une procédure chirurgicale consistant en une déconnexion complète d'un hémisphère cérébral et proposée en cas d'épilepsie pharmaco-résistante causée par des lésions unilatérales extensives, acquises (encéphalite de Rasmussen, accidents vasculaires cérébraux) ou congénitales (malformations, syndrome de Struge-Weber). Cette technique opératoire conduit à une disparition des crises dans 52 à 80% des cas, et à une amélioration du pronostic neuro-cognitif, de l'autonomie et de la qualité de vie (Delalande et al., 2007). De nombreuses études ont permis de mettre en avant la capacité du cerveau à récupérer un langage fonctionnel après une hémisphérotomie gauche, grâce à une réorganisation fonctionnelle des réseaux langagiers vers des régions controlatérales homologues (Hertz-Pannier et al, 2002 ; Liégeois et al., 2010 ; Vargha-Khadem et al., 1997). Cependant, peu d'études ont étudié l'impact des hémisphérotomies sur le langage non seulement d'un point de vue structurel (phonologie, lexique et syntaxe) mais aussi comme outil de communication. Quelques cas isolés de patients présentant des déficits de la cognition sociale après hémisphérectomie droite avaient alors été décrits dans la littérature (Caplan et al., 1999 ; Fournier et al., 2008). Ces études de cas mettaient donc en avant le rôle prépondérant de l'hémisphère droit dans le fonctionnement socio-cognitif et les limitations de l'hémisphère gauche pour prendre en charge ces aspects. Compte-tenu des études qui avait été menées jusqu'alors, une des volontés développées dans le travail de thèse de Jessica Save-Pédebos a alors été de s'intéresser à l'impact d'hémisphérotomies gauches et droites sur des aspects sociaux du langage, afin d'observer les possibilités de réorganisation controlatérale (Save-Pédebos et al., 2016).

Nous nous sommes donc focalisés sur les aspects pragmatiques du langage qui concernent l'interprétation et l'utilisation appropriée du langage en relation avec le contexte dans lequel il apparaît (Bishop, 2003). Ces aspects englobent la communication non littérale (métaphores, formes idiomatiques, ironie...) et les principes inférentiels qui permettent l'accès à l'intention communicative du locuteur (Bernicot, 2000). Des déficits de la pragmatique du langage se traduisent alors par une incapacité à utiliser le langage de façon appropriée dans un contexte donné, et ont été classiquement rapportés chez des patients atteints de troubles du spectre autistique ou d'épilepsie (Broeders et al., 2010 ; Lew et al., 2015). En complément de notre intérêt pour les aspects pragmatiques du langage et afin d'avoir une vision plus globale des compétences de cognition sociale, nous avons également évalué les capacités de traitement

---

<sup>24</sup> En fonction de la procédure chirurgicale, il est possible de parler d'hémisphérectomie (résection complète d'un hémisphère) ou d'hémisphérotomie (isolation fonctionnelle avec maintien de l'hémisphère dans la boîte crânienne). Environ 100 opérations de ce type sont réalisées chaque année dans le monde, dont 10 à 15 à Paris.

des visages et des expressions faciales émotionnelles. En effet, à l'époque de notre investigation, peu d'études avaient rapporté les performances de patients ayant subi une hémisphérectomie et toutes étaient des études de cas ou études de cas multiples. Strauss et Verity (1983) ont montré la présence de déficit dans le traitement de visages non familiers (Benton test, Benton & Van Allen, 1968) et la reconnaissance d'expressions faciales émotionnelles (Ekman test, Ekman & Friesen, 1976) chez 4 patients âgés entre 12 et 34 ans avec hémisphérectomie droite (n=2) ou gauche (n=2). Mariotti et al. (1998) ont décrit le cas d'une jeune femme de 20 ans ayant subi une hémisphérectomie gauche à l'âge de 3 ans qui présentait un déficit massif dans le traitement des visages malgré une préservation des capacités basiques d'exploration et de reconnaissance visuelles. Immordino-Yang (2007) rapporte le cas de deux patients avec hémisphérectomie droite ou gauche (âgés de 11 et 18 ans, avec une opération à 3 et 11 ans respectivement) qui obtenaient des scores corrects au test de reconnaissance des expressions faciales d'Ekman seulement pour approximativement deux tiers des items, avec des difficultés nettement marquées pour reconnaître l'expression de dégoût.

---

**[Apport expérimental] Fonctions exécutives et cognition sociale chez des enfants avec hémisphérotomie**

---

Publication associée : Save-Pédebos, J., **Pinabiaux, C.**, Dorfmueller, G., Sorbets, S. F., Delalande, O., Jambaqué, I., & Bulteau, C. (2016). The development of pragmatic skills in children after hemispherotomy: Contribution from left and right hemispheres. *Epilepsy & Behavior: E&B*, 55, 139-145.

Communication associée : **Pinabiaux, C.**, Save, J., Dorfmueller, G., Bulteau, C., & Jambaqué, I. (2016). Facial identity and emotional facial expressions processing after left or right functional hemispherectomy in 40 children. Joint meeting of the British Neuropsychological Society with Société de Neuropsychologie de Langue Française, London, 17th-18th March 2016.

Objectifs : Evaluer les conséquences à long terme d'une hémisphérotomie gauche ou droite pratiquée de façon précoce (avant 18 mois) ou plus tardive (après 18 mois) sur les compétences exécutives et de pragmatique du langage de façon écologique, ainsi que sur la reconnaissance de visages et d'expressions faciales émotionnelles.

Apports principaux : Nous avons pu réaliser la première étude de groupe démontrant l'existence de troubles de la pragmatique du langage chez ce type de patients. Ces déficits sont différents en fonction de l'âge et du côté de la chirurgie et sont partiellement corrélés avec les troubles exécutifs. Les patients présentaient également des déficits prononcés dans le traitement des visages et des expressions faciales émotionnelles, notamment en cas d'hémisphérotomie droite. Ces résultats sont utiles pour mieux comprendre la spécialisation hémisphérique et la plasticité cérébrale au cours du développement.

---

Jessica Save-Pédebos a réalisé une évaluation neuropsychologique auprès de 40 enfants et adolescents (23 filles) âgés de 7 à 16 ans (âge moyen = 12,8 ± 2,6 ans) ayant subi une hémisphérotomie (24 gauches / 19 droites) recrutés au sein du service de neurochirurgie

pédiatrique de la Fondation Adolphe de Rothschild (cf. Encadré n°4). Tous les patients étaient évalués au minimum un an après la chirurgie, ils étaient tous libres de crise sans médicaments anti-épileptiques (classe 1 de la classification des suites chirurgicales de Engel) et présentaient un langage fonctionnel dans la vie quotidienne. Nous avons choisi de distinguer dans l'analyse des résultats les patients ayant subi l'intervention de façon précoce avant 18 mois (moyenne d'âge =  $7,2 \pm 4,8$  mois ; [4 mois ; 1 an 2 mois]), dans la période prélinguistique (9 hémisphérotomies gauches / 5 hémisphérotomies droites) et ceux ayant subi l'intervention après l'acquisition du langage (moyenne d'âge =  $7,8 \pm 3,7$  ans ; [2 ans 2 mois ; 13 ans 11 mois] ; 15 hémisphérotomies gauches / 14 hémisphérotomies droites).

#### **Encadré n° 4 – Caractéristiques étiologiques des patients avec hémisphérotomie**

Les 40 patients inclus ont tous bénéficié d'une hémisphérotomie parasagittale verticale pour le traitement d'un syndrome épileptique pharmaco-résistant à la Fondation Adolphe de Rothschild à Paris. L'épilepsie pouvait être causée par :

- une *encéphalite de Rasmussen* : forme rare d'inflammation du cerveau qui apparaît habituellement entre l'âge de 6 et 10 ans. Les crises ont un point de départ généralement latéralisé et évoluent vers un état mal épileptiques partiel accompagné de crises motrices partielles répétitives. L'évolution de la maladie s'accompagne d'une atrophie hémisphérique, d'une perte motrices controlatérale et de troubles de langage en cas d'atteinte de l'hémisphère gauche.

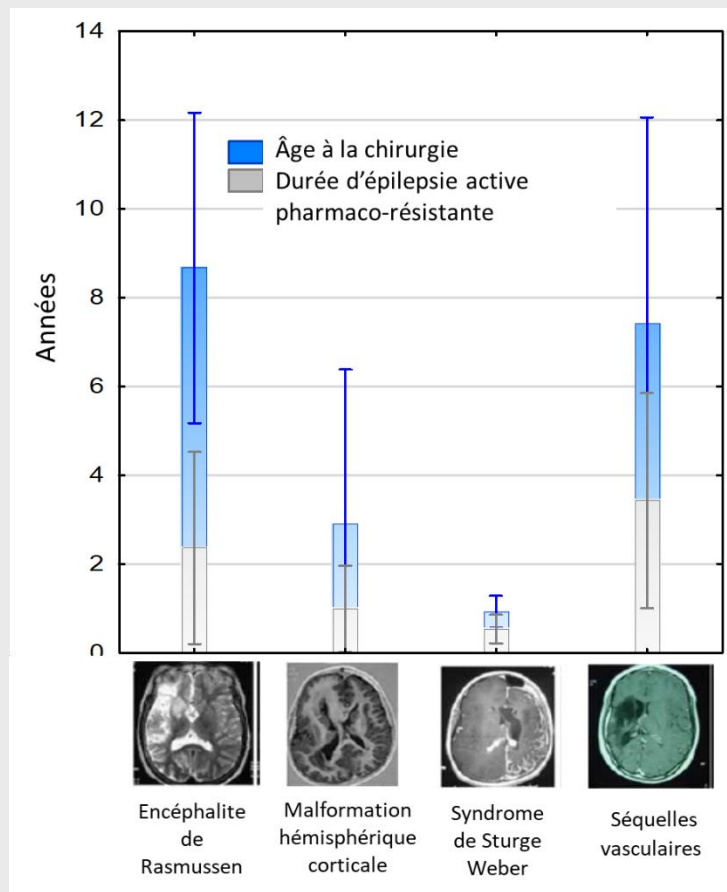
- des *malformations hémisphériques* : malformations corticales unilatérales constituées pendant l'embryogénèse, qui comprennent des troubles de la prolifération neuronales et gliales (e.g. sclérose tubéreuse de Bourneville), des troubles de la migration neuronale (e.g. hétérotopies) ou des troubles de l'organisation neuronale (e.g. polymicrogyrie), et qui peuvent être responsables d'épilepsie.

- un *syndrome de Surge-Weber* : appelé également angiomatose encéphalo-trijémisée, ce syndrome associe un angiome facial congénital, un angiome leptoméningé et un angiome choroïdien. Il s'agit d'une maladie rare, dont la majorité des cas a été répertoriée au Maroc. Le mode de révélation le plus fréquent est l'épilepsie, souvent précoce et sévère, avec des crises motrices partielles de l'hémicorps controlatéral.

- des *séquelles ischémiques* : les signes d'accident vasculaire cérébral ischémique présumé périnatal ne se manifestent qu'après plusieurs mois ou années par une déficience motrice, un trouble du développement ou des crises d'épilepsie. Hormis certaines circonstances bien identifiées (méningite, cardiopathie, diathèse hémorragique, etc.), le mécanisme déclencheur des accidents vasculaires périnataux reste souvent indéterminé.

La répartition des étiologies était la suivante :

	Hémisphérotomie gauche		Hémisphérotomie droite	
	Avant 18 mois	Après 18 mois	Avant 18 mois	Après 18 mois
Encéphalite de Rasmussen n=13	-	n=11	-	n=2
Malformation hémisphérique n=14	n=5	n=2	n=4	n=3
Syndrome de Sturge-Weber n=4	n=3	-	n=1	-
Séquelles ischémiques n=9	n=1	n=2	-	n=6



Le graphique ci-dessus illustre les différences entre les étiologies en termes de durée de l'épilepsie et d'âge à la chirurgie. En raison des caractéristiques intrinsèques à ces étiologies, les patients avec encéphalite de Rasmussen et séquelles vasculaires se caractérisaient par une durée d'épilepsie pharmaco-résistante plus longue et un âge plus tardif de la chirurgie que les patients avec une malformation hémisphérique corticale ou un syndrome de Sturge-Weber.

Les aspects structurels du langage (phonologie, lexique, syntaxe sur le versant réceptif et expressif) ont été évalués au moyen de la BILO<sup>25</sup> et les aspects pragmatiques du langage ont été évalués avec la version française de la CCC<sup>26</sup>. La capacité de traitement des visages a été évaluée avec la version courte du test de reconnaissance faciale de Benton<sup>27</sup> (Benton & Van Allen, 1968) et la capacité de reconnaissance des expressions faciales émotionnelles avec le TREFE (Golouboff et al., 2008 ; Calderon et al., 2013). Les FE ont été évaluées avec la BRIEF (Gioia et al., 2000 ; Fournet et al., 2015). Les résultats concernant le langage et les FE ont été valorisés dans un article paru dans une revue internationale à comité de lecture (Save-Pédebos et al., 2016), tandis que les résultats portant sur le traitement des visages et des expressions ont fait l'objet d'une communication orale dans un congrès international (Pinabiaux et al., 2016).

Concernant le langage, 48% des patients présentaient un trouble structurel du langage touchant la compréhension syntaxique et 40% des patients présentaient un trouble de la pragmatique du langage. Les aspects structurels du langage n'étaient pas influencés par le côté de l'hémisphérotomie ni par l'âge au moment de la chirurgie. En revanche, nous avons démontré l'existence d'une interaction entre ces deux variables sur le score de pragmatique du langage (cf. figure 11). Au total, 82% des patients avec une hémisphérectomie droite après 18 mois et 78% des patients avec une hémisphérotomie gauche avant 18 mois présentaient un déficit de la pragmatique, contre seulement 20% en cas d'hémisphérotomie droite avant 18 mois et aucun en cas d'hémisphérotomie gauche après 18 mois. Cette étude était la première à démontrer l'existence de ces déficits chez des patients vivant avec un seul hémisphère et témoigne du rôle clé de l'hémisphère droit dans le développement des capacités pragmatiques du langage, en généralisant les conclusions des études de cas de la littérature (Caplan et al., 1996 ; Fournier et al., 2008) à un échantillon de 40 patients.

---

<sup>25</sup> Bilan Informatisé du Langage Oral (Khomsy et al., 2007)

<sup>26</sup> Children's Communication Checklist (Bishop, 2003). La CCC est un questionnaire comportant 70 items à destination des parents d'enfants âgés de 6 à 16 ans. Le score général de pragmatique est composé de 5 dimensions : initiations inappropriées, cohérence, conversation stéréotypée, utilisation du contexte, rapport conversationnel. Quatre autres dimensions évaluent le langage structurel (parole et syntaxe) et des traits autistiques (relation sociale et intérêts).

<sup>27</sup> Cette épreuve mesure la capacité à appairer des visages neutres non familiers présentés selon différentes conditions d'éclairage et d'orientation. La version courte est composée de 16 essais. Le test ne propose pas d'étalonnage développemental mais un score attendu pour l'âge est fourni. Dans nos analyses, nous avons utilisé la différence entre le score brut et le score attendu comme un indicateur relatif des capacités des patients. Afin de déterminer si les performances des patients pouvaient être jugées comme déficitaires, nous avons utilisé les données issues d'un échantillon de 15 enfants et adolescents typiques âgés de 8 à 17 ans pour calculer des scores-z (Tehrani-Doost et al., 2012). Nous avons obtenu une corrélation très forte entre le score différentiel et les scores-z ( $r=.91$  ;  $ddl=38$  ;  $p<.0001$ ).



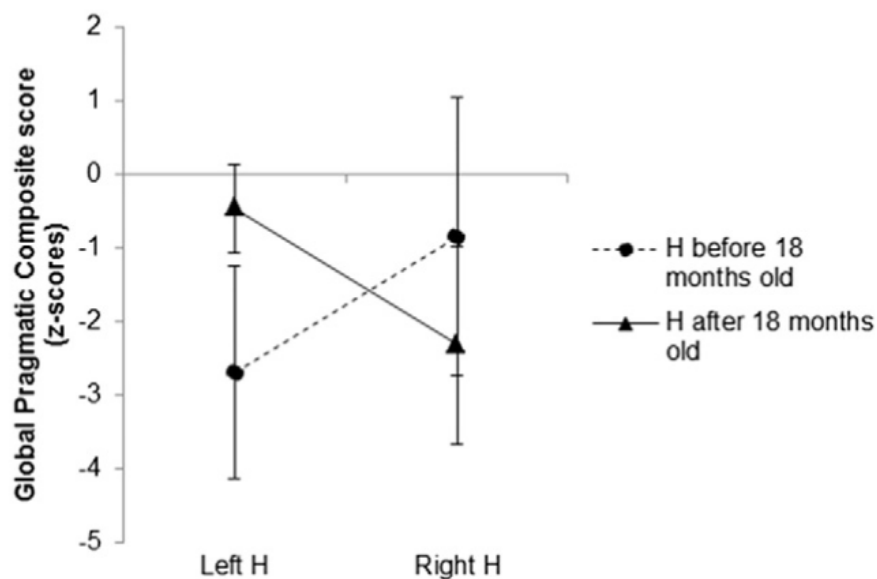


Figure 11. Interaction entre le côté de l'hémisphérotomie et l'âge de la chirurgie sur le score général composite de pragmatique du langage de la CCC ( $F(1,36)=17,48$  ;  $p=.0002$  ;  $\eta^2$  partiel=.33 ;  $IC_{95\%}=3,90-40,20$ ). H = hémisphérotomie.

Deux principales théories concernant le développement de la pragmatique du langage s'opposent. D'une part, certains auteurs mettent en avant le rôle de la spécialisation hémisphérique droite pour le traitement visuo-spatial qui serait requis pour s'adapter au contexte et pour comprendre les implications conversationnelles (e.g. Siegal et al., 1996). D'autre part, la mise en avant des effets du développement cognitif du langage structurel conjointement à celui des FE (e.g. Martin & McDonald, 2003). Notre étude étaye l'hypothèse que le développement de la pragmatique du langage requière dans un premier temps la contribution d'aspects structurels du langage supportés par l'hémisphère gauche, puis pourrait être soutenu par le développement de capacités non verbales prises en charge par l'hémisphère droit. L'absence de déficit de la pragmatique du langage dans les groupes avec hémisphérotomie gauche après 18 mois et avec hémisphérotomie droite avant 18 mois est en faveur de cette hypothèse. Les patients ayant subi une hémisphérotomie gauche en période pré-linguistique et qui présentent massivement des déficits de la pragmatique seraient eux en situation de « surcharge » de leur hémisphère droit résiduel. En effet, la priorité serait donnée au développement des compétences structurelles du langage au détriment des fonctions initialement prise en charge par l'hémisphère droit. Après 18 mois en revanche, une

hémiphérotomie droite aurait des conséquences plus délétères car les fonctions pragmatiques non verbales devraient être pris en charge par un hémisphère gauche déjà spécialisé pour la prise en charge des aspects structurels du langage.

Les performances en pragmatique étaient en partie corrélées aux FE mesurées avec la BRIEF. Nous retrouvons une interaction entre le côté de l'hémiphérotomie et l'âge à la chirurgie pour l'index de régulation comportementale de la BRIEF ( $F(1,36)=5,80$  ;  $p=.021$  ;  $\eta^2$  partiel=.14 ;  $IC95\%=0,061-19,62$ ) mais pas pour l'index de métacognition ( $F(1,36)=2,90$  ;  $p=.097$ ). Les patients ayant subi une hémiphérotomie gauche avant 18 mois et ceux ayant subi une hémiphérotomie droite après 18 mois présentaient plus de difficultés pour réguler leur comportement (inhibition des réponses inappropriées, contrôle émotionnel, flexibilité, contrôle comportemental) que les autres groupes de patients.

Concernant les aspects non verbaux, la comparaison des performances des patients avec la norme aux tests de reconnaissance des visages et des expressions émotionnelles montrait l'existence de déficits prononcés dans les deux types de tâches. Les patients avec une hémiphérotomie droite avaient globalement plus de difficultés à traiter les visages non familiers ( $m=-1.62 \pm 1.36$ ) que ceux avec une hémiphérotomie gauche ( $m=-0.76 \pm 1.61$ ) au test de Benton ( $t(38)=2.20$ ;  $p=.034$ ), ce qui souligne la spécialisation de l'hémisphère droit pour le traitement de ce type de stimuli sociaux. Les patients avec une hémiphérotomie droite présentaient également plus de difficultés à traiter les expressions faciales de dégoût ( $t(38)=2.20$ ;  $p=.034$ ) et de joie ( $t(34)=2.11$ ;  $p=.043$ ) que les patients avec une hémiphérotomie gauche dans une tâche d'appariement d'expressions faciales émotionnelles (cf. figure 12).

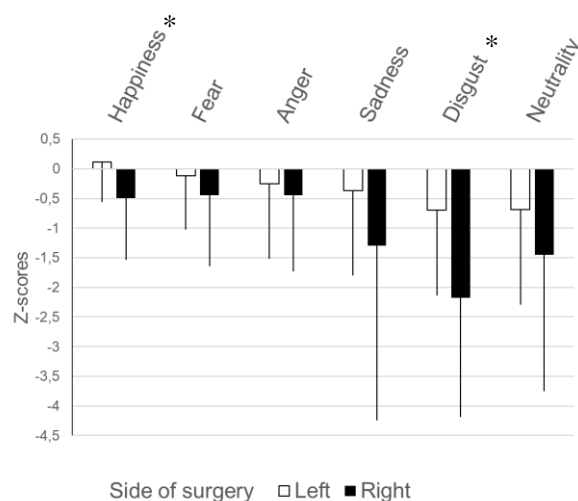


Figure 12. Ecarts à la norme (scores z) des patients avec hémiphérotomie droite (en noir) ou gauche (en blanc) à la tâche d'appariement d'expressions faciales émotionnelles. \* $p<.05$

Nos résultats étaient ainsi congruents avec une implication de l'hémisphère droit dans le traitement de l'identité faciale et des expressions faciales émotionnelles, avec une plasticité limitée de l'hémisphère gauche dans la prise en charge de ces fonctions. Ces observations sont en accord avec la théorie de la dominance droite pour le traitement des stimuli émotionnels (Demaree et al., 2005) déjà mise en avant par le passé au cours d'études chez des patients adultes avec lésions hémisphériques droites plus focales (e.g. Adolphs et al., 1996), un syndrome de déconnexion hémisphérique (e.g. Benowitz et al., 1983) ou des études en électrophysiologie (e.g. Kestenbaum & Nelson, 1992). Néanmoins, dans notre étude, les patients avec une hémisphérotomie gauche présentaient également des déficits, même s'ils étaient moins marqués que chez les patients avec hémisphérotomie droite. A nouveau, cela est concordant avec un effet de surcharge lié au fait que le langage resterait la fonction prioritaire lors de la ré-organisation fonctionnelle suivant la chirurgie.

### **2.3. Perspectives**

Cette première partie des travaux menés met en avant que les troubles des FE et de la cognition sociale peuvent co-exister dans le cas de pathologies entraînant un dysfonctionnement cérébral plus ou moins précoce. L'approche adoptée était alors exploratoire, il serait intéressant par la suite de développer des projets de recherche dans des troubles neurodéveloppementaux qui constituent un modèle pour l'étude des FE, et dans lesquels les troubles de la cognition sociale sont mal systématisés, tels que le TDA/H. Je proposerai dans la Partie II un projet de recherche qui s'inscrit dans cette perspective.



**D**ans cette partie, j’aborderai une partie de mon travail qui a concerné le lien entre les FE et l’apprentissage auto-régulé. Ce champ de recherche était peu exploré en 2015, et a émergé de la volonté de mieux comprendre les influences réciproques de ces deux concepts, issus respectivement de la neuropsychologie et de la psychologie de l’éducation, et dont les définitions sont relativement proches. Cet état de fait a eu un impact sur la valorisation, puisque la publication de travaux menés dans des champs disciplinaires distincts est compliquée. Dans un premier temps, je situerai l’implication des fonctions exécutives dans le contexte des apprentissages scolaires, avant de présenter le concept d’apprentissage auto-régulé. Plusieurs apports expérimentaux, réalisés dans le cadre d’une co-direction de thèse seront présentés. Ce travail nous a permis de développer un inventaire d’apprentissages auto-régulés chez l’enfant, d’explorer leurs liens avec les FE et de mettre en place un programme d’entraînement à l’apprentissage auto-régulé chez des lycéens. Les implications et les limites de ces études seront discutées.

### **3. Fonctions exécutives et apprentissages scolaires : l’apprentissage auto-régulé**

#### **3.1. Implication des FE dans les apprentissages scolaires**

Une définition simple de l’apprentissage consiste à l’envisager comme l’acquisition et la mémorisation de connaissances. Néanmoins, ce concept peut être précisé à la lumière des différentes théories qui l’abordent.

La notion d’apprentissage a d’abord été débattue d’un point de vue philosophique par les courants empiristes – qui accorde une place à l’expérience et au stockage d’information sensoriel – au rationalisme – qui postule que l’apprentissage résulte d’une réflexion interne propre à l’individu (Bedin & Fournier, 2014). De ces courants philosophiques ont émergé des conceptions psychologiques de l’apprentissage telles que le fonctionnalisme, le behaviorisme, le gestaltisme, le cognitivisme, le constructivisme et le socioconstructivisme (Bourgeois & Chapelle, 2011). Chacun de ces courants présente la particularité de définir à sa manière le concept d’apprentissage. De nos jours les grands modèles théoriques de l’apprentissage

suscitent moins d'intérêt. Une importance particulière est donnée aux aspects spécifiques de l'apprentissage qui ne serait plus étudié comme un concept isolé mais en inter-corrélation avec d'autres.

De ce fait, ces dernières années, une attention accrue a été portée aux FE dans le domaine des apprentissages scolaires, en particulier lors de la période de 3 à 6 ans qui s'avère critique pour le développement des composantes exécutives telles que l'inhibition et la MDT (Diamond, 2016). Les capacités sont alors prédictives de la réussite scolaire future. En effet, les enfants de maternelle qui obtiennent les meilleurs scores à des mesures standardisées des FE, sont ensuite plus performants dans les tâches scolaires dès la première année de primaire (e.g. Blair et al., 2014). De plus, les enfants entrant à l'école primaire avec de bonnes capacités en FE ont davantage de facilité à apprendre à lire, à écrire et à compter (Diamond, 2016). Les capacités d'inhibition mesurées en maternelle prédiraient quant à elles les capacités de résolution de problèmes ultérieures (Senn et al., 2004). La capacité d'inhibition est également impliquée dans la lecture (e.g., De Beni et al., 1998; Gernsbacher, 1993), la compréhension (Dempster & Corkhill, 1999), l'acquisition de vocabulaire (Dempster & Cooney, 1982), et les mathématiques (e.g., Espy et al., 2004). La flexibilité est associée avec les compétences en écritures (Hooper et al., 2002) et en arithmétique (e.g., Bull & Scerif, 2001). Enfin, plusieurs études ont démontré la relation entre les performances en MDT et les capacités en lecture (e.g., De Jong, 1998 ; Siegel & Ryan, 1989 ; Swanson, 1993), de compréhension (e.g., Daneman & Carpenter, 1980) et d'arithmétique (voir DeStefano & LeFevre, 2004, pour une revue).

Une récente méta-analyse menée par Cortés Pascual et al (2019) a permis de synthétiser les résultats de 21 études portant sur les liens entre FE et les performances scolaires entre 6 et 12 ans. Cette synthèse supporte la théorie selon laquelle les FE, et en particulier la mémoire de travail, ont une plus grande influence sur les mathématiques que sur les autres apprentissages scolaires. Dans une tentative d'approche intégrative, St Clair-Thompson et Gathercole (2006) évoquent quant à elles l'hypothèse selon laquelle l'inhibition supporterait plus les apprentissages académiques d'une manière générale que des habiletés dans des domaines spécifiques. En accord avec cette hypothèse, Olivier Houdé (2000) a mis en lumière l'importance des capacités d'inhibition dans les compétences scolaires évaluées par une tâche classique piagétienne. Cette tâche consiste à montrer aux enfants deux lignes composées du même nombre de jetons et à leur demander si les deux rangées présentent le même nombre de jetons. Dans un premier temps, les jetons sont présentés en correspondance puis les jetons d'une des deux rangées sont écartés. Lors de la deuxième présentation, un enfant n'ayant pas atteint

l'âge de 6-7 ans, pense généralement qu'il y a plus de jetons dans la rangée la plus longue (là où les jetons sont écartés). Cette épreuve génère chez l'enfant un conflit perceptivo-cognitif. La difficulté tient au fait que deux stratégies, une heuristique visuo-spatiale « longueur-égale-nombre » et un algorithme de comptage entrent en compétition. Cependant, pour réussir la tâche piagétienne, l'enfant doit inhiber l'heuristique « longueur-égale-nombre » qui lui est familière et qui se révèle souvent efficace. Houdé (2000) remarque que certaines erreurs des enfants (penser notamment que la longueur est égale au nombre) sont dues à la précipitation vers une réponse automatique. Le contrôle inhibiteur serait alors une capacité cognitive capitale qui permettrait de ne pas activer certaines réponses routinières, non adaptées et donner une réponse moins automatique. Cette importance des capacités d'inhibition pour contrer les pièges perceptifs mettant en conflit deux stratégies a été confirmée avec des données en neuroimagerie fonctionnelle chez des enfants âgés entre 5 et 10 ans (Houdé et al., 2011). En effet, la réussite à la tâche piagétienne de conservation du nombre implique un réseau de neurones situés dans le cortex pariéto-frontal bilatéral, connu pour être engagé à la fois dans les activités numériques, d'inhibition et de mémoire de travail.

L'implication des FE dans les apprentissages scolaires est également documentée en neuropsychologie développementale. En effet, un dysfonctionnement exécutif aura des répercussions sur les fonctions instrumentales (langage, praxie) et des apprentissages scolaires (Borella et al., 2010 ; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). En lecture par exemple, un défaut de flexibilité mentale rend difficile le passage de la procédure d'assemblage à la procédure d'adressage<sup>28</sup> (Boulc'h, Gaux & Boujon, 2007). A l'écrit, une perturbation des FE se manifeste généralement par une grande lenteur de production, de nombreuses ratures et de fréquents retours en arrière, une désorganisation dans la prise de note et une pauvreté du récit (Mazeau et al., 2021). En mathématiques, un défaut de flexibilité mentale favorisera les persévérations sur des stratégies de résolutions non efficaces. Selon Andersson (2008), les performances à des tests de flexibilité (e.g. TMT, empan de chiffres, fluences), prédisent les performances en arithmétiques indépendamment du niveau de lecture, de l'âge et du QI. Lors de la résolution d'un problème des erreurs de calcul sont fréquentes en raison de difficultés d'inhibition et d'une faible rétention des informations en mémoire de travail. A cela s'ajoute

---

<sup>28</sup> La procédure d'assemblage, ou voie indirecte, est utilisée lors de l'apprentissage de la lecture, de la lecture de mots nouveaux, noms propres ou non-mots et repose sur la conversion systématique des graphèmes en phonèmes avant l'accès au lexique mentale. La procédure d'adressage ou voie directe, est utilisée par les lecteurs experts, qui ont constitué un lexique orthographique suffisant pour accéder directement à la reconnaissance des mots familiers réguliers ou irréguliers et à leur signification.

des difficultés dans la planification des différentes étapes pour résoudre le problème ainsi qu'une difficulté à trouver et sélectionner différentes stratégies de résolution due à un manque de flexibilité mentale (Mazeau et al., 2021).

Bien qu'il n'y ait que peu d'études sur le sujet, les FE seraient également impliquées dans la réalisation d'études supérieures. Elles interviendraient particulièrement dans la planification des stratégies pour préparer un examen ainsi que dans la gestion du temps (Petersen et al., 2006). Ces compétences sont essentielles pour permettre à l'apprenant de réguler ses apprentissages.

### **3.2. Comment évaluer l'apprentissage auto-régulé chez l'enfant ?**

La psychologie de l'éducation a forgé le concept d'apprentissage autorégulé dans lequel l'apprenant est considéré comme actif et contrôlant son apprentissage. Les premiers articles et modèles s'intéressant spécifiquement à l'apprentissage autorégulé sont apparus à la fin des années 80. En trente ans, pas moins de six modèles de l'apprentissage autorégulé chez l'adulte ont vu le jour (pour une revue de la littérature voir Panadero, 2017 et Puustinen & Pulkkinen, 2001). Chacun de ces modèles présente des particularités et accentue la réflexion sur une facette de l'apprentissage autorégulé (e.g. Boekaerts & Cascallar, 2006 ; Winne, 1996 ; Efklides, 2011 ; Zimmerman, 2002 ; Pintrich, 2004 ; Hadwin et al., 2010 ; Panadero & Järvelä, 2015).

Parmi ces modèles, ceux de Zimmerman (2002) et de Pintrich (2004) postulent une distinction franche entre trois ou quatre phases d'apprentissage se succédant et se répétant dans l'apprentissage suivant. La première étape est une phase de préparation lors de laquelle les apprenants, seuls ou en groupe, analysent la tâche, se fixent un ou des objectifs d'apprentissage et planifient leurs actions. Pendant le temps d'apprentissage, les apprenants supervisent l'avancée de leur travail et adaptent, si nécessaire, leurs stratégies. Ces deux processus de monitoring et de contrôle de l'exécution sont différenciés dans le modèle de Pintrich (2004) tandis qu'elles ne le sont pas dans le modèle de Zimmerman (2002) et correspondent à une seule et même phase. La dernière étape survient à l'issue de l'apprentissage. Elle consiste en une phase réflexive durant laquelle les apprenants évaluent le déroulement d'un premier apprentissage puis choisissent de modifier ou non leurs stratégies lors d'un apprentissage ultérieur. Ce découpage en trois phases facilite la mise en place d'interventions centrées sur l'un de ces processus (e.g. monitoring ou fixation des objectifs).

Globalement, les définitions des concepts de FE et d'apprentissage auto-régulé ont beaucoup en commun : elles font appel à la notion d'un système de supervision qui permet à l'individu de progresser vers un objectif fixé. Dans un article théorique, Roebbers (2017) met en avant certaines situations lors desquelles les FE seraient liées à l'apprentissage autorégulé et à l'autorégulation en général : par exemple, un lycéen qui préférerait passer du temps sur les réseaux sociaux plutôt que réviser aura du mal à résister à la distraction des notifications sur son smartphone, un élève avec de faibles capacités en MDT aura des difficultés à maintenir l'objectif ou des sous-objectifs à atteindre. Malgré la proximité conceptuelle entre les FE et l'apprentissage auto-régulé, peu d'études ont été menées sur les liens entre ces deux concepts. Des corrélations positives entre les FE et l'apprentissage autorégulé ont pu être ainsi rapportées (Garner, 2009 ; Effeney et al., 2013). Dans ces études néanmoins, les mesures de FE étaient réalisées de façon indirecte, à l'aide de questionnaires qui mettaient en avant des jugements personnels plutôt que l'efficacité des processus exécutifs de façon objective à l'aide de tests neuropsychologiques (Fuhs et al., 2015; Toplak et al., 2013). A notre connaissance seuls Follmer et Sperling (2016) ont utilisé à la fois des mesures indirectes et directes des FE pour étudier leurs liens avec l'apprentissage auto-régulé et la métacognition. Ces auteurs ont montré que le lien entre apprentissage auto-régulé et FE était médiatisé par la métacognition, et suggèrent que les FE constituent un pré-requis à la mise en place d'une auto-régulation des apprentissages. Dans cette étude cependant, les mesures des FE se limitaient à une tâche de fluence verbale et catégorielle (Harrison et al., 2000) et une tâche nécessitant d'alterner additions et soustractions (Miyake et al., 2000), dont les scores ont été combinés pour obtenir un score composite de FE. Cette première approche directe manquait donc de précision en termes des composantes exécutives mesurées, de plus, aucune mesure de MDT ou de distinction dans les processus inhibiteur n'était proposée. Cela revêt une importance particulière dans une problématique développementale dès lors que, comme nous l'avons évoqué, les trajectoires de développement des FE diffèrent selon leur niveau de complexité.

**Encadré n°5 – Compensation par l'apprentissage autorégulé de difficultés exécutives chez les apprenants**

Dans ce travail, les FE étaient évaluées à l'aide de tests neuropsychologiques (mesures directes) et l'apprentissage autorégulé par le biais d'échelles auto-rapportées (mesures indirectes). La première étude a permis d'investiguer les relations entre la flexibilité mentale, l'inhibition d'une réponse automatique, la planification et l'apprentissage autorégulé. Dans la seconde étude, nous nous sommes focalisés sur les liens entre l'apprentissage autorégulé et trois mécanismes inhibiteurs : inhibition d'une réponse automatique, inhibition de la réponse à un distracteur et résistance à l'interférence proactive. Contrairement aux précédentes recherches dans ce domaine, nous n'avons pas observé de corrélations positives entre les FE et l'apprentissage autorégulé. Les



relations observées témoignaient que les étudiants présentant des petites faiblesses exécutives utilisaient davantage que leurs pairs des stratégies d'autorégulation. Par exemple, des difficultés de flexibilité mentale étaient liées au recours à plus de concertations collectives pour changer de méthodes d'apprentissage ( $r = .36$  ;  $p < .01$ ) ainsi qu'une mise en place plus fréquente du suivi de l'apprentissage par la tenue de journaux individuels. Cette utilisation de stratégies d'autorégulation pourrait jouer un rôle de compensation des faiblesses exécutives.

Communication associée : Laurent, P., Fenouillet, F., **Pinabiaux, C.**, & de Montalembert, M. (2015). Compensation par l'apprentissage autorégulé de difficultés exécutives chez les apprenants. *Journée d'hiver de la Société de Neuropsychologie de Langue Française*, Paris, 4 décembre 2015.

Afin d'approfondir l'étude du lien entre FE et apprentissage auto-régulé et dans une perspective d'application développementale, Marie de Montalembert, Fabien Fenouillet et moi-même avons coordonné deux recherches d'étudiants inscrits en Licence 1 (Laurent, Fenouillet, Pinabiaux, & de Montalembert, 2015 ; cf. Encadré n°5). A la suite de cette première investigation chez le jeune adulte en situation d'apprentissage, nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux liens entre FE et apprentissage auto-régulé chez l'enfant et chez l'adolescent. J'ai ainsi co-dirigé le travail de thèse de Pauline Laurent réalisée entre 2015 et 2020 en co-direction avec Fabien Fenouillet, Professeur de Psychologie Cognitive à l'Université Paris Nanterre (au sein du laboratoire commun de rattachement CHArt-EA4004 au moment de la thèse). Nous avons obtenu un contrat doctoral au concours de l'ED 139 pour financer ce doctorat qui a été soutenu en décembre 2020.

**Apport expérimental : Création et validation d'un questionnaire mesurant l'apprentissage auto-régulé chez l'enfant d'âge scolaire**

Publication associée : Laurent, P., **Pinabiaux, C.**, Lorant S, Masson J., Chauvin, R. & Fenouillet, F. (in prep). Self-regulated learning in childhood: specificities and tool.

Objectifs : Explorer les caractéristiques de la régulation des apprentissages par les élèves en fin d'élémentaire, avant leur entrée dans le secondaire où la demande d'autonomie sera plus importante. La première partie de l'étude a permis de recueillir, par des interviews, la perception que les enfants ont de leurs apprentissages et de leur façon de le contrôler. Dans un second temps, l'analyse des verbalisations a pu être utilisée afin de construire un outil permettant d'évaluer les capacités auto-rapportées d'apprentissage autorégulé sans focalisation sur une activité particulière. La construction de cet outil a permis de plus, au moyen d'analyses factorielles et de modèles d'équations structurelles, de tester l'adéquation des modèles adultes chez l'enfant et éventuellement de proposer un modèle plus adapté à cette population.

Principaux apports : Création et validation de l'Inventaire de l'Apprentissage Autorégulé chez l'Enfant (IAAE), mise à jour d'un modèle en deux phases de l'apprentissage autorégulé (préparation et exécution) et d'une stratégie indépendante d'hétérorégulation chez l'enfant de CM1-CM2.

Dans le cadre de la thèse de Pauline Laurent, un premier objectif a été d'explorer les caractéristiques de la régulation des apprentissages par les élèves en fin d'élémentaire, avant leur entrée dans le secondaire où la demande d'autonomie sera plus importante. Nous nous demandions comment les enfants perçoivent leurs capacités à réguler les apprentissages, s'ils mettent en place certains comportements régulateurs et s'ils ont conscience de cette régulation. La première difficulté à laquelle nous avons été confrontés est qu'il existe très peu d'outils qui visent la mesure des capacités d'apprentissage auto-régulé chez l'enfant. Par exemple, Vandeveld et al. (2013) ont développé une échelle auto-rapportée sur l'apprentissage autorégulé au moment des devoirs, destinée aux élèves néerlandais de CM2 et 6<sup>em</sup> (Children's Perceived use of Self-Regulated Learning Inventory [CP-SRLI<sup>29</sup>]). Afin de pallier le manque d'outil en langue française et de prise en considération du point de vue des élèves, nous avons dans un premier temps effectué une analyse qualitative de verbalisations à partir d'un entretien semi-structuré mené auprès de 16 élèves scolarisés dans deux écoles publiques d'Ile-de-France (50% de filles ; 50% d'élèves de CM1). Ces entretiens individuels avaient pour but de comprendre comment les enfants gèrent leurs apprentissages, seuls ou avec autrui (pairs et/ou adultes).

Un scénario présentant un enfant confronté à des difficultés scolaires et qui demande de l'aide à son/sa meilleur(e) copain/copine était lu aux enfants : « Aujourd'hui, Julie (Maxence dans la version pour les garçons) en a plus qu'assez ! Elle est souvent la dernière à terminer son exercice en classe, et elle trouve difficile de répondre aux questions des contrôles, même si elle a appris sa leçon. Elle aimerait beaucoup que cette situation change, elle aimerait apprendre comme ses copines. Mais d'ailleurs, comment s'y prennent-elles pour apprendre ? A la récréation suivante, Julie a pris une grande décision. Elle va demander à sa meilleure copine si elle peut lui donner des conseils pour mieux apprendre. » Il était ensuite demandé aux enfants d'imaginer qu'ils étaient ce/cette meilleur(e) ami(e) et de nous expliquer comment ils pourraient aider ou conseiller leur ami(e). Dans un premier temps, nous laissons l'enfant s'exprimer librement tout en encourageant ses verbalisations. Quand l'enfant s'arrêtait ou ne donnait plus d'informations nouvelles, des questions ouvertes inspirées du modèle de Zimmerman étaient proposées (i.e. « Avant de commencer à apprendre, à quoi penses-tu ? »).

---

<sup>29</sup> La construction de l'échelle est basée sur le modèle de Pintrich (2004) à neuf composantes correspondant à quatre phases d'apprentissage (i.e. orientation des buts, planification, motivation, auto-efficacité à réguler ses apprentissages, monitoring, stratégies d'apprentissage, persévérance, stratégies motivationnelles, et autoévaluation).

Les enregistrements des verbalisations des enfants ont été retranscrits et analysés par trois juges (deux étudiants de Master 1 et Pauline Laurent sous la supervision de Fabien Fenouillet et Charlotte Pinabiaux). Un travail de concertation a permis de mettre en évidence sept catégories de réponses : la planification, la structuration de l'environnement, la fixation des buts/objectifs, la volition, les méthodes de travail, le contrôle de l'exécution et l'hétérorégulation (cf. Annexe I pour des exemples de verbalisations appartenant à chaque catégories).

Dans un second temps, l'analyse des verbalisations a pu être utilisée afin de construire un outil permettant d'évaluer les capacités auto-rapportées d'apprentissage auto-régulé sans focalisation sur une activité particulière. La construction de cet outil a reposé sur des analyses factorielles exploratoires et des modélisations en équations structurelles ont permis de tester l'adéquation de l'autorégulation des apprentissages chez l'enfant à différents modèles théoriques dont le modèle cyclique en trois phases développé par Zimmerman (2002). En nous appuyant sur les catégories issues des verbalisations, nous avons créé 159 items (9 à 49 items par catégories) en conservant le vocabulaire utilisé par les enfants au cours des entretiens. Le contenu de notre échelle a été vérifié et validé par quatre chercheurs travaillant dans le domaine des sciences de l'éducation et des sciences psychologiques, et plus particulièrement sur l'apprentissage autorégulé. De plus, deux professeurs des écoles enseignant en CM1 et en CM2 ont évalué la clarté et l'adéquation de chaque item au niveau de langage des enfants. Ces items ont été présentés à 10 autres enfants (50% de filles, 50% de CM1) afin d'évaluer s'ils étaient adaptés au niveau de compréhension de lecture des enfants. Trente items avec une réponse sur une échelle de Likert en 5 points (de 1 [jamais] à 5 [tout le temps]) ont été conservés dans l'Inventaire d'Autorégulation des Apprentissages par l'Enfant (IAAE, cf. Annexe II). Une échelle de mensonge issue de l'échelle révisée d'anxiété manifeste pour enfants et adolescents (R-CMAS ; Reynolds & Richmond, 1999) a été ajoutée afin de limiter les biais liés à la désirabilité sociale. L'échelle IAAE a été administrée à 381 enfants (47,9% de filles ;  $\mu_{\text{âge}} = 9,42$  ;  $\sigma_{\text{âge}} = 0,86$ ) scolarisés en CM1 (49,3%), CM2 (43,6%) ou double niveau CM1/CM2 (7,1%). L'analyse factorielle finale avec rotation oblique démontre une solution factorielle avec cinq facteurs latents en conservant 24 items, en accord avec le nombre de facteurs retenus par l'analyse parallèle et explique 54,94% de la variance totale (cf. Annexe III). L'ensemble des facteurs présentent une consistance interne de bonne qualité avec des alphas de Cronbach situés entre .69 et .86. Au sein de chacune des dimensions, nous observons des corrélations faibles à fortes

entre les items ( $r = .16$  à  $r = .67$ ). Les corrélations les plus faibles sont trouvées dans la dimension difficultés volitionnelles.

Des modèles en équations structurelles ont ensuite été testés auprès de 385 élèves (43,5% de filles ;  $\mu_{\text{âge}} = 9,51$  ;  $\sigma_{\text{âge}} = 0,80$ ) scolarisés en CM1 (43,5%), CM2 (51,3%) ou double niveau (5,2%), afin d'évaluer le niveau d'adéquation de différents modèles théoriques avec la structure des données. Ainsi, nous avons effectué plusieurs modélisations en équations structurelles pour comparer 4 modèles (tableau 4) :

- Modèle à 1 facteur : l'ensemble des dimensions extraites sont intégrés dans un seul facteur, l'apprentissage autorégulé.
- Modèle à 3 facteurs : un facteur de préparation englobe les items des dimensions anticipation et fixation des buts, un facteur de performance contient les items des dimensions volition et contrôle de l'exécution et un dernier facteur correspond à la dimension hétérorégulation.
- Modèle à 5 facteurs : un facteur par dimension (anticipation, fixation de bits, contrôle de l'exécution, difficultés volitionnelles, hétérorégulation).
- Modèle à 7 facteurs : Un facteur de préparation influence les dimensions anticipation et fixation des buts, un facteur de performance influence les facteurs volition et contrôle de l'exécution et le facteur hétérorégulation agit sur la préparation et la performance.

Tableau 4. Indicateurs d'ajustements et de parcimonie des modèles testés

Modèle	$\chi^2$	df	RMSEA (IC 90%)	SRMR	CFI	TLI	AIC	BIC
1 fact	2329.66	252	.0104(.100 .108)	.091	.599	.561	56076.415	56410.580
3 fact	1507.862	249	0.081(.077 .085)	.083	.757	.731	55260.616	55608.705
5 fact	556.995	242	.041(.037 .046)	.043	.939	.931	54323.749	54704.326
7 fact	632.032	248	.045(.041 .049)	.057	.926	.917	54386.786	54739.516

Fact = facteur(s) ; df = degrés de libertés ; RMSEA = Root Mean Square Error of Approximation ; IC = Intervalle de Confiance ; SRMR = Standardized Root Mean Square Residual ; CFI = Comparative Fit Index ; TLI = Tucker–Lewis Index ; AIC = Akaike Information criterion ; BIC = Bayesian Information Criterion.

La comparaison des modèles indique que c'est le modèle à 5 facteurs qui s'ajuste le mieux aux données. Néanmoins, le modèle en 7 facteurs s'ajuste lui aussi assez bien aux

données (cf. figure 13). Il semble donc possible d'envisager un modèle d'autorégulation en deux phases successives (préparation et performance) chez les enfants. Le modèle en 7 facteurs B avec une étape d'hétérorégulation qui influencerait la phase de préparation s'ajuste moins bien.

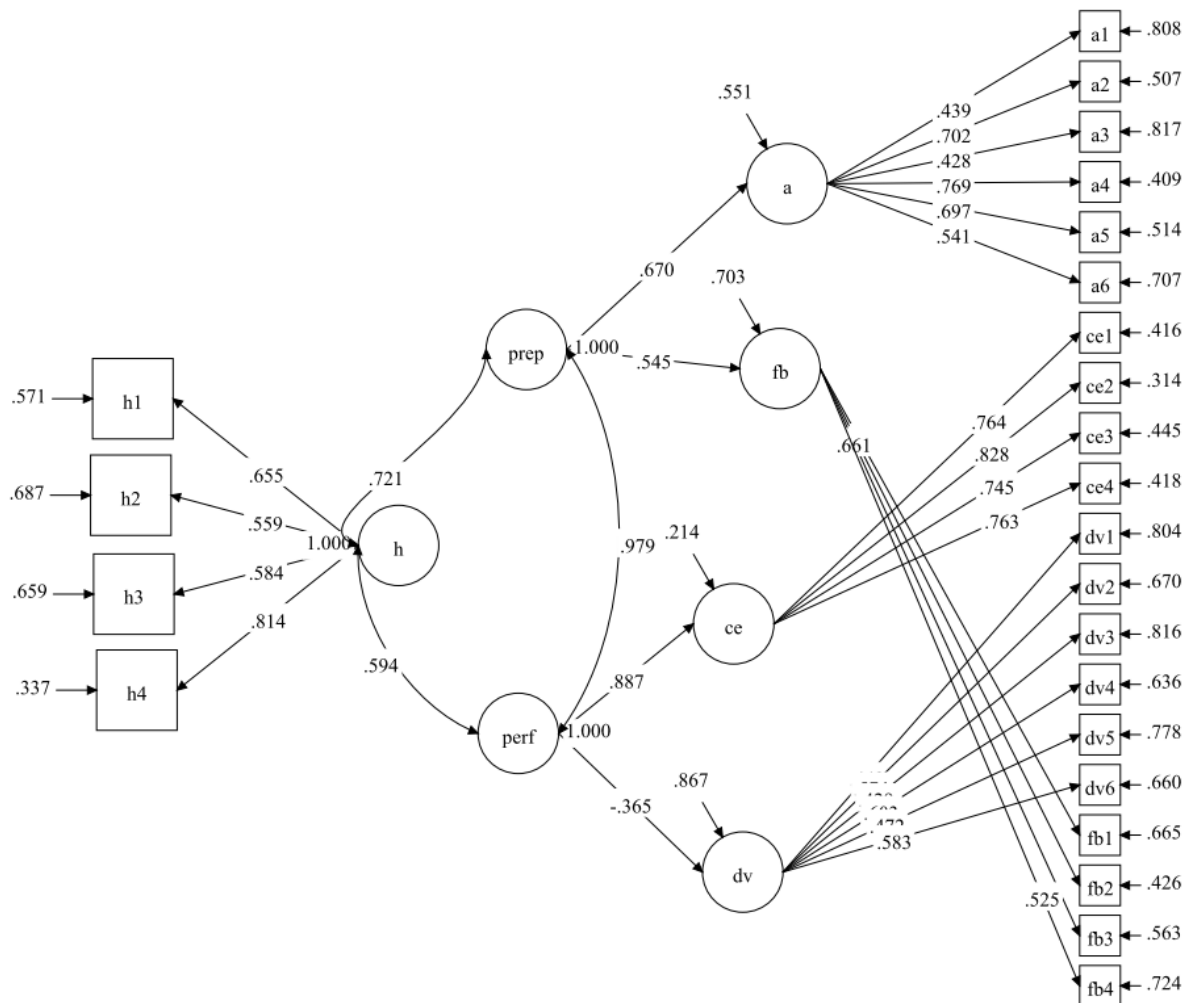


Figure 13. Modèle en 7 facteurs. Les flèches représentent les pourcentages de variance expliqués par les items (e.g. a1, a2, ...), et par les facteurs (a = anticipation ; fb = fixation des buts ce = contrôle de l'exécution ; dv = difficultés volitionnelles ; h = hétérorégulation ; prep = préparation ; perf = performance). Dans ce modèle, un facteur de préparation influence les dimensions anticipation et fixation des buts, un facteur de performance influence les facteurs volition et contrôle de l'exécution et le facteur hétérorégulation agit sur la préparation et la performance.

Les données recueillies au cours de cette deuxième phase ont été également l'occasion de vérifier les qualités psychométriques de l'échelle créée. La consistance interne de l'échelle peut être jugée comme satisfaisante aux vues des valeurs des alphas de Cronbach > 70. L'échelle possède également une bonne stabilité temporelle cinq mois après la première

passation (n=96 ;  $r = .55, p < .001$ ). La validité concourante convergente et divergente a été évaluée aux moyens d'analyses corrélationnelles : l'échelle est fortement corrélée à la *Metacognitive Assessment Inventory*<sup>30</sup> (n=73 ;  $r = .61, p < .001$ ) mais ne présente aucune corrélation significative avec le subtest dénomination du K-ABC II<sup>31</sup> (n=73 ;  $p < .05$ ).

Même si l'objectif de ce travail était en premier lieu d'ordre psychométrique, il nous a permis de réaliser des observations sur la façon dont des enfants en fin de cycle d'études élémentaires peuvent utiliser 5 stratégies d'autorégulation de leurs apprentissages au cours de deux phases. La phase de préparation comprend :

- *L'anticipation des apprentissages* qui apparaît comme la nécessité de se mettre dans un état de concentration propice aux apprentissages et à la prévision des questions pouvant être posées par l'enseignant. Contrairement au modèle prévalant chez l'adulte (Zimmerman, 2002), cette dimension n'inclut pas de stratégie de fixation des buts, qui constitue une dimension à part entière de notre échelle.
- *La fixation des buts* qui concerne soit le court terme (e.g. « Il peut la revoir pour savoir très très bien et avoir de bonnes notes ») soit le long terme (e.g. « Pour qu'il ait un métier plus tard, pour qu'il passe les classes »). Ces objectifs s'apparentent essentiellement à des buts de performance et non d'apprentissage (Dweck & Leggett, 1988), et plutôt focalisés sur l'évitement de conséquences négatives (e.g. mauvaise note, punition).

La phase d'exécution comprend :

- *Le contrôle de l'exécution* qui consiste principalement en des stratégies de répétition de l'information visant à mémoriser une leçon et vérifier son apprentissage. Comparativement au modèle prévalant chez l'adulte (Zimmerman, 2002), la principale différence observée est que cette dimension se distingue de la gestion volitionnelle des apprentissages.
- La dimension de *difficultés volitionnelles* qui correspond à des difficultés à maintenir les efforts sur la durée (e.g. « je vais m'y mettre, je vais commencer [...] mais après j'ai un

---

<sup>30</sup> La *Metacognitive Assessment Inventory Junior* (Sperling et al., 2002) évalue les capacités de métacognition des enfants à l'aide de douze items (e.g. « Je sais quand j'ai compris quelque chose »). Chaque item est mesuré sur une échelle de Likert en 3 points allant de 1 (jamais) à 3 (toujours). Le temps moyen pour compléter cette échelle était de 5 minutes.

<sup>31</sup>Le subtest dénomination du K-ABC II (Kaufman & Kaufman, 2004) évalue la capacité des enfants à nommer une image. Le test est constitué de 41 images représentant des objets, des parties du corps ou des animaux. Les enfants devaient nommer chaque image qui leur était présentée. Leur réponse était cotée 1 ou 0 point et nous interrompions la passation si un enfant échouait à quatre items consécutifs.

truc qui vient et qui me dit j'ai pas envie d'apprendre, j'ai la flemme ») et face à l'adversité (e.g. « je vais essayer de la faire [nouvelle technique] mais je vais relâcher vite parce que ça va mettre du temps »). Les difficultés sont ici liées au contrôle des processus internes (e.g. item 7 : « Quand le travail est trop dur, je m'énerve. »), et surtout lors du travail à la maison où le contrôle volitionnel de l'activité devient primordial (Cosnefroy, 2010). En effet, à la maison, l'apprenant se trouve seul face à son travail sans être guidé par un expert tel que l'enseignant. Il doit s'organiser, gérer son temps, résister aux distractions et contrôler ses processus de manière autonome. Ce fonctionnement s'oppose au rythme contraint de la classe où l'enseignant accompagne les élèves dans le maintien de leurs efforts et de leur attention, et dans la mise en place de leurs processus cognitifs.

Enfin, une stratégie indépendante et nouvelle est apparue :

- *L'hétérorégulation* est une dimension nouvelle par rapport aux modèles d'apprentissage autorégulé chez l'adulte. Cette dimension permet de prendre en compte l'aide apportée par autrui dans la régulation des apprentissages par l'enfant. Leur demande d'aide est particulièrement axée sur la vérification de leurs connaissances en répondant à des questions posées par l'adulte (e.g. « Tu demandes à tes parents de te faire apprendre tes leçons » ou « Devant mon frère ou ma sœur, par exemple mon frère il prend la feuille [...], s'il voit que j'ai pas très bien appris... tu dois relire, réapprendre »). Ainsi, les enfants ressentiraient peut-être plus de difficulté à évaluer leur apprentissage que leurs aînés et se tourneraient donc vers des personnes plus « expertes » pouvant leur dire s'ils doivent continuer à apprendre ou s'ils peuvent arrêter leur activité d'apprentissage.

Nous n'avons pas retrouvé d'éléments en lien avec une phase d'autoévaluation ou d'introspection, comme évoqué dans le modèle de Zimmerman (2002) ou de Pintrich (2004). En effet, les enfants n'ont pas verbalisé d'éléments allant dans le sens d'une remise en question, d'un constat ou d'une comparaison avec leurs pairs ou leurs résultats antérieurs après un apprentissage. Ce résultat pourrait être lié au développement métacognitif de l'enfant. Malgré le peu de recherche dans ce domaine, nous avons constaté que les capacités métacognitives se développent dès l'âge de 2 à 3 ans (Kim et al., 2016; Lyons & Ghetti, 2013). Néanmoins, ce développement ne permet pas avant l'âge de 8 ans de contrôler et d'adapter son comportement suite à un constat métacognitif comme l'incertitude envers la réponse fournie (de Bruin et al., 2011). Ainsi, ce n'est qu'à l'adolescence que l'apprenant pourrait être en mesure d'évaluer son travail et ses performances. Par ailleurs, la précision de l'évaluation continue de s'affiner à l'âge

adulte (Demetriou & Bakracevic, 2009). Cette évolution pourrait être liée au développement des concepts de soi et à l'augmentation des connaissances que l'adolescent possède sur lui-même par rapport aux enfants (Sebastian, Burnett, & Blakemore, 2008). Comme les capacités métacognitives continuent à se développer durant l'adolescence jusqu'à atteindre un plateau à l'âge adulte (Weil et al., 2013), nous pouvons supposer que les apprenants de 8-10 ans ne sont pas encore capables de remettre en question leur manière d'apprendre.

Cette première étude réalisée dans le cadre de la thèse de Pauline Laurent nous a permis de recueillir la perception des élèves de CM1 et CM2 envers leurs apprentissages ainsi que de valider un auto-questionnaire permettant d'évaluer l'apprentissage autorégulé de ces apprenants, l'Inventaire d'Autorégulation des Apprentissages par l'Enfant (IAAE). Du point de vue applicatif, l'IAAE pourrait être utile à des enseignants souhaitant intégrer l'apprentissage autorégulé dans leur pratique pédagogique qui pourront proposer aux enfants de remplir cette échelle afin de les aider à prendre conscience des stratégies possibles. L'IAAE pourrait également servir dans le contexte de la remédiation des troubles des apprentissages, comme dans le cas de répercussions de troubles exécutifs, afin de cibler les domaines d'intervention, et suivre l'évolution de la mise en place de stratégies d'auto-régulation. C'est avec cette finalité en tête que nous avons mené, toujours dans le cadre de la thèse de Pauline Laurent, une étude sur les liens entre fonctions exécutives et apprentissage auto-régulé chez l'enfant (Laurent et al., in Prep).

### **3.3. Liens entre fonctions exécutives et apprentissage auto-régulé chez l'enfant**

---

#### ***Apport expérimental : Influences des fonctions exécutives et de la métacognition sur la régulation des apprentissages***

---

Communication associée : Laurent, P., Fenouillet, L., de Montalembert, M. & **Pinabiaux, C.** (2021). Fonctions exécutives et métacognition chez des enfants de 8 à 10 ans : Influences sur la régulation des apprentissages. Journée des Fonctions Exécutives, Angers (en ligne), 23-26 juin 2021.

Publication in prep : Laurent, P., Fenouillet, F. Lorant S, Masson J., Chauvin, R. & **Pinabiaux, C.** (in prep). Self-regulated learning, executive functioning and metacognition in childhood: How are they linked?

Objectifs : Des corrélations entre les dimensions de l'IAAE et des mesures de FE et de métacognition ont été réalisées chez des enfants de CM1-CM2. Une analyse de régression a permis de préciser la nature des liens entre ces mesures.

Principaux apports : Les résultats mettent en avant de nombreuses corrélations entre l'IAAE et les FE. En résumé, la flexibilité mentale, des capacités d'inhibition et de la métacognition sont prédictives des capacités d'apprentissage auto-régulé chez l'enfant de CM1-CM2. La flexibilité cognitive en



particulier permettrait aux élèves de s'adapter aux différentes activités proposées et de modifier leur comportement et leurs stratégies au cours d'une même activité

Dans cette étude, 97 enfants scolarisés en CM1 ou CM2 dans une école de la région Ile-de-France (44 filles ;  $M_{\text{âge}} = 9,44$ ,  $EC_{\text{âge}} = 0,60$ ) ont rempli l'IAAE et ont été évalués au moyen de tests neuropsychologiques mesurant les composantes exécutives (cf. Tableau 5).

Tableau 5. Mesures comportementales des composantes des FE.

Composante des FE	Test	
Inhibition d'une réponse automatique	Stroop enfants <sup>32</sup> (Albaret & Migliore, 1999)	
Inhibition	Inhibition d'une réponse à un distracteur	Version enfant du test d'attention d2 <sup>33</sup> (Brickenkamp, Schmidt-Atzert, & Liepmann, 2015)
	Résistance à l'interférence proactive	California Verbal Learning Task pour enfants <sup>34</sup> (Lussier, 1996)
Flexibilité mentale	Trail Making Test Enfant <sup>35</sup> (Strauss et al., 2006)	
Mise à jour de la mémoire de travail	Test des rimes <sup>36</sup> (Majerus, 2013)	
Planification	Test du zoo <sup>37</sup> (Emslie et al., 2003)	

<sup>32</sup> Dans la partie avec interférence, l'enfant doit dénommer la couleur de l'encre dans laquelle un nom de couleur est imprimé. La différence de temps de traitement avec la lecture correspond à l'effet de l'inhibition d'une réponse automatique (la lecture).

<sup>33</sup> Des lettres « d » et « p », chacune présentant de 1 à 4 traits situés de part et d'autre de la lettre sont présentées sur 14 lignes. L'enfant doit barrer le maximum de « d » à deux traits (au-dessus, en dessous ou de part et d'autre) pendant 20s par ligne. Le nombre d'éléments traités, le nombre de « d » à deux traits oubliés, le nombre d'erreurs et le nombre d'erreurs corrigées sont mesurés.

<sup>34</sup> L'épreuve se compose de l'apprentissage d'une liste de 12 items au cours de 5 essais successifs. Une liste interférente est ensuite proposée. Le score d'interférence correspond au nombre de mot de la 1ère liste apparaissant dans le rappel de la 2nde liste. Le test ayant été validé au Québec, nous avons légèrement adapté la consigne. Le terme « magasiner » est remplacé par « faire les courses » et le terme « magasinage » par le mot « courses ».

<sup>35</sup> Dans un premier temps, l'enfant doit relier le plus rapidement possible des chiffres allant de 1 à 25 dans l'ordre croissant. Ensuite, l'enfant doit relier des chiffres et des lettres en alternance et en respectant l'ordre croissant et l'ordre alphabétique (e.g. 1-A-2-B-3-C...). La différence entre les temps de réalisation à chaque tâche et le nombre d'erreurs commises à la seconde partie constituent des mesures de flexibilité mentale.

<sup>36</sup> Des séries de 1 à 7 mots sont présentées, suivis d'un mot cible après une pause de 2 secondes. L'enfant doit dire si le mot cible rime avec un des mots de la série et lequel.

<sup>37</sup> L'enfant doit planifier et exécuter un trajet sur une carte (visite d'un zoo) en respectant un certain nombre de contraintes (chemins interdit, ordre des animaux à visiter...). Le temps de planification, le temps de réalisation et le nombre d'erreurs sont relevés (Emslie et al., 2003).

Afin d'obtenir une mesure écologique des FE dans la vie quotidienne, les parents et les enseignants des participants ont également rempli l'inventaire comportemental des fonctions exécutives<sup>38</sup> (BRIEF ; Gioia et al., 2014). En outre, les capacités métacognitives des enfants ont été évaluées avec la version A de *The Junior Metacognitive Assessment Inventory* [Jr. MAI<sup>39</sup>] (Sperling et al., 2002). Nous avons effectué des analyses de corrélations et de régressions pour investiguer les liens entre les FE, l'apprentissage autorégulé et la métacognition ainsi que pour étudier leurs influences mutuelles (synthèse dans l'Encadré n°6). Dans la mesure où notre étude était exploratoire et avait pour objectif d'ouvrir ce champ de recherche, nous avons décidé de ne pas procéder à des corrections de seuils tout en prenant en compte le risque augmenté d'erreur de type I (Perneger, 1998)<sup>40</sup>. Les résultats obtenus devront donc faire l'objet de confirmations dans de futures études.

**Encadré n° 6 – Synthèse des corrélations entre les dimensions de l'IAAE et les mesures de fonctions exécutives**

La dimension « *anticipation* » des apprentissages est corrélée avec les capacités métacognitives mais pas avec les mesures des FE. Les élèves présentant des scores élevés à la MAI-Jr ( $r = .37$  ;  $p < .001$ ) utilisent plus fréquemment des stratégies permettant d'anticiper leurs apprentissages. La dimension « *fixation des buts* » est significativement corrélée avec le nombre d'erreurs non corrigées au test de Stroop ( $r = -.35$  ;  $p < .001$ ), le nombre de bonnes réponses détaillées au test des rimes ( $r = .30$  ;  $p < .01$ ), la dimension flexibilité de la version parents de la BRIEF ( $r = -.36$  ;  $p < .001$ ), et la dimension MDT de la version enseignant de la BRIEF ( $r = -.24$  ;  $p < .05$ ). Les enfants ayant de bonnes capacités exécutives sont aussi ceux qui se fixent des objectifs d'apprentissage. La *volition* est

<sup>38</sup> L'inventaire BRIEF est composé 86 items présentant des comportements de l'enfant dont le parent ou l'enseignant doit noter la fréquence sur une échelle en 3 points (Jamais / Parfois / Souvent). Un score Exécutif Global et deux notes indices sont calculés : L'Indice de Régulation Comportemental (IRC ; comprenant : inhibition, flexibilité et contrôle émotionnel) et l'Indice de Métacognition (IMC ; comprenant : initiation, organisation matérielle, mémoire de travail, planification/organisation, contrôle).

<sup>39</sup> Cette échelle est composée de 12 items divisés en deux dimensions : Connaissances métacognitives (knowledge of cognition) et Régulation de la cognition (regulation of cognition). Chaque item doit être répondu sur une échelle de Likert allant de 1 « jamais » à 3 « toujours ». Deux personnes anglophones, vivant en France depuis de nombreuses années et travaillant sur une thématique proche de la métacognition, ont contribué à la traduction de cette échelle. Une analyse factorielle sur notre échantillon a permis de retrouver cette structure en deux facteurs. Néanmoins les alphas de Cronbach sont inférieurs à .70, ce qui témoigne d'une faible consistance interne des items au sein de cette échelle.

<sup>40</sup> Lors de tests multiples, le risque d'erreur de type I ou  $\alpha$  augmente. Ainsi, la probabilité de trouver un résultat significatif alors qu'il ne l'est normalement pas augmente avec le nombre d'hypothèses testées (Armstrong, 2014; Noble, 2009). La correction de Bonferroni est donc généralement utilisée pour diminuer le *familywise error rate* en ajustant les p-valeurs. Dans le cadre de notre étude, si nous corrigeons les seuils de significativité par la méthode de Bonferroni, nous n'observerions que trois corrélations significatives. Le seuil corrigé passant de 0,05 à 0,0003. En limitant le risque d'erreur de type I, cette correction très stricte augmente considérablement le risque d'erreur de type II, autrement dit la probabilité de passer à côté d'un résultat significatif, d'autant plus que le nombre de variables intégrées dans l'analyse est important (Cabin & Mitchell, 2000). Les résultats d'une méta-analyse montrent que très peu d'études justifient leur utilisation de la méthode de Bonferroni comme moyen de limiter les erreurs de type I et encore moins prennent en compte le corolaire, c'est-à-dire l'augmentation du risque d'erreur de type II si la correction est appliquée (Armstrong, 2014). Les études ayant pris en compte ce risque ont finalement choisi de ne pas corriger leurs seuils. De plus, la décision d'appliquer ou non une correction est fréquemment subjective (Cabin & Mitchell, 2000). Selon Perneger (1998), une utilisation systématique et aveugle de la correction de Bonferroni pourrait entraîner une sous-détection importante d'effets pourtant réels.

particulièrement corrélée avec la flexibilité mentale, la MDT et la planification ( $r$  compris entre .29 et .49, tous les  $ps < .01$ ). La particularité de ces corrélations est qu'elles sont retrouvées à la fois avec les mesures directes des FE (i.e. évaluation individuelle de l'enfant avec des tests neuropsychologiques) et avec les mesures indirectes de ces mêmes fonctions (i.e. évaluation externe effectuée par les parents et/ou les enseignants sur la BRIEF). Ces coefficients de corrélation vont dans le sens d'une liaison positive entre les FE et les capacités volitionnelles des élèves. Les enfants qui présentent les scores les plus élevés aux tests et échelles évaluant les FE sont enclins à maintenir leurs efforts d'apprentissage dans le temps et face à l'adversité. La dimension « *contrôle de l'exécution* » est significativement corrélée au score de métacognition ( $r = .37$  ;  $p < .001$ ), au nombre d'erreurs non corrigées au test de Stroop ( $r = -.27$  ;  $p < .05$ ), au score d'inhibition de la version parent de la Brief ( $r = -.23$  ;  $p < .05$ ), au score de flexibilité de la version parent de la Brief ( $r = -.39$  ;  $p < .001$ ), et au score de contrôle de la version parent de la Brief ( $r = -.23$  ;  $p < .05$ ). Ces résultats signifient que de bonnes capacités exécutives dans la vie quotidienne mais aussi dans les mesures comportementales d'inhibition sont liées à une bonne capacité à contrôler son apprentissage. Les capacités de métacognition et d'hétérorégulation ( $r = .46$  ;  $p < .001$ ) sont fortement liées : cette corrélation signifie que les enfants possédant de bonnes capacités métacognitives ont plus tendance à demander de l'aide à autrui lors de leurs apprentissages. Nous pourrions supposer que ces enfants, en prenant conscience d'une difficulté, feraient plus facilement appel à l'aide d'un adulte pour réguler leurs apprentissages.

Nous avons ensuite souhaité vérifier l'hypothèse directionnelle selon laquelle les capacités exécutives exerceraient une influence sur la mise en place de la régulation des apprentissages, et démontrer le poids respectif des FE au moyen de régressions multiples. Pour chaque modèle, une dimension de l'IAAE constituait la variable dépendante et les mesures de FE et de métacognition étaient intégrées comme facteurs prédictifs (cf. Annexe IV pour le détail).

En résumé, nos résultats démontraient l'importance de la flexibilité mentale, des capacités d'inhibition et de la métacognition dans l'apprentissage auto-régulé chez l'enfant de CM1/CM2 (cf. figure 14).

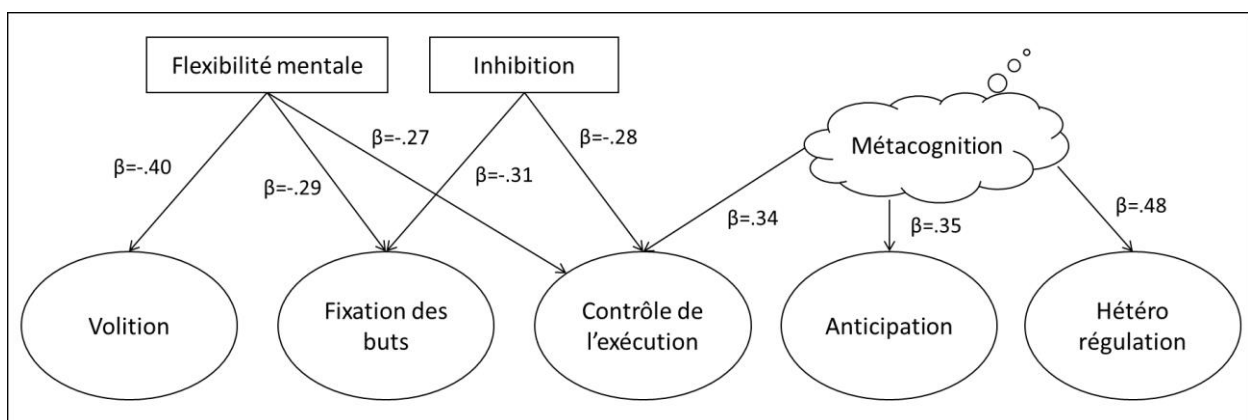


Figure 14. Schéma des relations entre les fonctions exécutives (rectangle), les capacités d'apprentissage auto-régulé (cercles) et la métacognition (nuage).

En premier lieu, la flexibilité mentale est liée aux, et permet de prédire, les capacités volitionnelles, la fixation des buts et le contrôle de l'exécution au cours des apprentissages. La flexibilité mentale pourrait contribuer de deux manières à la régulation des apprentissages (Hofmann et al., 2012). D'une part, en facilitant l'abandon de stratégies inefficaces (trop coûteuse, non-optimales...) pour une alternative plus adaptée. Ce changement de stratégie faciliterait le maintien dans l'activité (e.g. ne pas se décourager car une solution existe) et l'atteinte de l'objectif. D'autre part, la flexibilité mentale permettrait de modifier un ou des objectifs si cela s'avère nécessaire. En constatant que l'objectif entrepris n'est pas réalisable (e.g. temps imparti, difficulté) ou non adapté à la situation (e.g. demande de l'enseignant), l'apprenant pourra choisir un objectif alternatif. Ce dernier point est d'ailleurs évoqué dans les modèles de l'apprentissage autorégulé où le transfert d'un but à un autre est une preuve de régulation (Zimmerman & Kitsantas, 1997).

De plus, les capacités d'inhibition d'une réponse automatique influencent le contrôle de l'exécution et la fixation des buts. Il est possible d'imaginer qu'un apprenant ayant des difficultés à inhiber ses impulsions se précipitera dans la tâche sans avoir pris en considération les diverses solutions à sa disposition (Bari & Robbins, 2013) et aura du mal à résister aux distracteurs, i.e. à contrôler son comportement, lors de l'exécution de la tâche.

Enfin, les capacités métacognitives sont prédictives de l'anticipation des apprentissages, du contrôle de l'exécution et de l'hétérorégulation. En anticipant les questions pouvant être posées par l'enseignant et en essayant d'y répondre, les élèves avec de bonnes capacités métacognitives pourraient vérifier les connaissances qu'ils possèdent déjà de celles nécessitant d'être apprises ou revues. Cette façon de procéder leur permettrait ensuite d'établir un plan d'action pour leur apprentissage. Par ailleurs, pour contrôler l'exécution de l'apprentissage (e.g. choisir de cacher l'information pour essayer de se la réciter), l'élève doit être en mesure de penser sur ses propres processus et d'évaluer ses besoins. Ainsi, l'élève étant capable de s'interrompre au cours de son activité pour s'interroger sur l'avancée de son travail pourra adapter sa méthode de travail ou réorienter son approche en fonction de ses réflexions. Il sera également davantage en mesure de corriger d'éventuelles erreurs. Certaines études ont déjà montré que les élèves en réussite sont plus enclins à rechercher de l'aide que les élèves en difficulté (Zimmerman & Martinez-Pons, 1990) et ces élèves en réussite ont également souvent de bonnes capacités métacognitives. En ayant de bonnes capacités métacognitives, les élèves identifieraient mieux leurs besoins et verbaliseraient de manière claire leur demande (Puustinen & Winnykamen, 1998).

Après avoir créé un outil visant à pouvoir mesurer les stratégies d'auto-régulation des apprentissages chez l'enfant, le travail de thèse de Pauline Laurent a donc permis de mettre en évidence l'implication des FE et de la métacognition dans l'utilisation de ces stratégies. Assez naturellement, la question qui s'est alors posée à nous a été de savoir si un entraînement métacognitif axé sur les stratégies d'auto-régulation des apprentissages pouvait être efficace et dans quelle mesure les FE pouvaient servir de ressources au cours de cet entraînement.

### 3.4. Entraîner l'apprentissage auto-régulé et les fonctions exécutives

Les stratégies d'autorégulation ne se développeraient pas spontanément mais leur apparition serait facilitée par un entraînement et/ou un accompagnement particulier (Vandeveld, 2015). Parmi les entraînements possibles, ceux centrés sur la métacognition ont déjà fait leur preuve lorsqu'il s'agit d'améliorer certains apprentissages ou le comportement. Ainsi, Langdon et al. (2019) ont démontré qu'un entraînement basé sur l'auto-réflexion influence plus la régulation métacognitive chez des étudiants qu'un cours général sur les processus d'apprentissage. De même, une simple introduction aux stratégies de compréhension en lecture ne permet pas d'améliorer les performances des lecteurs contrairement à une intervention qui stimule l'auto-réflexion avant, pendant et après la lecture (Cirino et al., 2017). L'entraînement des capacités métacognitives et de la MDT améliore la régulation du comportement dans des situations d'apprentissage et réduit les symptômes du TDA/H (Capodiec et al., 2019).

---

**Apport expérimental : Effet de l'entraînement à l'apprentissage auto-régulé sur les fonctions exécutives de lycéens**

---

Publication associée : Laurent, P., Fenouillet, F., Prokofieva Nelson, V., Chauvin, R. & Pinabiaux, C. (en révision). Linking self-regulation and executive functions: a school-based intervention to enhance learning strategies.

Objectifs: Mettre au point un programme d'entraînement à l'apprentissage auto-régulé pour des lycéens en seconde et tester son impact sur les FE en comparant trois groupes (entraînement à l'apprentissage autorégulé, entraînement à l'éco-citoyenneté et groupe contrôle).

Apports principaux: Création de deux programmes d'entraînement (apprentissage autorégulé et éco-citoyenneté). Les analyses portant sur l'effet d'un entraînement basé sur l'auto-réflexion et la mise en place de stratégies métacognitives montraient une tendance à l'amélioration (ou la non-diminution par rapport au groupe contrôle) des compétences d'auto-régulation des apprentissages et de la flexibilité mentale. Cet effet n'était cependant pas spécifique à l'entraînement à l'apprentissage auto-régulé mais concernait également l'entraînement à l'éco-citoyenneté 2 semaines après la fin des sessions. Après 3 à 4 ans, seuls les participants entraînés à l'apprentissage auto-régulé continuaient à montrer un bénéfice sur les compétences d'auto-régulation.

---

Nous avons mené une troisième et dernière étude lors de la thèse de Pauline Laurent, ayant pour objectif de connaître les éventuels bénéfices sur les FE d'un entraînement à l'utilisation des capacités d'apprentissage auto-régulé chez des lycéens (Laurent et al., soumis). Nous avons choisi d'utiliser des mesures directes, comportementales, des FE, contrairement aux études précédentes qui utilisaient des mesures auto-rapportées, afin de réduire l'impact des jugements intrapersonnels (Toplak et al., 2013). Nous avons en revanche opté pour des mesures auto-rapportées pour l'apprentissage auto-régulé. Ces dernières, bien que faciles à mettre en œuvre, sont moins objectives et peuvent conduire à des biais de sous ou sur-estimation des performances. Une mesure comportementale des capacités d'apprentissage aurait été plus objective, mais un tel outil n'existe pas à notre connaissance.

L'entraînement des capacités d'apprentissage autorégulé s'est déroulé pendant le temps scolaire, dans un environnement naturel et selon un design quasi-expérimental. Nous faisons l'hypothèse que les activités proposées lors de ces sessions d'entraînement aideraient les lycéens à faire appel à leurs capacités exécutives en contexte (par exemple : résister à l'envie d'aller voir un ami plutôt que de réviser). Trois groupes ont été constitués à partir de 5 classes de seconde dans deux lycées de la région parisienne ( $n=149$  ; 43% de garçons ;  $15,03 \pm 0,45$  ans). Un groupe ( $n=71$ ) a participé à 6 sessions hebdomadaires d'entraînement à l'apprentissage autorégulé, un groupe contrôle ( $n=49$ ) a participé à 6 sessions hebdomadaires d'entraînement à l'éco-citoyenneté et un groupe contrôle « pur » ( $n=29$ ) a poursuivi ses apprentissages sans entraînement. La répartition dans les groupes s'est faite selon les classes habituelles plutôt que de façon randomisée afin d'éviter un effet de contagion lorsque les lycéens seraient en classe en dehors des sessions d'entraînement. Les lycéens présentant des troubles neurologiques, psychiatriques ou des apprentissages n'ont pas été inclus dans l'étude. La procédure expérimentale se composait d'un pré-test (T0), suivi des sessions d'entraînement pour les groupes concernés puis de 2 post tests (T1 et T2) (cf. figure 15).

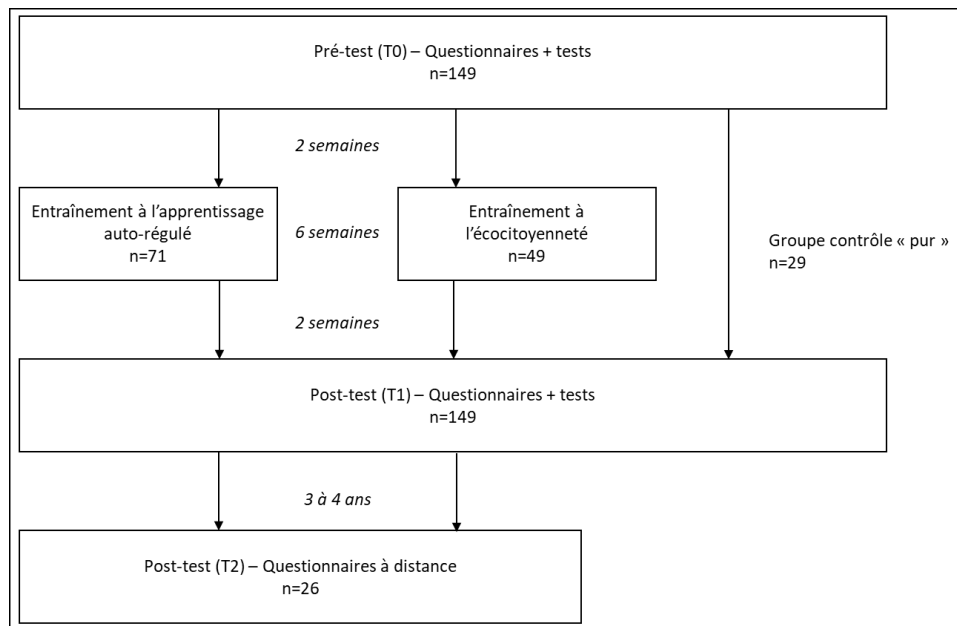


Figure 15. Procédure expérimentale de l'étude de Laurent et al (soumis). Au T2, les participants ont rempli sur la base du volontariat les questionnaires adressés par courriel. Les trois participants du groupe contrôle pur ayant répondu n'ont pas été inclus dans les analyses.

A T0 et T1, les capacités exécutives ont été évaluées au moyen de tests neuropsychologiques, des scores z ont été calculés pour chaque variable (cf. tableau 6).

Tableau 6. Mesures comportementales des composantes des FE. (cf. notes en bas de page précédentes pour une description)

Composante des FE	Test
Contrôle inhibiteur	Stroop enfants (Albaret & Migliore, 1999)
Flexibilité mentale	Trail Making Test Enfant (Strauss et al., 2006)
Mise à jour de la mémoire de travail	Test des rimes <sup>41</sup> (Majerus, 2013)
Planification	Test du zoo (Emslie et al., 2003)

Les capacités d'autorégulation ont été mesurées à T0, T1 et T2 à l'aide de trois échelles basées sur le modèle de Zimmerman (2002) : l'ERICA ( Echelle de Régulation Individuelle et Collective de l'Apprentissage ; Kaplan et al., 2017), la 2ADEASU (

<sup>41</sup> Evaluation de la rétention de l'information « item » phonologique : des séries de mots de longueur croissante sont énoncées. Après une pause, l'expérimentatrice énonce un nouveau mot. L'enfant doit dire si ce mot rime avec un des mots de la série qu'il ou elle vient d'entendre et si oui lequel.

Appréciation de l'autorégulation dans les apprentissages scolaires et universitaires ; Cosnefroy et al., 2018) et l'AREGA (Autorégulation de l'apprentissage relative à l'intégration pédagogique des technologies de l'information et de la communication ; Brodeur et al., 2006).

Les 6 sessions d'entraînement hebdomadaires duraient une heure chacune et étaient proposées par Pauline Laurent par groupe de 15 étudiants au maximum. Les sessions d'entraînement à l'apprentissage auto-régulé et à l'écocitoyenneté ont été pensées en collaboration avec Pauline Laurent pour présenter le même déroulement, avec un contenu différent. L'entraînement à l'apprentissage auto-régulé ciblait des situations d'apprentissages de la vie scolaire, tandis que l'entraînement à l'éco-citoyenneté était centré sur la reconnaissance des comportements éco-responsables. Chaque session débutait par une discussion collective à propos de la thématique du jour, puis Pauline Laurent présentait des éléments théoriques en lien, mis en pratique lors de jeux de rôles entre lycéens (l'un jouant le rôle de l'apprenant / de l'éco-citoyen et l'autre celui de sa conscience métacognitive). Enfin, des outils à mettre en pratique dans la vie quotidienne entre chaque session étaient proposés. Chaque lycéen recevait un journal personnel reprenant les éléments clés de chaque session, les outils proposés et les exercices à mettre en place, afin de noter leur réflexions et évolution personnelles (cf. Annexes V et VI pour la description des séances et des exemples d'outils).

Les analyses corrélationnelles exploratoires qui ont été menées au T0 ont montré quelques corrélations significatives ( $p < .05$ ) et corrélations modérées ( $.17 \leq |r| \leq .20$ ) entre les variables issues des tests exécutifs et les questionnaires d'auto-régulation, ce qui rejoint les résultats de précédentes recherches (e.g. Roebbers, 2017; Effeney et al., 2013; Garner, 2009; Follmer & Sperling, 2016). Certaines de ces corrélations étaient positives (e.g. plus les lycéens obtenaient des scores élevés de flexibilité mentale, plus ils montraient un score d'intérêt intrinsèque élevé ; de meilleures capacités de mise à jour en MDT étaient liées à une meilleure organisation auto-rapportée des apprentissages) ; d'autres corrélations étaient négatives (e.g. les lycéens avec les meilleures capacités de planification étaient aussi ceux qui rapportaient utiliser le moins la fixation de buts). Au total, l'interprétation des liens entre FE et apprentissage auto-régulé à l'adolescence est donc moins équivoque que ce que nous avons observé chez l'enfant d'âge scolaire. Il semble que des capacités auto-rapportées d'auto-régulation puissent être soutenues par l'efficacité de certaines FE (flexibilité mentale, mise à jour de la MDT), tandis que des difficultés exécutives *a minima* (contrôle inhibiteur, planification) pourraient également être compensées grâce à la mise en place de stratégies d'auto-régulation. Cette influence



réci-proque est retrouvée dans l'effet de l'entraînement à l'utilisation de stratégies métacognitives.

Les analyses portant sur l'effet d'un entraînement basé sur l'auto-réflexion et la mise en place de stratégies métacognitives montraient une tendance à l'amélioration (ou la non-diminution par rapport au groupe contrôle) des compétences d'auto-régulation des apprentissages et de la flexibilité mentale. Cet effet n'était cependant pas spécifique à l'entraînement à l'apprentissage auto-régulé mais concernait également l'entraînement à l'éco-citoyenneté 2 semaines après la fin des sessions. Après 3 à 4 ans, seuls les participants entraînés à l'apprentissage auto-régulé continuaient à montrer un bénéfice sur les compétences d'auto-régulation. Au total, cette étude exploratoire a fourni peu de résultats significatifs, mais ceux-ci étaient en faveur d'un effet positif des sessions d'entraînement. Nous avons proposé deux types d'explication à la faiblesse des effets observés. En premier lieu, des facteurs motivationnels pourraient expliquer la difficulté des lycéens à s'engager dans des stratégies d'auto-régulation des apprentissages. En effet, une baisse des intérêts scolaires a été rapportée entre le début et la fin des études secondaires chez les élèves Français (Fenouillet et al., 2017) ou à l'étranger (Gillet et al., 2012 ; Gottfried et al., 2001). Nous avons donc ciblé notre population en pensant que l'aide de l'entraînement serait la plus nécessaire mais il est probable qu'elle aurait donné des résultats plus probants si nous avons ciblé des élèves plus jeunes, dont l'intérêt et donc la motivation aurait été plus fort. La deuxième explication concerne la nature et le contenu des sessions d'entraînement. Il est possible que le nombre de sessions n'ait pas été suffisant pour permettre un transfert effectif des stratégies dans la vie quotidienne. Un accompagnement sur l'année scolaire, prenant en compte les échéances réelles des apprentissages scolaires (e.g comment s'organiser en vue d'une évaluation de fin de trimestre) et permettant aux lycéens de tester et d'individualiser les outils et stratégies proposés aurait été potentiellement plus utile. Il aurait également pu être souhaitable d'impliquer les équipes enseignantes dans la mise en place des stratégies sur le temps scolaire. Même si les résultats que nous avons obtenus étaient minces, ils encouragent néanmoins à poursuivre l'utilisation de l'entraînement à l'apprentissage auto-régulé en ciblant des pistes d'amélioration.

### **3.5. Perspectives**

La partie de mes travaux de recherche s'intéressant aux liens entre les FE et les apprentissages scolaires a été focalisée sur la façon dont les enfants régulent de façon générale leurs apprentissages. Les études menées ont pu montrer l'importance des FE dans l'auto-

régulation et ont permis la création d'un outil et de matériel pédagogique. En revanche, nous n'avons pas réussi à démontrer que l'entraînement à l'utilisation de stratégies d'auto-régulation puisse favoriser le développement des FE chez des lycéens. Il serait intéressant dans la suite des travaux, de développer des projets chez des enfants plus jeunes, chez qui le potentiel de développement des FE est plus important, mais aussi chez des enfants présentant des troubles exécutifs. Par ailleurs, les études menées ont révélé l'importance de la métacognition dans l'auto-régulation des apprentissages chez l'enfant. Si cela constitue un résultat intéressant en soi, cela peut également venir compliquer la compréhension du lien plus direct entre FE et apprentissages scolaires. Au sein des apprentissages scolaires, il serait ainsi pertinent de s'intéresser à des activités qui mettent directement en jeu des processus exécutifs : planification d'une séquence, inhibition de réponses automatiques, mise à jour de la MDT. La programmation informatique, qui a récemment été incluse au programme de l'Education Nationale dès le premier cycle, remplit ces conditions. Dans la Partie II, je proposerai un projet de recherche qui cible plus directement les influences réciproques des FE et de l'apprentissage de la programmation robotique.



## Synthèse de la première partie

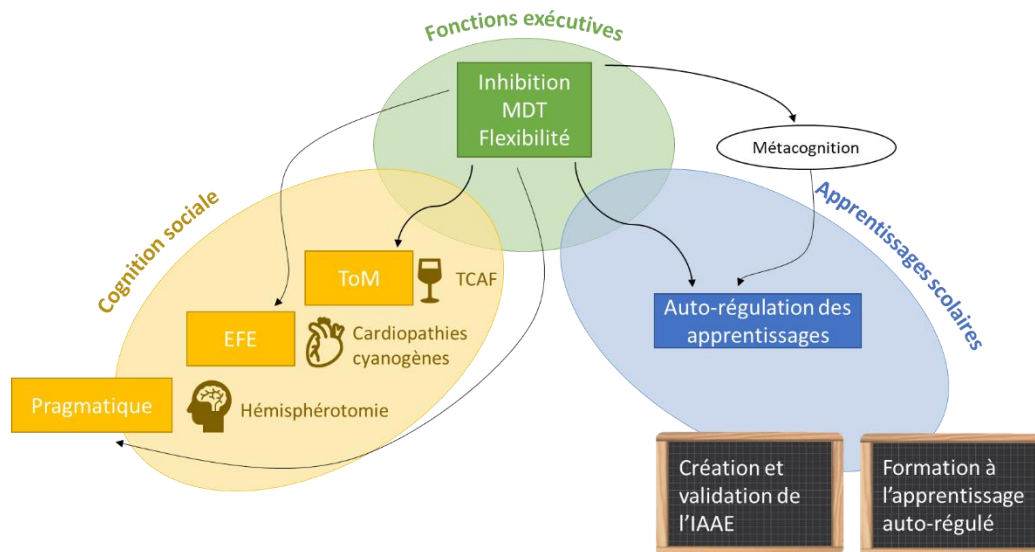


Figure 16. Représentation schématique des travaux de recherche passés. MDT : mémoire de travail ; ToM : théorie de l'esprit ; EFE : expressions faciales émotionnelles ; IAAE : inventaire d'apprentissage auto-régulé chez l'enfant.

Les FE revêtent un caractère transversal, et s'expriment au cours de situations non routinières qui peuvent être très diverses. Cette transversalité m'a permis de m'intéresser à des thématiques différentes (cognition sociale et apprentissages), grâce à des collaborations riches avec mes collègues ou le milieu médical. J'ai fait le choix de présenter ici les travaux qui s'intégraient dans une ligne de recherche cohérente, même si toutes les études n'ont pas pu faire l'objet d'une valorisation sous forme de publications dans des revues internationales à comité de lecture, notamment en raison du caractère exploratoire ou pluridisciplinaire de certains travaux. Il en a néanmoins résulté le co-encadrement d'un doctorat, la publication de 4 articles (2 autres étant en préparation et 1 autre en révision), et de 11 communications dans des congrès, ainsi que la création d'une échelle de mesure de l'apprentissage autorégulé chez l'enfant et d'un module de formation à l'apprentissage auto-régulé. Ces recherches ont permis de montrer que les atteintes cérébrales précoces (cardiopathies congénitales cyanogènes, exposition prénatale) ou plus tardives (hémiphérotomies) pouvaient engendrer des déficits exécutifs de cognition sociale à long terme, mettant en avant la vulnérabilité de ces fonctions cognitives complexes. Il reste cependant aujourd'hui encore difficile de comprendre l'intrication entre ces troubles. En outre, même si mes recherches ont mis en évidence des liens entre les FE et l'autorégulation des apprentissages chez l'enfant, il a été difficile de montrer l'efficacité d'une formation à l'apprentissage autorégulé chez des lycéens. Cibler un âge plus précoce, avec un matériel plus en lien avec les apprentissages réels, semble donc important pour la poursuite de ces recherches.

## PARTIE II : PROJETS DE RECHERCHE

---



Cette seconde partie est consacrée aux projets de recherche que je développe actuellement ou à venir. Tout comme mes travaux passés, les études que je souhaite conduire reposent sur une collaboration étroite avec des collègues enseignants-chercheurs, dans une volonté de partage des compétences et des expertises. Ces projets, que je souhaite développer au cours des 5 prochaines années, sont issus des réflexions alimentées par les différentes études présentées en première partie. Ils reflètent donc à nouveau le caractère transversal des FE.

Mon premier projet est issu du constat que les troubles des FE et de la cognition sociale peuvent co-exister dans de nombreux troubles neurodéveloppementaux, même s'ils ne font pas partie de la sémiologie recherchée lors du diagnostic. En effet, la nosographie majoritairement acceptée du DSM-5 (2013), repose sur une description clinique des troubles plus que sur une description des mécanismes cognitifs dysfonctionnels. En ce sens, il n'est pas fait mention de « syndrome dysexécutif » dans cette classification. L'approche neuropsychologique, axée sur les mécanismes cognitifs, permet cependant de mettre en évidence des troubles exécutifs transversaux aux différents syndromes neurodéveloppementaux. Au cours de mes recherches passées, nous avons pu notamment mettre en évidence que les troubles exécutifs et de la cognition étaient présents dans les suites d'une anoxie périnatale liée à une cardiopathie, d'une hémisphérotomie, ou d'une exposition prénatale à l'alcool. Je souhaite m'intéresser à présent à d'autres troubles de nature neuro-développementale. Le TDA/H constitue un prototype de syndrome pour lequel des troubles exécutifs et de la cognition sociale peuvent être décrits en parallèle des signes cliniques nécessaires à son diagnostic. Si l'évaluation des troubles exécutifs est aujourd'hui plutôt bien systématisée grâce aux tests existants, les neuropsychologues manquent toutefois cruellement d'outils pour évaluer la cognition sociale de façon indépendante. Ce projet vise donc à mieux décrire et évaluer les troubles de la cognition sociale lorsqu'ils sont concomitants avec des troubles exécutifs. La mise en place concrète d'un outil a d'ores et déjà débutée par une co-direction de doctorat financé depuis 2020.

Mon second projet a été motivé par le constat que l'entraînement des FE dans l'optique d'améliorer les apprentissages devait débuter le plus tôt possible dans le développement, bien avant l'adolescence. Je m'intéresse à une méthode innovante qu'est la programmation à la robotique. Des études récentes suggèrent que l'apprentissage de la programmation serait un moyen de favoriser le développement des FE. Dans un premier temps, je propose de tester cette hypothèse chez les enfants d'âge préscolaire, chez qui les FE sont en plein développement. A terme et en lien avec mon profil de neuropsychologue du développement, l'objectif de mon projet est le développement d'un module de remédiation à destination d'enfants présentant des troubles exécutifs.

Pour chacun de ces projets, j'exposerai la problématique et les moyens envisagés et présenterai plus en détail les parties déjà en cours.

## **1. Fonctions exécutives et cognition sociale dans une approche neuropsychologique : décrire et évaluer leurs intrications**

L'évaluation des capacités de cognition sociale est complexe parce que de nombreux processus cognitifs entrent en jeu dans les habiletés sociales, tels que la reconnaissance des stimuli faciaux, l'empathie, la théorie de l'esprit ou encore les FE. Il est donc difficile d'identifier l'origine des troubles relationnels, d'où l'intérêt d'avoir à disposition des outils permettant d'évaluer non seulement les habiletés sociales de façon générale, mais aussi les différents mécanismes mis en jeu. De nombreux outils d'évaluation des habiletés sociales existent pouvant être utilisés chez les enfants atteints de troubles neurodéveloppementaux tels que l'entretien clinique, l'observation, les échelles (e.g. SCQ, Social Communication Questionnaire, Rutter et al., 2003) ou les tests neuropsychologiques (e.g. Théorie de l'Esprit, NEPSI-II, Korkman, Kirk & Kemp, 2012). Il s'agit néanmoins d'outils majoritairement utilisés dans le diagnostic des troubles du spectre autistique mais qui ne permettent pas toujours de mettre en évidence des difficultés subtiles de la cognition sociale, ni de déterminer quel mécanisme sous-jacent pourrait expliquer ces difficultés. C'est dans cette perspective que je souhaite développer un projet qui permettrait de mieux caractériser les troubles de la cognition sociale en les distinguant des troubles exécutifs chez ces enfants (cf. figure 17 pour une vision globale du projet ; les projets en cours sont présentés plus en détails par la suite). Dans un premier temps, cet axe de recherche concernera une population prototypique des troubles exécutifs, i.e. les enfants et adolescents avec TDA/H. Une première partie de ce projet consistera donc à établir un état des lieux des capacités de cognition sociale chez les enfants et adolescents avec TDA/H au moyen d'une méta-analyse. En effet, les résultats obtenus par Piztianti et al. (2017) avec la NEPSY-II ne permettent pas de conclure à un dysfonctionnement de la théorie de l'esprit chez des enfants avec trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité (TDA/H) par rapport à des enfants sains. Une méta-analyse souligne en outre que l'analyse de la cognition sociale dans le TDA/H devrait bénéficier d'outils plus discriminants et précis (Pineda-Alhucema et al., 2018). L'enjeu sera ensuite de développer un outil permettant une analyse fine des capacités de cognition sociale, pour lequel l'interprétation des performances ne serait pas parasitée par les difficultés exécutives (e.g. ne faisant pas intervenir la MDT ou des capacités syntaxiques). Après la validation de cet outil auprès de patients TDA/H, des collaborations seront mises en place afin d'utiliser cet outil auprès d'autres populations porteuses de troubles exécutifs. Notamment, une application est prévue auprès d'enfants avec trouble spécifique du langage oral, chez qui les difficultés d'interaction et de cognition sociale

sont pour le moment compliquées à distinguer de l'impact des troubles purement linguistiques sur la communication. Ce projet est dans continuité des travaux menés chez les patients avec hémisphérotomie et qui avait montré l'existence de troubles conjoints des FE et de la pragmatique du langage (Save-Pédebos et al., 2016). Le travail reposera sur une collaboration avec les neuropsychologues du Centre de Références des Troubles du Langage et des Apprentissages de l'Hôpital Raymond Poincaré (Garches), dirigé par le Dr. Emilie Schlumberger.

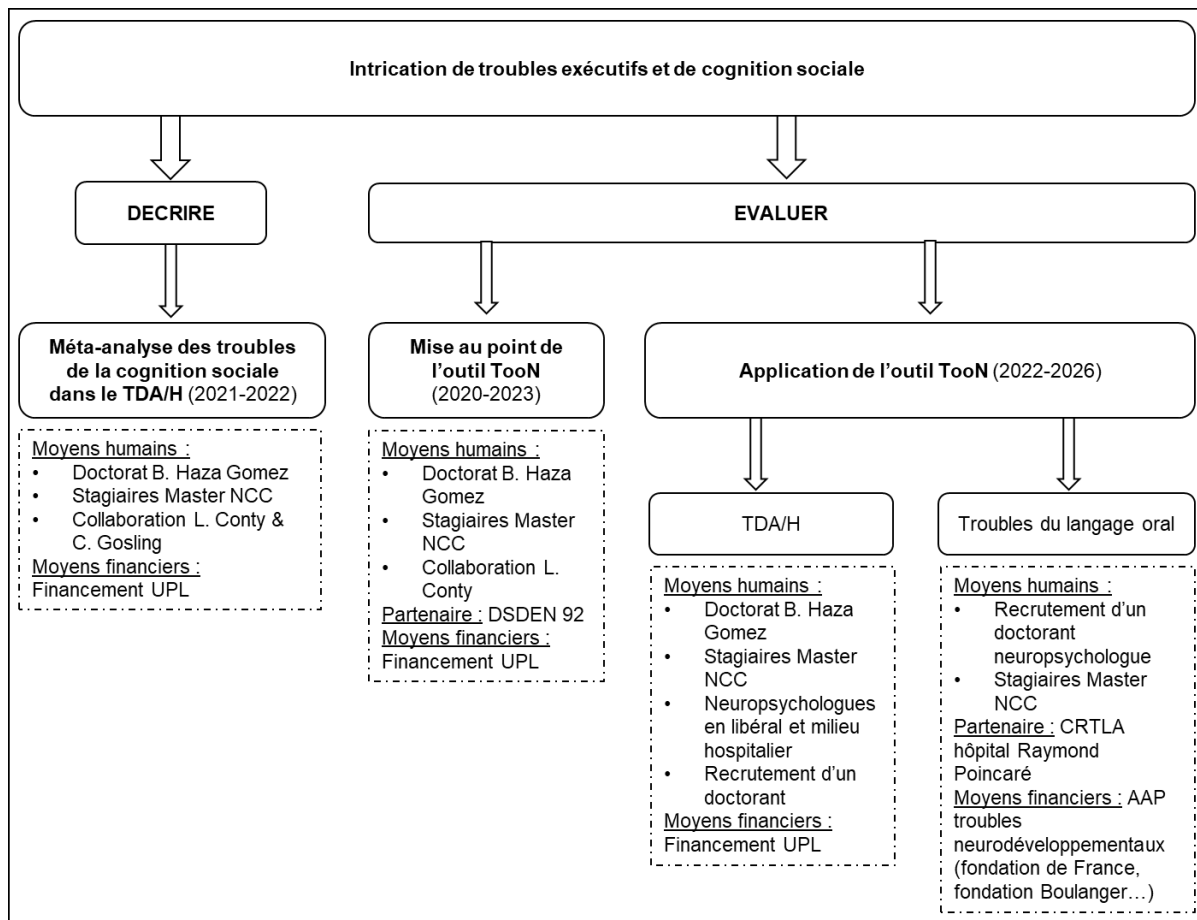


Figure 17. Vision globale du projet de recherche à long terme. TDA/H : trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité ; NCC : Neuropsychologie Clinique et Cognitive à tous les âges de la vie (Université Paris Nanterre) ; UPL : Université Paris Lumières ; TooN : Tool for diagnosing other's gaze following in Neuropsychological disorders ; DSDEN : Direction des Services Départementaux de l'Education Nationale ; CRTLA : Centre de Référence des Troubles du Langage et des Apprentissages ; AAP : appel à projets.

Le trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité (TDA/H) est l'un des syndromes les plus courants chez les enfants et les adolescents, avec une prévalence mondiale de 5 à 7 % (Polanczyk et al., 2014). Le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5)

définit le TDA/H comme un trouble neurodéveloppemental pouvant se caractériser par une forme pure d'inattention, une forme pure d'hyperactivité et d'impulsivité, et une forme mixte, qui reflète une combinaison des symptômes des deux formes pures. Pour être diagnostiqué avec l'un de ces sous-types cliniques, l'enfant doit présenter six symptômes ou plus d'inattention et/ou d'hyperactivité/impulsivité dans au moins deux domaines différents. Ces symptômes doivent être liés à des altérations significatives du fonctionnement scolaire, social ou familial (American Psychiatric Association, 2013 ; cf. Encadré n°7).

#### **Encadré n°7 – Critères diagnostiques du TAD/H (DSM 5)**

A. Présence de symptômes, soit 1) d'inattention, soit 2) d'hyperactivité et d'impulsivité

1) Six (ou plus) des symptômes suivants **d'inattention** pendant au moins 6 mois :

- Ne parvient pas à prêter attention aux détails ou fait des fautes d'étourderie
- A souvent du mal à soutenir son attention
- Semble souvent ne pas écouter
- Ne se conforme pas aux consignes et ne parvient pas à mener à terme ses devoirs scolaires
- A souvent du mal à organiser ses travaux ou ses activités
- Évite les tâches qui nécessitent un effort mental soutenu
- Se laisse facilement distraire par des stimuli externes
- Oublis fréquents dans la vie quotidienne

2) Six (ou plus) des symptômes suivants **hyperactivité-impulsivité** pendant au moins 6 mois :

- Remue souvent les mains ou les pieds, se tortille sur son siège
- Se lève souvent en classe ou dans d'autres situations
- Cours ou grimpe partout
- A du mal à se tenir tranquille dans les jeux
- Est souvent sur la brèche où agit souvent comme s'il était monté sur ressorts
- Parle trop
- Laisse souvent échapper la réponse à une question qui n'est pas encore posée
- A souvent du mal à attendre son tour
- Interrompt souvent les autres ou impose sa présence

B. Certains des symptômes d'hyperactivité impulsivité ou d'inattention ayant provoqué une gêne fonctionnelle, présent avant l'âge de 12 ans

C. Présence dans 2, ou plus de 2 types d'environnements différents

D. Altération cliniquement significative du fonctionnement social, scolaire ou professionnel

E. Les symptômes ne surviennent pas exclusivement au cours d'une schizophrénie ou d'un autre trouble psychotique, et ils ne sont pas mieux expliqués par un autre trouble mental

Les trois types de TAD/H :

Type I : présentation combinée, si à la fois les critères A1 et A2 sont remplis pour les 6 derniers mois

Type II : présentation inattention prédominante, si pour les 6 derniers mois le critère A1 est rempli, mais pas le critère A2

Type III : présentation hyperactivité impulsivité prédominante, si pour les 6 derniers mois le critère A2 est rempli, mais pas le critère A1



Bien que le TDA/H soit principalement connu et étudié pour les symptômes d'inattention, d'hyperactivité et d'impulsivité, les déficits dans la sphère sociale ont été largement démontrés (Hoza, 2007 ; McQuade & Hoza, 2008 ; Nijmeijer et al., 2008). Les enfants atteints de TDA/H ont généralement des problèmes sociaux avec leur famille, leurs enseignants et leurs pairs (Gardner & Gerdes, 2015 ; Hoza, 2007 ; Hoza et al., 2005 ; McQuade & Hoza, 2008 ; Mrug et al., 2012), ce qui pourrait être de forts prédicteurs de difficultés importantes à la fin de l'adolescence et à l'âge adulte (Mrug et al., 2012). En effet, les rapports des parents et des enseignants révèlent des difficultés interpersonnelles chez les enfants atteints de TDA/H, en comparaison avec les enfants au développement typique (Bagwell et al., 2001 ; Flicek, 1992 ; Heiman, 2005 ; Hoza et al., 2005). Les études observationnelles sont également cohérentes avec ces évaluations et suggèrent l'existence de difficultés lors des interactions avec les pairs et les soignants (Aduen, 2018). Malgré les preuves d'un déficit social chez les enfants atteints de TDA/H, les mécanismes sous-jacents à ces difficultés ne sont toujours pas clairs (Hoza et al., 2005 ; McQuade & Hoza, 2008).

Certaines données ont montré que l'inattention, l'impulsivité et l'hyperactivité des patients atteints de TDA/H peuvent interférer avec leur capacité à interagir avec les autres. Ces symptômes peuvent affecter l'apprentissage des informations sociales et émotionnelles, ce qui peut entraîner des retards persistants dans le développement social et cognitif, même après leur prise en charge efficace (Parke et al., 2021). Par exemple, les difficultés d'attention soutenue peuvent conduire à une mauvaise interprétation des intentions et des comportements d'autrui (Sibley et al., 2010) et peuvent affecter l'apprentissage lors des interactions sociales. Par conséquent, les symptômes du TDA/H pourraient nuire aux relations interpersonnelles en raison de la diminution des possibilités d'apprentissage social (Parke et al., 2021). En plus des symptômes du TDA/H, les déficits de cognition sociale peuvent être considérés comme des facteurs de risque indépendants de difficultés sociales chez les enfants et les adolescents atteints de TDA/H (Uekermann et al., 2010).

Les études cliniques suggèrent que les enfants et les adolescents atteints de TDA/H présentent des déficits de cognition sociale qui affectent leurs interactions sociales (Uekermann et al., 2010, Bora & Pantelis, 2016). Plus précisément, des déficits de reconnaissance des émotions ont été largement démontrés chez les patients TDA/H (Bora & Pantelis, 2016 ; Fonseca et al., 2009 ; Parke et al., 2021 ; Pelc et al., 2006). Cependant, plusieurs des études évaluant la reconnaissance des émotions dans le TDA/H utilisent des mesures non cliniques, ce

qui peut limiter la généralisation des résultats au domaine clinique (Parke et al., 2021). De plus, Gumustas et al. (2017) n'ont pas réussi à montrer de déficit chez les enfants atteints de TDA/H par rapport aux enfants au développement typique. En plus des capacités de reconnaissance des émotions, l'empathie et la théorie de l'esprit ont été étudiées dans plusieurs études chez les patients TDA/H. Cependant, les résultats des études sur l'empathie (Bora & Pantelis, 2016 ; Gumustas et al., 2017 ; Parke et al., 2021) et la théorie de l'esprit (Bora & Pantelis, 2016 ; Maoz et al., 2019 ; Mary et al., 2016 ; Parke et al., 2021) sont controversés. Les preuves concernant le profil des déficits cognitifs sociaux sont donc limitées et il n'est pas encore clair si la reconnaissance des émotions, l'empathie et les déficits de la ToM sont altérés chez les enfants et les adolescents atteints de TDA/H, par rapport aux témoins sains.

Dans une récente méta-analyse, Bora et Pantelis (2016) ont étudié les capacités sociocognitives dans le TDA/H, de l'enfance à l'âge adulte. Plus précisément, ils ont comparé les capacités de reconnaissance des émotions et de théorie de l'esprit chez les TDA/H avec des témoins sains et des troubles du spectre autistique (TSA). Les résultats de cette méta-analyse ont montré que les personnes atteintes de TDA/H présentent des déficits sur les mesures directes de la théorie de l'esprit et de la reconnaissance des émotions par rapport aux témoins sains. Cependant, des études menées chez des enfants atteints de TDA/H ont montré des différences entre leurs performances sur des mesures objectives et leurs compétences sociales quotidiennes (Thomas et al., 2011). Par exemple, Charman et al. (2001) ont montré que les enfants atteints de TDA/H ont de plus mauvais scores dans les questionnaires remplis par leurs parents mais ont les mêmes performances que les enfants au développement typique sur une tâche de ToM. Ils ont fait valoir que les mesures directes ne reflètent pas les compétences quotidiennes des enfants atteints de TDA/H, car l'environnement du laboratoire serait plus contrôlé et conduirait à des situations sociales moins complexes que dans la vie réelle. La méta-analyse de Bora et Pantelis (2016) n'a pas utilisé de mesures indirectes de la cognition sociale, ce qui pourrait conduire à une évaluation inexacte des difficultés réelles que ces enfants rencontrent dans la vie quotidienne. De plus, ils n'ont pas évalué les compétences sociales quotidiennes des enfants atteints de TDA/H. Comme indiqué précédemment, ces enfants rencontrent souvent des difficultés relationnelles dans la vie quotidienne qui pourraient être expliquées par des déficits de cognition sociale. Étudier cette variable en plus de la cognition sociale en utilisant des mesures indirectes permettrait d'étudier si les difficultés socio-cognitives peuvent être liées à des altérations significatives du fonctionnement social quotidien.

Dans le cadre de la co-direction de thèse de Belen Haza-Gomez, nous avons avec Laurence Conty et Corentin Gosling (UR DysCo, UPN) le projet de réaliser une méta-analyse de la littérature existante afin de fournir plus d'informations sur les difficultés de la cognition sociale et des compétences sociales des enfants et des adolescents atteints de TDA/H, ce qui aurait des implications importantes pour leur prise en charge. Cette recherche vise à étudier la cognition sociale au cours du développement des enfants atteints de TDA/H, et plus particulièrement à comparer leur capacité à faire preuve d'empathie, à reconnaître les émotions et à mentaliser avec des témoins sains. Cette méta-analyse comprendra non seulement des tests neuropsychologiques mais aussi des questionnaires à remplir par les parents, les enseignants ou les enfants. En plus de la cognition sociale, cette méta-analyse vise à comparer les compétences sociales quotidiennes des personnes atteintes du TDA/H avec celles des témoins sains à l'aide de questionnaires.

---

***Projet en cours : Méta-analyse de la cognition sociale chez des enfants et des adolescents avec TDA/H***

---

Ce projet est réalisé en collaboration avec **Laurence Conty** (UR DysCo, UPN), Professeure en Psychologie et Neurosciences Cognitives et **Corentin Gosling** (UR DysCo, UPN), spécialisé en neuropsychologie.

Objectifs :

- Réalisation d'une méta-analyse portant sur la cognition sociale chez les enfants et adolescents avec un TDA/H, afin de démontrer de façon robuste si la cognition sociale est déficitaire dans cette population.

Moyens :

- Co-direction de la thèse de Belen Haza Gomez (contrat doctoral Paris Lumière obtenu en 2020)

Pre-enregistrement : La procédure de la méta-analyse a été enregistrée sur Prospero le 16 mai 2021 (Belen Haza, Corentin Gosling, Laurence Conty, Charlotte Pinabiaux. A meta-analysis of social cognition in children and adolescents with attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). CRD42021249191 ; cf. Annexe VII)

Publication in prep : Haza B., Gosling C., Conty, L. **Pinabiaux C** (in prep) : A meta-analysis of social cognition in children and adolescents with attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD).

---

En ce sens, l'orientation spatiale dans la sphère sociale est un mécanisme de base, pour le moment négligé par les outils neuropsychologiques existants, et qui pourrait permettre une analyse plus fine de la cognition sociale dans le TDA/H.

Le regard joue un rôle indispensable dans les interactions sociales. Il constitue un véritable signal social de communication qui véhicule de nombreuses informations, tels que les intentions, les émotions, les états mentaux et les désirs d'autrui (Georges & Conty, 2008). Habituellement, le regard et le pointage du doigt d'autrui provoquent un déplacement automatique de l'attention vers l'endroit regardé (e.g. Galfano et al., 2012) ou pointé (e.g.

Belopolsky et al., 2008). Cette capacité, dite attention visuelle conjointe, émerge tôt dans le développement cognitif humain (dès l'âge de 9 mois, Frischen, et al., 2007) et est essentielle pour le bon développement des compétences scolaires et sociales des enfants (Mundy & Newell, 2007). Elle a souvent été étudiée en utilisant une adaptation du paradigme d'orientation spatiale de Posner (1980), dans lequel les participants doivent détecter le plus rapidement possible une cible apparaissant sur un écran. A chaque essai, un indice indiquant la droite ou la gauche est présenté au centre de l'écran, juste avant que la cible apparaisse du côté indiqué par l'indice (condition valide) ou de l'autre côté (condition invalide). Dans les études s'intéressant à la capacité d'attention conjointe, l'indice est un regard, un visage ou une main pointant l'index. Le regard ou le visage sont généralement présentés sous forme de photographie (e.g. Bayliss et al., 2007) ou de dessin (e.g. Marotta et al., 2014) et la main pointant l'index sous forme de photographie (Fischer & Szymkowiak, 2004) ou de vidéo (Belopolsky et al., 2008). Typiquement, les participants sont plus rapides à détecter la cible lorsqu'elle apparaît du côté valide, par rapport au côté invalide ou à l'absence d'indice. Le paradigme de Posner (1980) a permis d'observer et reproduire ces effets de nombreuses fois chez des individus âgés de 7 à 70 ans (pour revue, Frischen, et al., 2007).

Au cours des interactions sociales, la direction du regard et le pointage du doigt d'autrui permettent donc de canaliser efficacement l'attention spatiale des adultes, comme des enfants. Cette faculté serait particulièrement intéressante à exploiter chez des personnes souffrant d'une difficulté à soutenir l'attention, comme les enfants atteints de TDA/H, à compter qu'elle soit préservée. Les travaux de Marotta et al. (2014) sont les premiers à étudier l'effet de l'orientation réflexive de l'attention par l'intermédiaire du regard chez les enfants atteints de TDA/H, par rapport à un groupe d'enfants sans troubles. A l'aide du paradigme de Posner (1980), ils ont comparé l'indication spatiale par le regard à des indices non sociaux (flèches et carrés en surbrillance). Les résultats de cette étude suggèrent que, lorsque des indices non sociaux sont utilisés, les enfants au développement typique et TDA/H sont en moyenne plus rapides lors de la présentation de la cible à l'endroit indiqué par l'indice. Néanmoins, lorsque l'indication par le regard est utilisé, les enfants atteints de TDA/H ne bénéficient pas, en moyenne, de cette orientation spatiale, contrairement aux enfants sans troubles. Ces auteurs concluent donc que l'orientation attentionnelle par le regard est, en moyenne, déficitaire chez les enfants souffrant de TDA/H, corroborant un déficit des compétences socio-cognitives généralement observé dans cette population (Bora & Pantelis, 2016). Toutefois, tous les enfants atteints de TDA/H ne

présentent pas de déficits dans la sphère sociale (Kofler et al., 2016) et il serait donc essentiel de déterminer si un enfant donné souffrant de TDA/H présente ou non de tels déficits.

**Projet en cours : Le comportement de suivi du regard et du pointage du doigt d'autrui dans le TDA/H : développement et calibrage d'un outil diagnostique pour neuropsychologues - TooN**

Ce projet est réalisé en collaboration avec **Laurence Conty** (UR DysCo, UPN), Professeure en Psychologie et Neurosciences Cognitives. Ce projet bénéficie de l'avis favorable du comité d'éthique de l'UFR SPSE (Université Paris Nanterre, N° d'avis : 2020-12-01)

Objectifs :

- Développer un outil standardisé permettant aux neuropsychologues de déterminer si un enfant atteint de TDA/H est capable de suivre le regard et/ou le pointage du doigt d'une autre personne, afin d'adapter sa remédiation en conséquence
- Etalonnage chez l'enfant type d'âge scolaire
- Validation dans un groupe clinique avec TDA/H

Moyens :

- Recrutement d'élèves en élémentaires (convention avec la DSDEN des Hauts-de-Seine en cours)
- Financement de la COMUE Paris Lumière « Tool for diagnosing other's gaze following in Neuropsychological disorders – TooN » porté par Laurence Conty sur la période 2019-2022 pour un montant de 33 100 euros
- Co-direction de la thèse de Belen Haza Gomez (contrat doctoral Paris Lumière obtenu en 2020)
- Encadrement d'étudiants de Master 1 et 2 de Neuropsychologie

Communication :

- Haza, B., Mersali, J., **Pinabiaux, C.** & Conty, L. (2021). Evaluating spatial cueing effects of social cues in children with ADHD: Pretest of three versions of a neuropsychological tool in children without disorders. Journée de la Recherche de la Fédération EPNR, Nanterre, 4 juin 2021.

A ce jour, les neuropsychologues n'ont pas à leur disposition d'outil permettant de déterminer si un enfant est sensible à l'indication spatiale par le regard et/ou le pointage du doigt d'une autre personne. Cependant, Narison et al. (2019) ont commencé à développer un outil diagnostique permettant de déterminer si un patient atteint d'une négligence spatiale unilatérale (NSU) est capable de suivre le regard d'autrui. En utilisant une version du paradigme de Posner (1980), ils ont montré que la comparaison des performances des patients NSU à un effet standard mesuré chez des patients contrôle permet d'identifier les patients qui sont capables de suivre un regard et/ou une flèche dans leur espace négligé, permettant ainsi d'identifier les patients qui peuvent bénéficier de cette compétence comme forme de compensation durant la rééducation. Une partie du projet TooN est donc d'étendre cet outil à l'âge scolaire et de l'adapter aux enfants souffrant de TDA/H. Cet outil permettrait aux neuropsychologues de déterminer si un enfant donné atteint de TDA/H est capable de suivre le regard et/ou le pointage du doigt d'autrui, afin d'adapter sa remédiation en conséquence. Cela permettrait de tester un mécanisme écologique d'orientation de l'attention, mais également une aptitude basique de la

cognition sociale, prédictive d'aptitudes sociales de plus haut niveau. Dans le cas où le mécanisme d'orientation spatiale en réponse aux indices sociaux serait préservé chez un enfant, ce mécanisme pourrait être utilisé comme moyen de canaliser son attention au cours de la rééducation et des apprentissages. Dans le cas contraire, détecter une anomalie permettrait de réhabiliter le mécanisme et d'anticiper des dysfonctionnements socio-cognitifs plus importants qui risquent de se manifester à partir de l'adolescence (Mrug et al., 2012). Ce projet est constitué de deux phases expérimentales :

- La première phase consistera à calibrer l'outil chez des enfants sans troubles âgés de 6 à 11 ans. Le recrutement se fera au sein d'écoles primaires publiques des Hauts-de-Seine et de Paris (une convention d'accueil avec la DSDEN du 92 est en cours). Le projet prévoit le recrutement de 200 enfants au total, dont 20 filles et 20 garçons par tranche d'âge.
- La deuxième phase consistera à tester l'outil chez 30 enfants atteints de TDA/H. Le recrutement se réalisera en collaborant avec des neuropsychologues exerçant en cabinet libéral ainsi que dans des services de pédopsychiatrie et de neuropédiatrie, en utilisant notamment les lieux de stages des étudiants en Master 1 et 2 de « Neuropsychologie Clinique et Cognitive à tous les âges de la vie, Neurosciences » de l'Université Paris Nanterre.

L'outil a été développé par l'équipe de Dominique Archambault (ingénieur informatique, Laboratoire CHArt, Paris 8) et Jawel Mersali (ingénieur), en langage Python. Il teste le comportement de suivi du regard et du pointage du doigt d'autrui de façon très écologique. En effet, il utilise le paradigme de Posner (1980) avec des vidéos de personnes réelles comme stimuli et des objets de la vie quotidienne comme cibles. D'après Langton et al. (2000), cumuler des indices sociaux pointant dans la même direction (tels que le regard, l'orientation de la tête et le pointage du doigt) permettrait d'optimiser les mécanismes d'orientation attentionnelle. Afin d'affiner l'évaluation des mécanismes d'orientation spatiale dans la sphère sociale, l'outil teste trois conditions différentes : une première condition où aucun indice n'est présenté (condition Neutre), une deuxième condition où le seul indice permettant d'orienter l'attention est le regard (condition Regard) et une dernière condition testant l'effet cumulé du regard, de la tête et du pointage du doigt (condition Pointage). Pour chaque condition, la cible apparaît soit du côté indicés (essais congruents), soit du côté opposé (essais incongruents). L'ajout des essais incongruents a été ajouté suite à un pré-test réalisé dans le but

de neutraliser les effets d'alerte du mouvement d'indigage par rapport à la condition neutre (cf. Encadré n°8).

#### Encadré n° 8 – Prétest de trois versions de l'outil TooN chez l'enfant

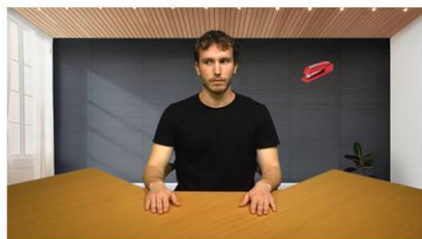
Lors de ce pré-test, 52 enfants sans troubles, âgés de 7 à 9 ans, ont été évalués à l'aide de 3 versions différentes (version neutre : n=19, âge moyen  $8,24 \pm 0,54$  ans, 13 filles ; version mouvement : n=18, âge moyen  $8,28 \pm 0,54$  ans, 13 filles ; version incongruence : n=15, âge moyen  $8,26 \pm 0,46$  ans, 8 filles) de l'outil (cf. figure a. ci-dessous). Tous les enfants devaient appuyer sur un bouton le plus rapidement possible lorsqu'un objet apparaissait à l'écran, à gauche ou à droite d'un individu. Dans deux tiers des essais, le côté de l'apparition de l'objet était indiqué à l'avance par l'individu soit en déviant son regard, soit en pointant du doigt (essais congruents). Selon la version de l'outil, ces essais ont été comparés à (1) des essais neutres dans lesquels la personne n'a pas bougé avant l'apparition de l'objet ; (2) des essais avec mouvement dans lesquels l'individu a pointé son doigt vers les enfants avant l'apparition de l'objet et (3) des essais d'incongruence dans lesquels l'individu regardait ou pointait vers le côté opposé de l'apparition de l'objet.



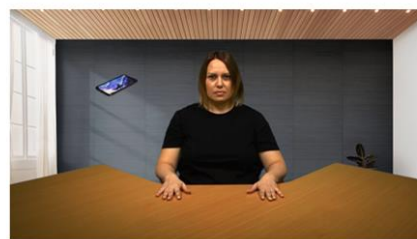
Essai congruent / pointage



Essai de mouvement



Essai incongruent / regard



Essai neutre

Figure 18. Exemples des différents types d'essais pour les trois versions de l'outil.

Les tailles d'effet standard ont été calculées pour le pointage et le regard dans chaque version en faisant la différence entre les temps de réaction obtenus dans les essais incongrus, neutres ou en mouvement et les temps de réaction obtenus dans les essais congruents (cf. figure b).

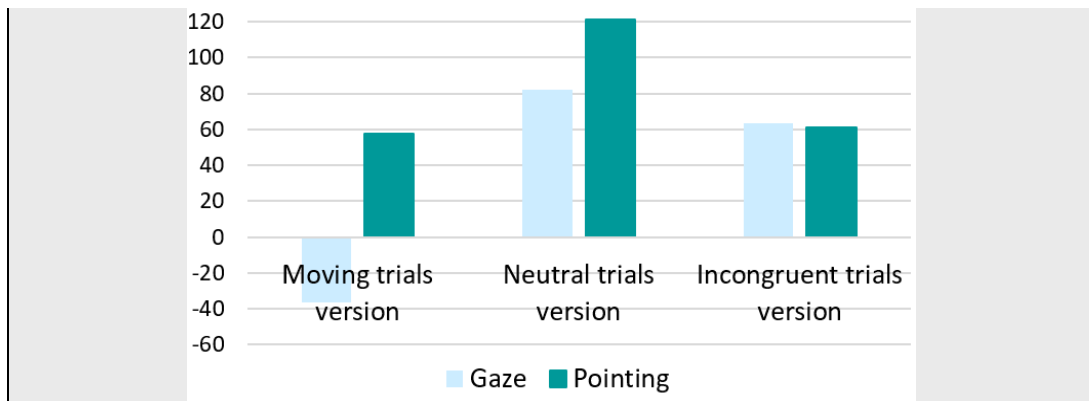


Figure 19. Tailles d'effet standard (en ms) dans les différentes versions et conditions d'indigage.

Comme prévu, le pointage du doigt a déclenché de forts effets de repérage dans la version d'essais neutres ( $t(19) = 10,37, p < .001$ ), la version d'essais en mouvement ( $t(17) = 4,81, p < .001$ ) et la version d'essais incongrus ( $t(14) = 4,24, p < .001$ ). En revanche, l'intensité de l'effet de repérage du regard dépendait des essais de comparaison. Dans les versions manipulant les essais neutres ( $t(19) = 5,86, p < .001$ ) et les essais incongrus ( $t(14) = 3,39, p < .01$ ), le regard a déclenché de forts effets de repérage. Cependant, le regard n'a pas déclenché de forts effets de repérage dans la version des essais en mouvement ( $t(17) = -1,57, ns$ ). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les essais en mouvement suscitent un mouvement plus saillant que le regard congruent et qu'ils alertent le participant sur la proximité temporelle de l'apparition de l'objet. La version manipulant les essais incongrus, qui mesure les forts effets de repérage du regard et du pointage, contrôle cette question d'alerte.

La version manipulant des essais incongrus était la plus appropriée pour mesurer les effets d'indigage social et a donc été choisie pour être calibrée dans un large groupe d'enfants au développement typique.

Communication associée : Haza, B., Mersali, J., **Pinabiaux, C.** & Conty, L. (2021). Evaluating spatial cueing effects of social cues in children with ADHD: Pretest of three versions of a neuropsychological tool in children without disorders. Journée de la Recherche de la Fédération EPNR, Nanterre, 4 juin 2021.

L'outil est divisé en deux séquences identiques constituées de plusieurs essais dont l'ordre diffère d'une séquence à l'autre (voir la procédure pour chaque essai – Figure 20). Chaque essai est initié par un cercle de fixation bleu au centre de l'écran pendant 500 ms. Par la suite, une vidéo apparaît dans l'une des conditions expérimentales (Neutre, Regard, Pointage), avant qu'un objet apparaisse sur le côté droit ou gauche. A ces essais sont ajoutés des essais leurres dans lesquels aucun objet n'apparaît. La tâche du participant consiste à appuyer le plus rapidement possible sur la barre espace quand un objet apparaît à droite ou à gauche de l'écran ou bien de ne pas appuyer si aucun objet n'apparaît (cf. figure 20). L'ordre d'apparition des essais est pseudo-aléatoire au sein de chaque séquence et change pour chaque participant. Les passations seront effectuées individuellement, dans une salle calme et isolée. Les participants seront assis devant un ordinateur, à une distance calculée de manière à ce que



les objets apparaissent entre 12 et 13° d'angle visuel en périphérie visuelle. L'ordinateur sera centré par rapport à la médiane du corps du participant et l'expérimentateur s'assurera que les yeux de chaque participant seront bien placés au centre de l'écran.

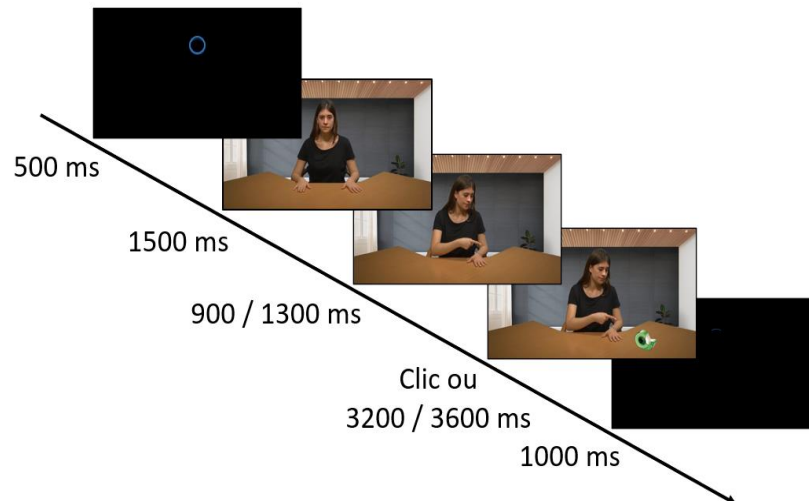


Figure 20. Déroulement temporel d'un essai (ici pointage congruent).

En conclusion, cette ligne de recherche s'inscrit dans la continuité de ce que j'ai pu entreprendre par le passé sur la transversalité des FE en lien avec la cognition sociale. Il me permet également de garder une forte empreinte neuropsychologique en étendant mon expertise à d'autres troubles neurodéveloppementaux que par le passé ; et de développer en collaboration avec d'autres chercheurs un outil d'évaluation novateur qui sera utile pour interroger les capacités non verbales de la cognition sociale. L'inscription de ce travail dans un projet d'envergure (projet TooN, porteuse Laurence Conty, financement Paris Lumières) avec des collaborations à l'étranger apporte de nouvelles compétences à mon profil et m'encourage à poursuivre l'encadrement doctoral et à être moi-même porteuse de projets à dimension nationale ou internationale.

## **2. Fonctions exécutives et apprentissage scolaires : la pertinence de la programmation robotique**

Une récente méta-analyse portant sur 32 études proposant un entraînement cognitif chez des enfants âgés de 3 à 6 ans a montré un effet global des programmes d'entraînement sur les FE, avec un transfert sur l'ensemble des composantes exécutives (Scionti et al., 2020). Parmi les programmes cognitifs recensés, certains ont été catégorisés comme « informatisés ». Ces programmes incluaient à la fois des tâches réalisées sur ordinateur, sur tablette, en réalité virtuelle ou avec des robots. Même si Scionti et ses collaborateurs (2020) rapportent des effets deux fois plus importants des programme d'entraînement non informatisé par rapport à ceux de des programmes informatisés, la différence d'efficacité entre les deux modalités (informatisée ou non) n'était pas significative. Il apparaît donc que les programmes reposant sur du matériel informatique pourraient être des bons candidats à l'entraînement des FE. Néanmoins, la méta-analyse de Scionti et al (2020) ne propose pas de distinguer les effets de technologies pourtant très différentes : certaines très passives, comme la tablette, et d'autres faisant intervenir de la manipulation et la décentration, comme l'utilisation de robots. C'est cette dernière technologie qui sera utilisée dans les projets que je mènerai. Mon intérêt pour l'utilisation des robots s'est révélé de manière fortuite, lorsque j'ai appris que certaines écoles maternelles étaient dotées dans leur matériel pédagogique de « robots abeilles ». Bien que ce matériel innovant semblât intéresser les enseignants, peu l'utilisait en pratique. Cela m'a amenée à me questionner sur l'utilisation possible de cette technologie, du point de vue des fonctions cognitives impliquées, au-delà de l'attrait ludique évident.

Le courant éducatif de la robotique pédagogique a été initié par Papert dans les années 80. Cette approche psychopédagogique associée au dispositif LOGO (robot de sol en forme de tortue) joint la simplicité d'une interface à la puissance d'un langage de programmation et permettrait aux apprenants de développer diverses compétences transversales (Komis & Misirli, 2013). Un des objectifs du courant LOGO était de permettre aux enfants d'agir sur le robot à partir de leurs propres modèles de pensée et par conséquent de développer leurs capacités métacognitives (Bossuet, 1982). Ainsi, les milieux éducatifs utilisent des robots comme outil d'enseignement et d'apprentissage depuis une vingtaine d'années avec pour objectif de renforcer des domaines spécifiques aux compétences académiques (Karen & Fridin, 2014 ; Leroux & Vivet, 2000). En France, l'utilisation des outils numérique en cycle 1 est mentionnée comme faisant partie du domaine d'apprentissage « Explorer le monde » le cadre des

programmes de l'Education Nationale (Bulletin Officiel de l'Education Nationale n°31, 30 juillet 2020<sup>42</sup>). Progressivement, la robotique se positionne donc comme un nouvel outil pouvant favoriser les apprentissages scolaires (Johnson, 2013). Contrairement aux autres outils numériques, le robot éducatif est un objet systémique et réel qui offre la possibilité aux enfants d'être acteurs, de concrètement le manipuler tout en favorisant un travail interactif et collaboratif (Bers et al., 2014). L'éducation à la robotique possède ainsi un fort ancrage constructiviste puisqu'elle repose sur la manipulation du matériel (l'expérimentation de celui-ci) ainsi que sur l'engagement actif de l'apprenant (Salomon & Perkins, 1996), à partir de situations réelles et dans un contexte de résolution de problème (Bellegarde et al., 2019). De plus, la manipulation des robots possède un aspect ludique important, permettant de développer des habiletés sociales (Yelland, 2007, cité par Komis & Misirli, 2013). Le jeu pour apprendre est d'ailleurs une notion clé des programmes de maternelle depuis 2015 (MEN, 2015). Il ne faut toutefois pas réduire les robots programmables à un simple jouet éducatif puisque ce dernier doit être assisté d'un accompagnant construisant des problèmes adéquats au-delà de l'aspect ludique du robot (Komis et al., 2016).

Certaines études mettent en évidence que l'utilisation de robots pourrait être bénéfique dans le cas d'apprentissages spécifiques comme le domaine des mathématiques, de la technologie, de l'ingénierie ou encore des sciences (Nugent et al., 2008 ; Nugent et al., 2010). Cependant peu d'études se sont intéressées aux liens avec des fonctions cognitives transversales comme les FE. Pourtant, la programmation des actions du robot, nécessite pour chaque étape : une anticipation mentale de l'action, une éventuelle décomposition en sous-étapes, la sélection de la commande appropriée et une mise à jour continue des étapes de la programmation afin d'atteindre le but visé. Autrement dit, la programmation informatique ou codage du robot repose sur les capacités très proches, voire similaires, aux FE. Le projet de recherche que je propose vise à mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'apprentissage de la programmation informatique, notamment à travers l'utilisation de robots programmables. Une vue d'ensemble du projet et des moyens envisagés est présentée dans la figure 21.

---

<sup>42</sup> [https://cache.media.eduscol.education.fr/file/A-scolarité\\_obligatoire/24/3/Programme2020\\_cycle\\_1\\_comparatif\\_1313243.pdf](https://cache.media.eduscol.education.fr/file/A-scolarité_obligatoire/24/3/Programme2020_cycle_1_comparatif_1313243.pdf)

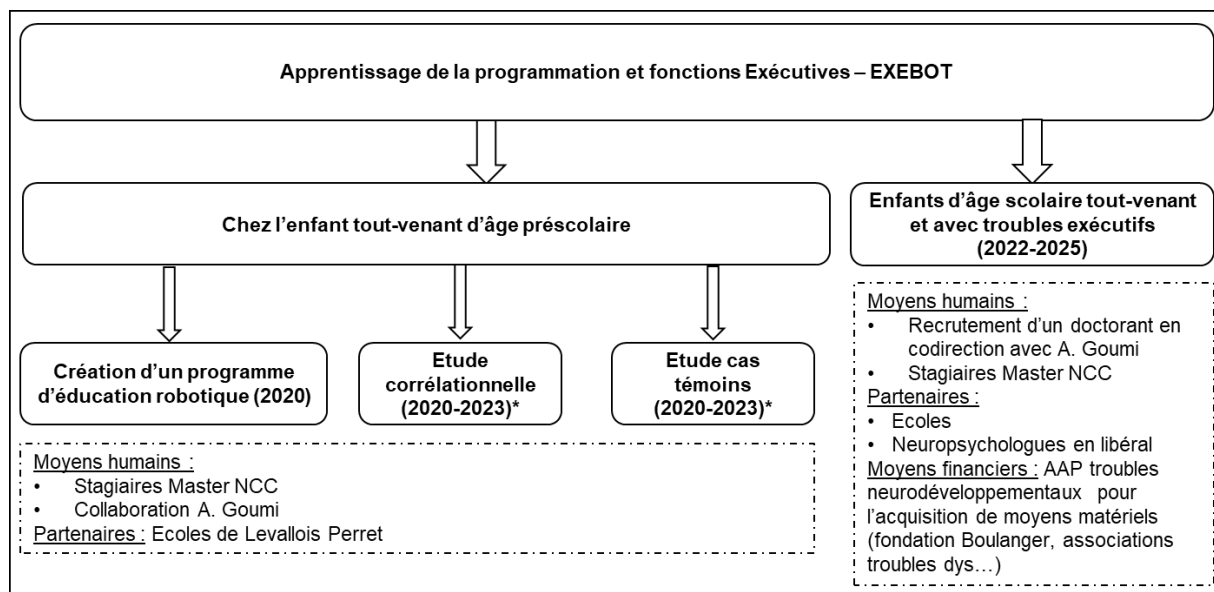


Figure 21. Vision globale du projet de recherche EXEBOT à long terme. NCC : Neuropsychologie Clinique et Cognitive à tous les âges de la vie (Université Paris Nanterre) ; AAP : appel à projets. \*interruption pendant la crise sanitaire du Covid-19.

La première partie de ce projet est mise concrètement en œuvre dans une étude visant à étudier les liens entre fonctions exécutives et apprentissage de la programmation. Cette question peut être posée du point de vue des points communs entre les processus mis en action lors d'épreuves exécutives et de tâches de robotique, dans une approche corrélacionnelle. Cette première étude implique des élèves de maternelle, chez qui les FE sont en plein développement et pour lesquels l'apprentissage de la programmation est maintenant présent dans les programmes de l'Education Nationale. La question du lien entre FE et apprentissage de la programmation peut également se poser en cherchant à démontrer le bénéfice de l'apprentissage de la programmation sur les capacités exécutives des enfants. Cette approche est la même que celle que nous avons choisi de suivre lors de la thèse de Pauline Laurent afin d'étudier l'effet d'une formation à l'apprentissage auto-régulé sur les FE chez l'adolescent. Cependant, le ciblage d'une population d'âge pré-scolaire devrait permettre d'observer des résultats plus marqués en raison du développement important des FE à cette période.

Une première étude concernant les effets d'un entraînement à l'éducation à la robotique (robot de sol Bee-Bot) sur le développement des FE chez les enfants d'âge préscolaire a été menée en 2017 par une équipe italienne (Di Lieto et al., 2017). Les auteurs soutiennent l'hypothèse que les FE des enfants d'âge précoce, notamment les composantes d'inhibition et de mémoire de travail peuvent être améliorées par une formation courte mais intensive, à la programmation robotique. Des mesures de compétences exécutives, attentionnelles et visuo-

spatiale ont été réalisées chez 12 enfants âgés de 5 à 6 ans à trois moments espacés de 5 semaines (T0, T1 et T2). Les séances avec le robot (la Bee-bot, voir infra) ont lieu entre T1 et T2, la période entre T0 et T1 étant utilisée comme contrôle. Les résultats indiquent une amélioration des performances en inhibition (diminution du nombre d'erreurs au « *Pippo says test*<sup>43</sup> » et au subtest Inhibition de la Nepsy-2) et mémoire de travail visuo-spatiale (blocs de Corsi envers) entre T1 et T2 alors qu'aucune différence significative n'est observée entre T0 et T1. Cependant, les auteurs n'ont pas réalisé les analyses statistiques permettant de comparer quantitativement ces deux évolutions et l'absence de groupe contrôle ne permet pas d'éliminer que ces effets soient liés à la maturation habituelle des FE à cet âge. Des mesures qualitatives réalisées pendant les séances étaient en faveur d'une amélioration des capacités attentionnelles et d'une utilisation plus marquée des stratégies de vérification au fil des séances. Toutefois, outre le nombre restreint de participant qui pose la question de la généralisation des conclusions, une importante limite méthodologique liée à la procédure expérimentale doit être soulevée. L'utilisation de la différence entre T0 et T1 comme période contrôle et donc l'administration des tests à 3 reprises pose la question de l'effet d'entraînement aux tests. L'amélioration significative entre T1 et T2 pourrait se produire car les enfants réalisent les mêmes épreuves pour la troisième fois et non car ils ont appris à utiliser un robot de sol entre ces deux moments. L'équipe italienne de Di Lieto a repris ce protocole dans une étude sur un échantillon beaucoup plus important (n=187 enfants de 5-6 ans) au cours d'un essai randomisé contrôlé (Di Lieto et al., 2020a). Ce design expérimental a permis aux auteurs de reproduire une partie des résultats obtenus en 2017 sans les biais méthodologiques liés à l'absence de groupe contrôle, aux effets d'entraînement aux tâches exécutives et à l'impact de la maturation. L'entraînement était toujours pensé de manière intensive, avec deux sessions d'une heure, deux fois par semaine pendant 10 semaines. Les résultats obtenus en 2020 montrent que l'entraînement à la robotique engendre une amélioration des performances dans une tâche de mémoire de travail visuo-spatiale (*Matrix Path*<sup>44</sup>) et dans des tâches d'inhibition et de contrôle de l'interférence (subtest Inhibition de la Nepsy-2, et *Little Frogs subtest*<sup>45</sup>). Les tailles d'effets correspondantes étaient modérées (d de Cohen compris entre .23 et .69). Contrairement à l'étude princeps de 2017, les

---

<sup>43</sup> Version modifiée du *Simon says test* (Marshall & Drew, 2014). Dans la première partie de la tâche, l'enfant doit réaliser une action uniquement lorsque la consigne débute par « Pippo dice... ». Dans la seconde partie la tâche reste la même mais l'enfant doit en plus ignorer un adulte qui réalise toutes les actions quelle que soit la consigne.

<sup>44</sup> L'enfant doit indiquer le point d'arrivée d'une séquence dictée par l'expérimentateur sur une matrice. La réussite repose sur la mise à jour séquentielle des informations, avec une charge en mémoire de travail plus élevée que dans la tâche des blocs de Corsi (Mammarella et al., 2008).

<sup>45</sup> Tâche de type Go / No-go évaluant l'inhibition d'une réponse motrice en contexte d'attention sélective et soutenue (Marzocchi et al., 2010).

auteurs n'ont pas retrouvé d'effets significatifs de l'entraînement sur les performances à la tâche *Pippo says* ni aux blocs de Corsi.

---

**Projet en cours : Apprentissage de la robotique à la maternelle et fonctions exécutives – ExeBot-  
Prescol**

---

Je développe un programme de recherche s'intéressant plus particulièrement à la question de l'implication des FE dans des apprentissages spécifiques (ici la robotique) chez le jeune enfant en maternelle, avec mes collègues **Antonine Goumi** (UR DysCo, UPN), spécialisée en psychologie cognitive et des apprentissages, et **Corentin Gosling** (UR DysCo, UPN), spécialisé en neuropsychologie.

Objectifs :

- Mise au point d'un programme d'apprentissage de la robotique à la maternelle
- Evaluation de l'implication des fonctions exécutives dans l'apprentissage de la robotique en maternelle avec une approche corrélacionnelle
- Réplication de l'effet de l'apprentissage de la robotique sur le développement des fonctions exécutives

Moyens :

- Recrutement d'élèves de grande section de maternelle de Région Parisienne
- Encadrement d'étudiants de Master 1 et 2 de Neuropsychologie

Communications affichées :

- Flais, C., **Pinabiaux, C.** & Goumi, A. (2019). Le lien entre la robotique et les FE : étude préliminaire de l'effet de séances pédagogiques avec la Blue-bot chez des enfants de maternelle. Journée de la recherche de la Fédération EPNR, Nanterre, 19 avril 2019.
- **Pinabiaux, C.** & Goumi, A. (2021). Des robots dans la classe ! Liens entre robotique éducationnelle et fonctions exécutives à l'école maternelle. Journée des fonctions exécutives, Angers (en ligne), 23-26 juin 2021.

Publication in prep : Goumi, A., Gosling, C. & **Pinabiaux, C.** Learning with robots: relationships with executive functions in preschoolers.

---

Avec Antonine Goumi (UR DysCo, UPN), nous avons choisi d'adapter le protocole de Di Lieto et al (2017) en cherchant à comprendre quelle est l'implication des FE dans l'apprentissage de la robotique. Contrairement aux études italiennes, nous souhaitons baser la construction du protocole, et le choix des mesures exécutives sur le modèle théorique de Diamond (2013) afin de pouvoir tirer également des conclusions conceptuelles. Le projet ExeBot sera menée dans des classes de grande section de maternelle de la région Parisienne, avec les contraintes en termes de moyens et d'organisation que cela impose (périodes de 6 semaines d'école intercalées avec 2 semaines de vacances). La réalisation de ce projet implique la participation d'étudiants en Master 1 et 2 « Neuropsychologie Clinique et Cognitive à tous les âges de la vie, Neurosciences » de l'Université Paris Nanterre. La procédure expérimentale est présentée dans la figure 22. Deux sessions d'évaluation comportementale des FE sont proposées à 7 semaines d'intervalle avant (T1) et après (T2) 8 sessions de robotique pour le

groupe expérimental. Le groupe contrôle poursuit les activités pédagogiques habituelles, mais afin de ne pas engendrer de frustration ou d'inégalité pédagogique, des sessions de robotique sont réalisées par l'enseignante auprès de ces enfants après la fin de la procédure. Les étudiantes qui réalisent les évaluations comportementales ignorent si les enfants appartenaient au groupe contrôle ou au groupe expérimental. De même, les expérimentatrices qui réalisent les sessions de robotique ne connaissent pas les résultats des enfants aux tests.

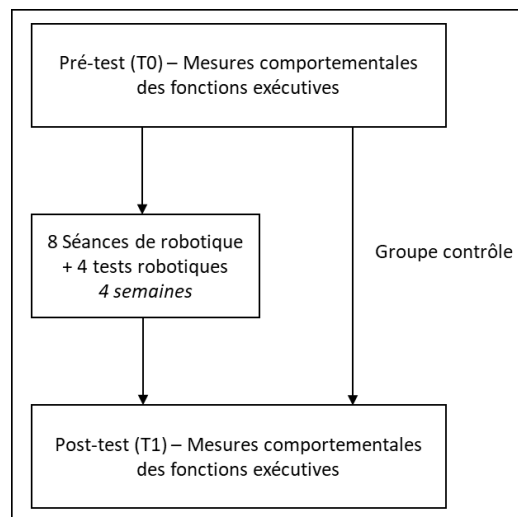


Figure 22. **Procédure expérimentale.**

Les mesures comportementales des FE réalisées à T0 et T1 comprennent des tests évaluant la planification (KABC-2<sup>46</sup>), la stratégie de recherche lexicale (Production de Mots, Nepsy-2<sup>47</sup>), l'inhibition d'une réponse automatique verbale (Inhibition<sup>48</sup>, Nepsy-2) ou non verbale (Flanker Task<sup>49</sup>, Diamond et al., 2007) et la mémoire de travail verbale (Empans de

<sup>46</sup> Ce subtest mesure la capacité à planifier un déplacement entre un point de départ et une arrivée avec une petite figure de chien. L'enfant doit déplacer la figurine sur une carte quadrillée en effectuant le moins de déplacements possibles, en évitant certaines cases et en un temps limité (Kaufman & Kaufman, 2008).

<sup>47</sup> L'enfant doit citer le plus de noms d'animaux en une minute (Korkman et al., 2012).

<sup>48</sup> Dans la première condition de la tâche (dénomination), l'enfant doit dénommer des formes le plus rapidement possible. Dans la seconde condition (inhibition), l'enfant doit dire le contraire de ce qu'il voit (e.g. dire « rond » quand il/elle voit un carré). Les erreurs et les temps d'exécution sont relevés.

<sup>49</sup> Nous avons adapté la tâche développée par Diamond et al. (2007) à l'aide du logiciel libre OpenSesame (<https://osdoc.cogsci.nl/3.2/>). Lors de chaque essai, 5 poissons contenant une flèche pointant à droite ou à gauche apparaissent à l'écran d'un ordinateur. L'enfant doit appuyer sur la touche qui correspond à la direction indiquée par la flèche contenue dans le poisson du milieu (a pour droite, m pour gauche). Les essais peuvent être congruents (toutes les flèches pointent vers la même direction) ou incongruents (les flèches périphériques pointent vers la direction opposée). Les essais incongruents créent une interférence entre la réponse prépondérante automatique et la réponse correcte. Après une phase d'entraînement, 40 essais sont proposés (20 incongruents) avec pour chacun un temps limite de 2 s. Les temps de réponses et le nombre d'erreurs sont relevés pour chaque condition.

Chiffres<sup>50</sup>, WISC-5 ; Wechsler, 2016) et visuo-spatiale (Blocs de Corsi<sup>51</sup> ; Fournier & Albaret, 2013). Le choix des mesures repose sur le modèle de Diamond (2013), postulant l'importance des capacités d'inhibition et de mémoire de travail. Nous avons ajouté des mesures de planification qui, bien que constituant une capacité de plus haut niveau, nous paraissent essentielles en raison de leurs similitudes avec les activités de programmation de la Bee-Bot.

Les sessions de robotique reposent sur l'apprentissage de la programmation d'un robot de sol, représentant une abeille, la Bee-Bot (cf. figure 23). La Bee-bot est un robot programmable capable d'enregistrer jusqu'à quarante actions à l'aide de touches (en avant, en arrière, rotation gauche, rotation droite).

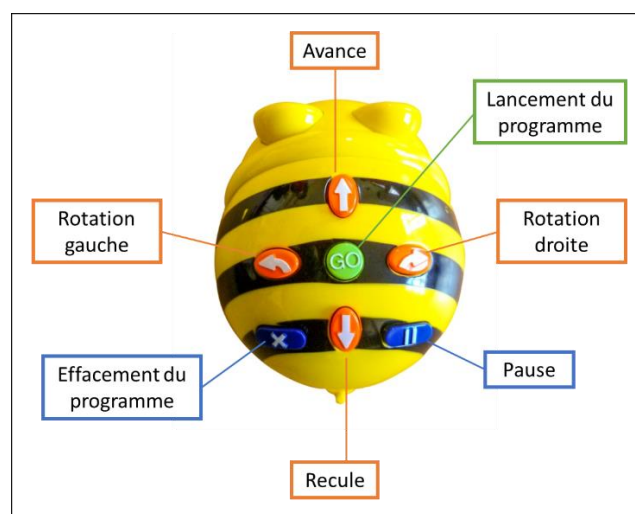


Figure 23. Visualisation de la Bee-Bot et des touches de programmation.

Les séances de robotique ont lieu deux fois par semaine pendant 4 semaines. Chaque séance dure 30 minutes et est conduite par deux expérimentatrices chacune auprès de groupe de 5 à 6 élèves, à l'exception de la première séance de présentation du robot, réalisée en classe entière. Au cours des séances suivantes, les enfants seront répartis autour de tapis quadrillés (7x5 carrés de 15x15 cm) permettant de matérialiser les déplacements du robot. Pour certaines séances, des cartes représentant les touches de déplacement seront fournies. Lors de la dernière

<sup>50</sup> L'enfant doit répéter des séries de chiffres de plus en plus longues dans l'ordre où il/elle les a entendues puis en ordre inverse. La valeur de l'empan correspond à la plus longue série répétée correctement.

<sup>51</sup> Neuf cubes en plastique bleu sont présentés sur une planche. L'enfant doit reproduire des séquences de plus en plus longues en touchant les blocs un à un, dans le même ordre puis dans l'ordre inverse de la séquence réalisée par l'expérimentatrice. La valeur de l'empan correspond à la plus longue séquence réalisée correctement.



séance, une version similaire à la Bee-Bot mais programmable à distance par Bluetooth (la Blue-Bot) et des barres de programmation sont utilisées (cf. figure 24).

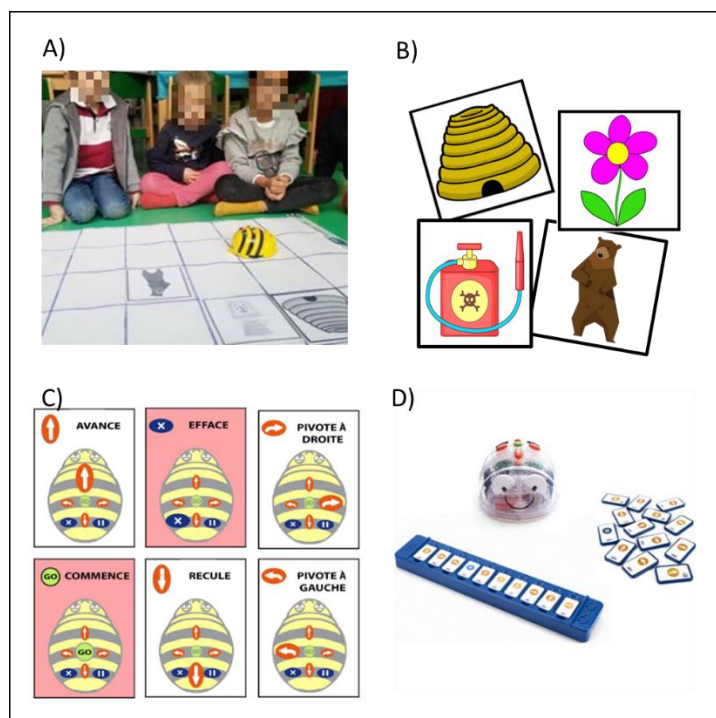


Figure 24. Matériel utilisé lors des séances de robotique. A) Tapis quadrillé B) Exemple de cartes représentant des objectifs à atteindre ou des obstacles à éviter C) Cartes de programmation représentant les actions possibles à l'aide des touches D) Blue-Bot et barre de programmation à distance.

Les séances de robotique ont été conçues par Antonine Goumi et moi-même en collaboration avec Charlène Pivette, professeure des écoles, ayant déjà utilisé les Bee-Bots lors de séances pédagogiques en classe de grande section de maternelle. Chaque séance était centrée autour d'un nouvel apprentissage, en suivant toujours le même déroulement : (1) révision en groupe de la séance précédente, (2) démonstration par l'expérimentatrice d'une nouvelle situation (e.g. "comment faire pour atteindre la ruche sans passer par l'ours ?") puis débat entre les enfants à propos des différentes solutions programmables, (3) entraînement de binômes d'enfants avec la Bee-Bot sur l'activité du jour (e.g. programmer un déplacement avec une rotation) et (4) débriefing en groupe des nouvelles compétences acquises. Toutes les séances étaient réalisées de façon narrative et ludique pour favoriser la motivation et l'engagement actif des enfants (e.g. « Tu vois ? La Bee-Bot a très faim, elle veut butiner avant de rentrer à la ruche, mais elle doit faire attention d'éviter de rencontrer l'ours sur son chemin. »). Le contenu des séances visait l'acquisition de compétences de programmation informatique en accord avec les

directives de l'Education Nationale mais impliquait également des capacités de planification, d'inhibition et de mémoire de travail. En effet, chaque séance proposait une situation inédite, à même de faire appel aux FE. Les séances étaient conçues avec une difficulté incrémentale pour permettre aux enfants d'atteindre graduellement de meilleures compétences, avec une approche basée sur la méthode de l'apprentissage sans erreur (Warmington et al., 2013).

Au cours des séances 2, 4, 6 et 8, des tests de robotique de difficulté croissante avec enregistrement vidéo sont réalisés (cf. figure 25). Au test 1, l'enfant doit programmer le trajet de la Bee-Bot vers la ruche. Au test 2, une étape obligatoire est ajoutée (fleur). Au test 3, le robot doit passer obligatoirement sur deux fleurs. Au test 4, le trajet doit être programmé en évitant deux obstacles (poison ou ours). Enfin au test 4, le trajet comporte une étape obligatoire et un obstacle. Les enregistrements vidéo seront réalisés afin de faciliter le codage des comportements de l'enfant. Les variables codées seront la réussite à la tâche, le temps de planification, le nombre d'actions programmées et le nombre d'étapes réalisées pour atteindre la case finale. Les données recueillies lors de ces tests de robotiques seront corrélées avec les mesures de FE à T0 afin de déterminer quelles composantes des FE sont impliquées aux différents moments de l'apprentissage de la programmation du robot.

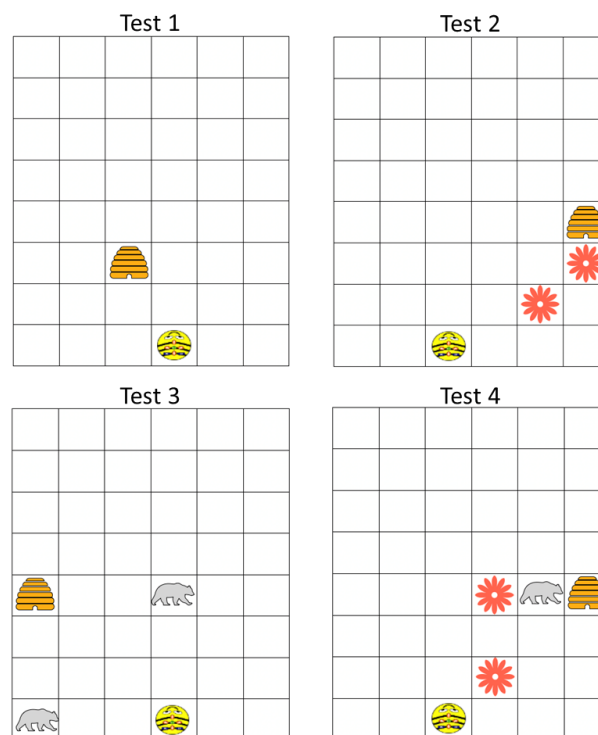


Figure 25. Configuration des éléments lors des tests de robotique. Les ruches représentent la case à atteindre, les fleurs représentent une étape obligatoire et les ours un obstacle à éviter.

Cette première partie du projet ExeBot nous permettra de vérifier que les FE sont bien en jeu dans l'apprentissage de la programmation d'un robot, alors même que ces fonctions ne sont pas encore pleinement développées. Elle est également l'occasion de créer un module de formation à la robotique, à la fois ludique et mettant en jeu les FE.

A terme, l'objectif du projet ExeBot sera d'adapter le protocole chez des enfants plus grands avec difficultés exécutives, afin de déterminer si l'apprentissage de la programmation d'un robot pourrait servir lors de la remédiation neuropsychologique. En effet, Di Lieto et al. (2020b) ont utilisé le programme intensif d'entraînement à la robotique à l'aide de la BeeBot auprès de 42 enfants à besoins particuliers. Les auteurs montrent à nouveau un effet bénéfique. Le terme de besoins particulier englobe en réalité un groupe très hétérogène de profils avec des troubles qui peuvent s'exprimer sur le plan moteur, sensoriel et/ou cognitif. Di Lieto et al. (2020b) ne précisent pas quel sont les diagnostics de leurs participants à besoins particuliers, ces diagnostics pouvant être aussi variés que le TDA/H, les troubles du spectre autistique, les déficiences intellectuelles, les troubles spécifiques des apprentissages (dyslexie, dyscalculie), les troubles spécifiques du langage oral... De plus, la relation causale entre les difficultés exécutives et les besoins particuliers n'est pas univoque, pour certains diagnostics (TDA/H par exemple), les difficultés exécutives sont au cœur de la symptomatologie, alors qu'elles peuvent être secondaires ou absentes dans d'autres conditions (Astrea et al., 2016). L'objectif du projet ExeBot serait donc de proposer le protocole d'apprentissage de la programmation robotique de façon ciblée à des enfants présentant des troubles des FE objectivée par un bilan neuropsychologique. La réalisation de cette partie du projet reposera sur des collaborations avec des neuropsychologues exerçant une pratique de remédiation et pouvant accueillir des stagiaires de Master 1 et 2 de « Neuropsychologie Clinique et Cognitive à tous les âges de la vie, Neurosciences » de l'Université Paris Nanterre.



## Synthèse de la seconde partie

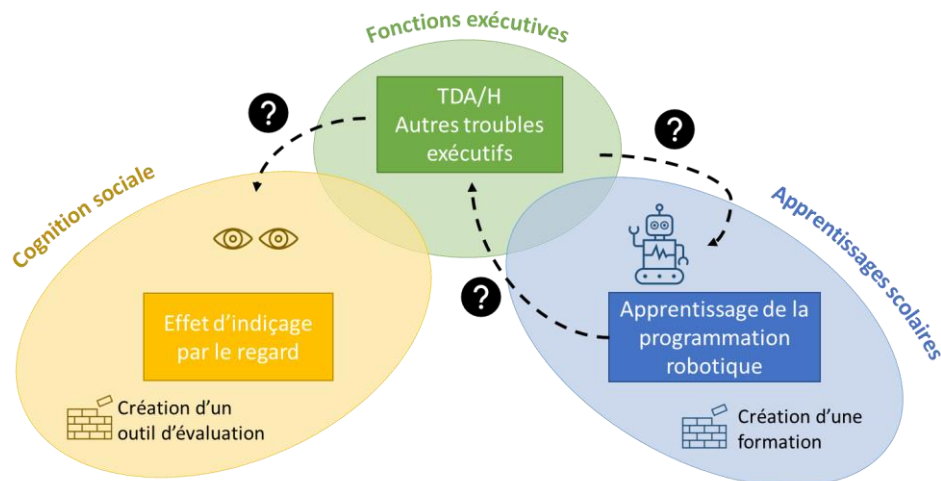


Figure 26. Représentation schématique des projets de recherche.

Les projets de recherche que je souhaite développer dans les 5 années à venir ont tous pour point commun de s'intéresser à la problématique de la transversalité des troubles exécutifs dans une approche de neuropsychologie développementale. Les questions que je me pose concernent d'une part une meilleure description et évaluation des troubles de la cognition sociale – par le biais notamment de l'effet d'indiciage par le regard – dans des troubles neurodéveloppementaux avec composante dysexécutive ; et d'autre part, de mieux comprendre les influences réciproques du développement des fonctions exécutives et des apprentissages scolaires – en adoptant une approche innovante basée sur l'apprentissage de la programmation robotique. La réalisation de ses projets se concrétisera en outre par la création d'un outil d'évaluation et de séances d'apprentissage de la programmation robotique qui auront des implications pratiques dans l'évaluation et la remédiation neuropsychologique et mais aussi dans l'éducation. Comme cela peut se voir dans mes expériences passées, le travail collaboratif me tient particulièrement à cœur. Ces projets reposeront donc sur la collaboration avec mes collègues chercheurs, mais aussi sur des partenariats avec les structures hospitalières et les écoles, ainsi que sur l'encadrement de doctorants, en co-direction puis je l'espère seule, après l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches. Une co-direction est en cours et j'espère recruter un doctorant pour la rentrée 2022. J'ai conscience que la réalisation de ces projets nécessite le recours à des financements, ce qui sera effectué grâce à des réponses à des appels à projets ciblés sur les troubles neurodéveloppementaux.

# Conclusion

---

Presque 10 années se sont écoulées depuis que j'ai soutenu ma thèse de doctorat en 2012. Sur le plan professionnel, cette décennie aura été marquée pour moi par de nombreuses collaborations et par la pérennisation de mon statut d'enseignante-chercheure depuis mon recrutement à l'Université Paris Nanterre en 2014.

Ces projets collaboratifs ont été incroyablement riches, sur le plan scientifique et humain. Ils ont parfois montré la difficulté de valoriser le travail mené à la frontière de plusieurs disciplines ou reposant sur le recrutement de patients très hétérogènes. Trouver un fil conducteur à l'ensemble des travaux menés n'a pas été tâche facile, c'est pourquoi j'ai fait le choix d'axer ce manuscrit sur les fonctions exécutives, qui par leur nature transversale, à la fois unitaire et multiple, constituent finalement une allégorie assez fidèle de mon parcours de chercheure.

La collaboration scientifique est une source d'inspiration et d'émulation qui restera toujours je pense dans mon A.D.N. de chercheure, mais le temps passant, j'ai de plus en plus à cœur de relever le défi de diriger des projets plus personnels et d'inscrire mon travail dans une ligne de recherche cohérente.

J'ai la chance d'avoir pu participer à l'encadrement de doctorant un an après mon recrutement en tant que MCF. Mes expériences d'encadrement doctoral, mais également les nombreux encadrements d'étudiantes et étudiants en Master, m'ont prouvé que c'est par la formation à la recherche de haut niveau que nous pouvons maintenir à jour nos compétences et connaissances en tant qu'enseignant-chercheur. Ces encadrements ont également été l'occasion pour moi d'asseoir mon positionnement en tant que « directrice » du travail de recherche, et j'ai pour cela bénéficié de l'exemple et du parrainage des Professeurs avec qui j'ai co-dirigé ou je co-dirige actuellement des thèses. Je me sens donc aujourd'hui confiante pour diriger seule le travail d'une doctorante ou d'un doctorant.

Ce manuscrit a été l'occasion de porter un regard vers le passé, et d'envisager l'avenir de façon concrète. L'Habilitation à Diriger des Recherches me permettra de poursuivre mon évolution en tant que chercheure, de façon plus autonome mais jamais isolée.

# Références

---

- Adolphs, R., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1996). Cortical Systems for the Recognition of Emotion in Facial Expressions. *Journal of Neuroscience*, 16(23), 7678-7687. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.16-23-07678.1996>
- Aduen, P. A., Day, T. N., Kofler, M. J., Harmon, S. L., Wells, E. L., & Sarver, D. E. (2018). Social Problems in ADHD : Is it a Skills Acquisition or Performance Problem? *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 40(3), 440-451. <https://doi.org/10.1007/s10862-018-9649-7>
- Albaret, J.-M., & Migliore, L. (1999). *Test de Stroop*. Paris, France: ECPA, les éditions du centre de psychologie appliquée.
- Allain, P., & Legall, D. (2008). Chapitre 1 : approche théorique des fonctions exécutives. Dans O. Godefroy & membres du GREFEX (dir.), *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques : évaluation en pratique clinique*. Marseille, France : Solal.
- American Psychiatric Association (2013). *DSM-5 : diagnostic and statistical manual of mental disorders, 5<sup>e</sup> édition*. Washington D.C. : American Psychiatric Association.
- Anderson, P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71-82. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Andersson, U. (2008). Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions. *British Journal of Educational Psychology*, 78(2), 181-203. <https://doi.org/10.1348/000709907X209854>
- Archibald, S. L., Fennema-Notestine, C., Gamst, A., Riley, E. P., Mattson, S. N., & Jernigan, T. L. (2001). Brain dysmorphology in individuals with severe prenatal alcohol exposure. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 43(3), 148-154. <https://doi.org/10.1017/S0012162201000299>
- Armstrong, R. A. (2014). When to use the Bonferroni correction. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 34(5), 502-508. <https://doi.org/10.1111/opo.12131>
- Astley, S. J., Aylward, E. H., Olson, H. C., Kerns, K., Brooks, A., Coggins, T. E., Davies, J., Dorn, S., Gendler, B., Jirikowic, T., Kraegel, P., Maravilla, K., & Richards, T. (2009). Magnetic Resonance Imaging Outcomes From a Comprehensive Magnetic Resonance Study of Children With Fetal Alcohol Spectrum Disorders. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 33(10), 1671-1689. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2009.01004.x>
- Astrea, G., Battini, R., Lenzi, S., Frosini, S., Bonetti, S., Moretti, E., Perazza, S., Santorelli, F. M., & Pecini, C. (2016). Learning disabilities in neuromuscular disorders : A springboard for adult life. *Acta Myologica*, 35(2), 90-95.
- Bagwell, C. L., Molina, B. S. G., Pelham, W. E., & Hoza, B. (2001). Attention-Deficit Hyperactivity Disorder and Problems in Peer Relations: Predictions From Childhood to

- Adolescence. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 40(11), 1285-1292. <https://doi.org/10.1097/00004583-200111000-00008>
- Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, 108, 44-79. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.06.005>
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Hill, J., Raste, Y., & Plumb, I. (2001). The “Reading the Mind in the Eyes” Test Revised Version : A Study with Normal Adults, and Adults with Asperger Syndrome or High-functioning Autism. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 42(2), 241-251. <https://doi.org/10.1017/S0021963001006643>
- Bayliss, A. P., Frischen, A., Fenske, M. J., & Tipper, S. P. (2007). Affective evaluations of objects are influenced by observed gaze direction and emotional expression. *Cognition*, 104(3), 644-653. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.07.012>
- Bedin, V., & Fournier, M. (2014). *Apprendre : Pourquoi? Comment?*. Sciences humaines. <https://educ.info/xmlui/handle/11515/19613>
- Bell, M. A., & Cuevas, K. (2016). Psychobiology of executive function in early development. In *Executive function in preschool-age children : Integrating measurement, neurodevelopment, and translational research* (p. 157-179). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14797-008>
- Bellegarde, K., Boyaval, J., & Alvarez, J. (2019). S’initier à la robotique/informatique en classe de grande section de maternelle. Une expérimentation autour de l’utilisation du robot Blue Bot comme jeux sérieux. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 13(1), 51-72.
- Bellinger, D. C. (2008). Are children with congenital cardiac malformations at increased risk of deficits in social cognition? *Cardiology in the Young*, 18(1), 3-9. <https://doi.org/10.1017/S104795110700176X>
- Belopolsky, A. V., Olivers, C. N. L., & Theeuwes, J. (2008). To point a finger : Attentional and motor consequences of observing pointing movements. *Acta Psychologica*, 128(1), 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2007.09.012>
- Benowitz, L. I., Bear, D. M., Rosenthal, R., Mesulam, M. M., Zaidel, E., & Sperry, R. W. (1983). Hemispheric Specialization in Nonverbal Communication. *Cortex*, 19(1), 5-11. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(83\)80046-X](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(83)80046-X)
- Benton, A. L., & Van Allen, M. W. (1968). Impairment in Facial Recognition in Patients with Cerebral Disease. *Cortex*, 4(4), 344-IN1. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(68\)80018-8](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(68)80018-8)
- Bernicot, J. (2000). *Chapitre 2. La pragmatique des énoncés chez l’enfant*. Presses Universitaires de France. <https://www.cairn.info/l-acquisition-du-langage-II--9782130505839-page-45.htm>
- Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering : Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, 145-157. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.020>



- Bishop, D. V. (2003). *The Children's communication checklist* (Vol. 2). Psychological Corporation London.
- Bishop, D. V. M. (2003). Specific Language Impairment: Diagnostic Dilemmas. In *Classification of Developmental Language Disorders*. Psychology Press.
- Blair, C., Raver, C. C., Berry, D. J., & Family Life Project Investigators. (2014). Two approaches to estimating the effect of parenting on the development of executive function in early childhood. *Developmental Psychology*, 50(2), 554-565. <https://doi.org/10.1037/a0033647>
- Boekaerts, M., & Cascallar, E. (2006). How Far Have We Moved Toward the Integration of Theory and Practice in Self-Regulation? *Educational Psychology Review*, 18(3), 199-210. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9013-4>
- Bora, E., & Pantelis, C. (2016). Meta-analysis of social cognition in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): Comparison with healthy controls and autistic spectrum disorder. *Psychological Medicine*, 46(4), 699-716. <https://doi.org/10.1017/S0033291715002573>
- Borella, E., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2010). The Specific Role of Inhibition in Reading Comprehension in Good and Poor Comprehenders. *Journal of Learning Disabilities*, 43(6), 541-552. <https://doi.org/10.1177/0022219410371676>
- Bossuet, G. (1982). L'Appropriation de l'Outil Ordinateur par les Enseignants en Formation. *European Journal of Teacher Education*, 5(1-2), 101-105. <https://doi.org/10.1080/0261976820050112>
- Boulc'h, L., Gaux, C., & Boujon, C. (2007). Implication des fonctions exécutives dans le décodage en lecture : Étude comparative entre normolecteurs et faibles lecteurs de CE2. *Psychologie Française*, 52(1), 71-87. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2006.11.001>
- Bourgeois, É., & Chapelle, G. (2011). *Apprendre et faire apprendre*. Presses Universitaires de France.
- Brennan, A. R., & Arnsten, A. F. T. (2008). Neuronal Mechanisms Underlying Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129, 236-245. <https://doi.org/10.1196/annals.1417.007>
- Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L., & Liepmann, D. (2015). *d2-R: test d'attention concentrée*. Paris, France : Hogrefe.
- Brissart, H., Morèle, E., Daniel, F., & Leroy, M. (2010). *Prise en charge cognitive des fonctions exécutives*. Marseille: Solal.
- Brodeur, M., Mercier, J., Dussault, M., Deaudelin, C., & Richer, J. (2006). Élaboration et validation d'une échelle d'autorégulation de l'apprentissage relative à l'intégration pédagogique des TIC (AREGA-TIC). *Canadian Journal of Behavioural Science*, 38(3), 238-249. <https://doi.org/10.1037/cjbs2006011>
- Broeders, M., Geurts, H., & Jennekens-Schinkel, A. (2010). Pragmatic communication deficits in children with epilepsy. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 45(5), 608-616. <https://doi.org/10.3109/13682820903374246>



- Brooks, P. J., Hanauer, J. B., Padowska, B., & Rosman, H. (2003). The role of selective attention in preschoolers' rule use in a novel dimensional card sort. *Cognitive Development, 18*(2), 195-215. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(03\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(03)00020-0)
- Brüne, M., & Brüne-Cohrs, U. (2006). Theory of mind—Evolution, ontogeny, brain mechanisms and psychopathology. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 30*(4), 437-455. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2005.08.001>
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive Functioning as a Predictor of Children's Mathematics Ability : Inhibition, Switching, and Working Memory. *Developmental Neuropsychology, 19*(3), 273-293. [https://doi.org/10.1207/S15326942DN1903\\_3](https://doi.org/10.1207/S15326942DN1903_3)
- Burgemeister, L., Blum, H. & Lorge, I. (1972). Columbia Mental Maturity Scale. New York : Psychological Corporation.
- Cabin, R. J., & Mitchell, R. J. (2000). To Bonferroni or not to Bonferroni: when and how are the questions. *Bulletin of the Ecological Society of America, 81*(3), 246–248. <https://doi.org/10.2307/20168454>
- Calderon, J., Angeard, N., Moutier, S., Plumet, M.-H., Jambaqué, I., & Bonnet, D. (2012). Impact of Prenatal Diagnosis on Neurocognitive Outcomes in Children with Transposition of the Great Arteries. *The Journal of Pediatrics, 161*(1), 94-98.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.12.036>
- Calderon, J., Angeard, N., Pinabiaux, C., Bonnet, D., & Jambaqué, I. (2014). Facial expression recognition and emotion understanding in children after neonatal open-heart surgery for transposition of the great arteries. *Developmental Medicine and Child Neurology, 56*(6), 564-571. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12381>
- Calderon, J., Bonnet, D., Courtin, C., Concordet, S., Plumet, M.-H., & Angeard, N. (2010). Executive function and theory of mind in school-aged children after neonatal corrective cardiac surgery for transposition of the great arteries. *Developmental Medicine & Child Neurology, 52*(12), 1139-1144. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03735.x>
- Calderon, J., Bonnet, D., Pinabiaux, C., Jambaqué, I., & Angeard, N. (2013). Use of Early Remedial Services in Children with Transposition of the Great Arteries. *The Journal of Pediatrics, 163*(4), 1105-1110.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2013.04.065>
- Caplan, R., Guthrie, D., Komo, S., Shields, W. D., & Sigmann, M. (1999). Infantile Spasms : The Development of Nonverbal Communication after Epilepsy Surgery. *Developmental Neuroscience, 21*(3-5), 165-173. <https://doi.org/10.1159/000017395>
- Capodieci, A., Re, A. M., Fracca, A., Borella, E., & Carretti, B. (2019). The efficacy of a training that combines activities on working memory and metacognition: Transfer and maintenance effects in children with ADHD and typical development. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 41*(10), 1074-1087. <https://doi.org/10.1080/13803395.2019.1651827>
- 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](https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_3)

- Carney, L. J., & Chermak, G. D. (1991). Performance of American Indian children with Fetal Alcohol Syndrome on the test of language development. *Journal of Communication Disorders*, 24(2), 123-134. [https://doi.org/10.1016/0021-9924\(91\)90016-C](https://doi.org/10.1016/0021-9924(91)90016-C)
- 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>
- Charman, T., Carroll, F., & Sturge, C. (2001). Theory of mind, executive function and social competence in boys with ADHD. *Emotional and Behavioural Difficulties*, 6(1), 31-49. <https://doi.org/10.1080/13632750100507654>
- Cianchetti, C., Corona, S., Foscoliano, M., Contu, D., & Sannio-Fancello, G. (2007). Modified Wisconsin Card Sorting Test (MCST, MWCST) : Normative Data in Children 4–13 Years Old, According to Classical and New Types of Scoring. *The Clinical Neuropsychologist*, 21(3), 456-478. <https://doi.org/10.1080/13854040600629766>
- Cirino, P. T., Miciak, J., Gerst, E., Barnes, M. A., Vaughn, S., Child, A., & Huston-Warren, E. (2017). Executive Function, Self-Regulated Learning, and Reading Comprehension: A Training Study. *Journal of learning disabilities*, 50(4), 450-467. <https://doi.org/10.1177/0022219415618497>
- Coles, C. D., Platzman, K. A., Lynch, M. E., & Freides, D. (2002). Auditory and Visual Sustained Attention in Adolescents Prenatally Exposed to Alcohol. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 26(2), 263-271. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2002.tb02533.x>
- Collette, F., Van der Linden, M., Laureys, S., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., & Salmon, E. (2005). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping*, 25(4), 409-423. <https://doi.org/10.1002/hbm.20118>
- Connor, P. D., Streissguth, A. P., Sampson, P. D., Bookstein, F. L., & Barr, H. M. (1999). Individual Differences in Auditory and Visual Attention Among Fetal Alcohol-Affected Adults. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 23(8), 1395-1402. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1999.tb04362.x>
- Cortés Pascual, A., Moyano Muñoz, N., & Quílez Robres, A. (2019). The Relationship Between Executive Functions and Academic Performance in Primary Education : Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 10, 1582. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01582>
- Cosnefroy, L., Fenouillet, F., Mazé, C., & Bonnefoy, B. (2018). On the relationship between the forethought phase of self-regulated learning and self-regulation failure. *Issues in Educational Research*, 28(2), 1-20.
- Cragg, L., & Nation, K. (2007). Self-ordered pointing as a test of working memory in typically developing children. *Memory*, 15(5), 526-535. <https://doi.org/10.1080/09658210701390750>
- Crocker, N., Vaurio, L., Riley, E. P., & Mattson, S. N. (2011a). Comparison of Verbal Learning and Memory in Children With Heavy Prenatal Alcohol Exposure or Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 35(6), 1114-1121. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2011.01444.x>

- Crocker, N., Vaurio, L., Riley, E. P., & Mattson, S. N. (2011b). Comparison of Verbal Learning and Memory in Children With Heavy Prenatal Alcohol Exposure or Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 35(6), 1114-1121. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2011.01444.x>
- Crone, E. A., Richard Ridderinkhof, K., Worm, M., Somsen, R. J. M., & Van Der Molen, M. W. (2004). Switching between spatial stimulus–response mappings: A developmental study of cognitive flexibility. *Developmental Science*, 7(4), 443-455. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2004.00365.x>
- Da Fonseca, D., Segquier, V., Santos, A., Poinso, F., & Deruelle, C. (2008). Emotion Understanding in Children with ADHD. *Child Psychiatry and Human Development*, 40(1), 111. <https://doi.org/10.1007/s10578-008-0114-9>
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450-466. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(80\)90312-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6)
- 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 Beni, R., Palladino, P., Pazzaglia, F., & Cornoldi, C. (1998). Increases in Intrusion Errors and Working Memory Deficit of Poor Comprehenders. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 51(2), 305-320. <https://doi.org/10.1080/713755761>
- de Bruin, A. B. H., Thiede, K. W., Camp, G., & Redford, J. (2011). Generating keywords improves metacomprehension and self-regulation in elementary and middle school children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109(3), 294-310. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.02.005>
- De Luca, C. R., & Leventer, R. J. (2008). Chapter 2: Developmental trajectories of executive functions across the lifespan. Dans V. Anderson, R. Jacobs, et P.J. Anderson (dir.), *Executive functions and the frontal lobes*. New York, NY, US: Taylor & Francis.
- De Luca, C. R., Wood, S. J., Anderson, V., Buchanan, J.-A., Proffitt, T. M., Mahony, K., & Pantelis, C. (2003). Normative Data From the Cantab. I: Development of Executive Function Over the Lifespan. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(2), 242-254. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.2.242.13639>
- de Jong, P. F. (1998). Working Memory Deficits of Reading Disabled Children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 70(2), 75-96. <https://doi.org/10.1006/jecp.1998.2451>
- Demaree, H. A., Everhart, D. E., Youngstrom, E. A., & Harrison, D. W. (2005). Brain Lateralization of Emotional Processing: Historical Roots and a Future Incorporating “Dominance”. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 4(1), 3-20. <https://doi.org/10.1177/1534582305276837>
- Demetriou, A., & Bakracevic, K. (2009). Reasoning and self-awareness from adolescence to middle age: Organization and development as a function of education. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 181-194. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.10.007>

- Dempster, F. N., & Cooney, J. B. (1982). Individual differences in digit span, susceptibility to proactive interference, and aptitude/achievement test scores. *Intelligence*, 6(4), 399-416. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(82\)90026-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(82)90026-5)
- Dempster, F. N., & Corkill, A. J. (1999). Interference and Inhibition in Cognition and Behavior : Unifying Themes for Educational Psychology. *Educational Psychology Review*, 11(1), 1-88. <https://doi.org/10.1023/A:1021992632168>
- DeStefano, D., & LeFevre, J. (2004). The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(3), 353-386. <https://doi.org/10.1080/09541440244000328>
- Di Lieto, M. C., Castro, E., Pecini, C., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., Cioni, G., & Sgandurra, G. (2020). Improving Executive Functions at School in Children With Special Needs by Educational Robotics. *Frontiers in Psychology*, 10, 2813. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02813>
- Di Lieto, M. C., Castro, E., Pecini, C., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., Cioni, G., & Sgandurra, G. (2019). Improving Executive Functions at School in Children With Special Needs by Educational Robotics. *Frontiers in Psychology*, 10, 2813. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02813>
- Di Lieto, M. C., Inguaggiato, E., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dell’Omo, M., Laschi, C., Pecini, C., Santerini, G., Sgandurra, G., & Dario, P. (2017). Educational Robotics intervention on Executive Functions in preschool children : A pilot study. *Computers in Human Behavior*, 71, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.018>
- Di Lieto, M. C., Inguaggiato, E., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dell’Omo, M., Laschi, C., Pecini, C., Santerini, G., Sgandurra, G., & Dario, P. (2017). Educational Robotics intervention on Executive Functions in preschool children : A pilot study. *Computers in Human Behavior*, 71, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.018>
- Di Lieto, M. C., Pecini, C., Castro, E., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., Cioni, G., & Sgandurra, G. (2020). Empowering Executive Functions in 5- and 6-Year-Old Typically Developing Children Through Educational Robotics : An RCT Study. *Frontiers in Psychology*, 10, 3084. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03084>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2016). Why improving and assessing executive functions early in life is critical. In *Executive function in preschool-age children : Integrating measurement, neurodevelopment, and translational research* (p. 11-43). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14797-002>
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool Program Improves Cognitive Control. *Science*, 318(5855), 1387-1388. <https://doi.org/10.1126/science.1151148>

- Diamond, A., Kirkham, N., & Amso, D. (2002). Conditions under which young children can hold two rules in mind and inhibit a prepotent response. *Developmental Psychology*, 38(3), 352-362. <https://doi.org/10.1037//0012-1649.38.3.352>
- Donald, K. A., Eastman, E., Howells, F. M., Adnams, C., Riley, E. P., Woods, R. P., Narr, K. L., & Stein, D. J. (2015). Neuroimaging effects of prenatal alcohol exposure on the developing human brain : A magnetic resonance imaging review. *Acta Neuropsychiatrica*, 27(5), 251-269. <https://doi.org/10.1017/neu.2015.12>
- Donald, K. A., Ipser, J. C., Howells, F. M., Roos, A., Fouche, J.-P., Riley, E. P., Koen, N., Woods, R. P., Biswal, B., Zar, H. J., Narr, K. L., & Stein, D. J. (2016). Interhemispheric Functional Brain Connectivity in Neonates with Prenatal Alcohol Exposure : Preliminary Findings. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 40(1), 113-121. <https://doi.org/10.1111/acer.12930>
- Doyle, L. R., & Mattson, S. N. (2015). Neurobehavioral Disorder Associated with Prenatal Alcohol Exposure (ND-PAE) : Review of Evidence and Guidelines for Assessment. *Current Developmental Disorders Reports*, 2(3), 175-186. <https://doi.org/10.1007/s40474-015-0054-6>
- Drevets, W. C., Savitz, J., & Trimble, M. (2008). The Subgenual Anterior Cingulate Cortex in Mood Disorders. *CNS spectrums*, 13(8), 663-681.
- Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review*, 95(2), 256-273. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.2.256>
- Effeney, G., Carroll, A., & Bahr, N. (2013). Self-Regulated Learning and Executive Function: Exploring the Relationships in a sample of Adolescent Males. *Educational Psychology*, 33(7), 773-796. <https://doi.org/10.1080/01443410.2013.785054>
- Effeney, G., Carroll, A., & Bahr, N. (2013). Self-regulated learning and executive function: exploring the relationships in a sample of adolescent males. *Educational Psychology*, 33(7), 773-796. [doi:10.1080/01443410.2013.785054](https://doi.org/10.1080/01443410.2013.785054)
- Efklides, A. (2011). Interactions of Metacognition With Motivation and Affect in Self-Regulated Learning: The MASRL Model. *Educational Psychologist*, 46(1), 6-25. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.538645>
- Ekman, P. (1976). Pictures of Facial Affect. *Consulting Psychologists Press*. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10011335061/>
- Eling, P., Derckx, K., & Maes, R. (2008). On the historical and conceptual background of the Wisconsin Card Sorting Test. *Brain and Cognition*, 67(3), 247-253. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.01.006>
- Emslie, H., Wilson, F. C., Burden, V., Nimmo-Smith, I., & Wilson, B. A. (2003). *Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome in Children (BADS-C)*. London, UK: Pearson
- Espy, K. A. (2004). Using Developmental, Cognitive, and Neuroscience Approaches to Understand Executive Control in Young Children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 379-384. [https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_1)



- Fenouillet, F., Chainon, D., Yennek, N., Lemasson, J., & Heutte, J. (2017). Relation entre l'intérêt et le bien-être au collège et au lycée. *Enfance*, *N° 1*(1), 81-103.
- Fiore, F., Borella, E., Mammarella, I. C., & De Beni, R. (2012). Age differences in verbal and visuo-spatial working memory updating : Evidence from analysis of serial position curves. *Memory*, *20*(1), 14-27. <https://doi.org/10.1080/09658211.2011.628320>
- Fischer, M. H., & Szymkowiak, A. (2004). Joint attention for pointing but not grasping postures. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *40*(1), 168-170. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70937-7](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70937-7)
- Flais, C., Pinabiaux, C. & Goumi, A. (2019). Le lien entre la robotique et les FE : étude préliminaire de l'effet de séances pédagogiques avec la Blue-bot chez des enfants de maternelle. Journée de la recherche de la Fédération EPNR, Nanterre, 19 avril 2019.
- Flicek, M. (1992). Social status of boys with both academic problems and attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *20*(4), 353-366. <https://doi.org/10.1007/BF00918981>
- Follmer, D.J., & Sperling, R.A. (2016). The mediating role of metacognition in the relationship between executive function and self-regulated learning. *British Journal of Educational Psychology*, *86*(4), 559-575. <https://doi: 10.1111/bjep.12123>
- Fournet, N., Roulin, J.-L., Vallet, F., Beaudoin, M., Agrigoroaei, S., Paignon, A., Dantzer, C., & Desrichard, O. (2012). Evaluating short-term and working memory in older adults : French normative data. *Aging & Mental Health*, *16*(7), 922-930. <https://doi.org/10.1080/13607863.2012.674487>
- Fournier, M., & Albaret, J.-M. (2013). Étalonnage des blocs de Corsi sur une population d'enfants scolarisés du CP à la 6e. *Developpements*, *n° 16-17*(3), 76-82.
- Fournier, N. M., Calverley, K. L., Wagner, J. P., Poock, J. L., & Crossley, M. (2008). Impaired social cognition 30 years after hemispherectomy for intractable epilepsy : The importance of the right hemisphere in complex social functioning. *Epilepsy & Behavior*, *12*(3), 460-471. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2007.12.009>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The reading span test and its predictive power for reading comprehension ability. *Journal of Memory and Language*, *51*(1), 136-158. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2004.03.008>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(2), 201–225. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.201>
- Frischen, A., Bayliss, A. P., & Tipper, S. P. (2007). Gaze cueing of attention : Visual attention, social cognition, and individual differences. *Psychological Bulletin*, *133*(4), 694-724. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.694>
- Frischen, A., Bayliss, A., & Tipper, S. (2007). Gaze cueing of attention: Visual attention, social cognition, and individual differences. *Psychological Bulletin*, *133*(4), 694-724. doi: 10.1037/0033-2909.133.4.694

- Fryer, S. L., Tapert, S. F., Mattson, S. N., Paulus, M. P., Spadoni, A. D., & Riley, E. P. (2007). Prenatal Alcohol Exposure Affects Frontal–Striatal BOLD Response During Inhibitory Control. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 31(8), 1415-1424. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2007.00443.x>
- Fuhs, M. W., Farran, D. C., & Nesbitt, K. T. (2015). Prekindergarten children’s executive functioning skills and achievement gains: The utility of direct assessments and teacher ratings. *Journal of Educational Psychology*, 107(1), 207-221. <https://doi.org/10.1037/a0037366>
- Galfano, G., Dalmaso, M., Marzoli, D., Pavan, G., Coricelli, C., & Castelli, L. (2012). Eye gaze cannot be ignored (but neither can arrows). *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(10), 1895-1910. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.663765>
- Gardner, D. M., & Gerdes, A. C. (2015). A Review of Peer Relationships and Friendships in Youth With ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 19(10), 844-855. <https://doi.org/10.1177/1087054713501552>
- Garner, J.K. (2009). Conceptualizing the relations between executive functions and self-regulated learning. *The Journal of Psychology*, 143(4), 405-426. <https://doi:10.3200/JRLP.143.4.405-426>
- Garner, J.K. (2009). Conceptualizing the relations between executive functions and self-regulated learning. *The Journal of Psychology*, 143(4), 405-426. doi: 10.3200/JRLP.143.4.405-426
- George, N., & Conty, L. (2008). Facing the gaze of others. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(3), 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2008.03.001>
- Gernsbacher, M. A. (1993). Less Skilled Readers Have Less Efficient Suppression Mechanisms. *Psychological Science*, 4(5), 294-298. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00567.x>
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 312–7 years old on a stroop-like day-night test. *Cognition*, 53(2), 129–153. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90068-x](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90068-x)
- Gillet, N., Vallerand, R. J., & Lafrenière, M.-A. K. (2012). Intrinsic and extrinsic school motivation as a function of age: The mediating role of autonomy support. *Social Psychology of Education*, 15(1), 77-95. <https://doi.org/10.1007/s11218-011-9170-2>
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2009). *Brief*. סייקטק.
- Godefroy, O., Cabaret, M., Petit-Chenal, V., Pruvo, J. P., & Rousseaux, M. (1999). Control functions of the frontal lobes. Modularity of the central-supervisory system? *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 35(1), 1-20. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70782-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70782-2)
- Godefroy, O., Cabaret, M., Petit-Chenal, V., Pruvo, J.-P., & Rousseaux, M. (1999). Control functions of the frontal lobes. Modularity of the central-supervisory system? *Cortex*, 35(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70782-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70782-2)

- Golouboff, N., Fiori, N., Delalande, O., Fohlen, M., Dellatolas, G., & Jambaqué, I. (2008). Impaired facial expression recognition in children with temporal lobe epilepsy : Impact of early seizure onset on fear recognition. *Neuropsychologia*, 46(5), 1415-1428. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.019>
- Gottfried, A. E., Fleming, J. S., & Gottfried, A. W. (2001). Continuity of academic intrinsic motivation from childhood through late adolescence: A longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 3–13. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.1.3>
- 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>
- Greenbaum, R. L., Stevens, S. A., Nash, K., Koren, G., & Rovet, J. (2009). Social Cognitive and Emotion Processing Abilities of Children With Fetal Alcohol Spectrum Disorders : A Comparison With Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 33(10), 1656-1670. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2009.01003.x>
- Gumustas, F., Yilmaz, I., Yulaf, Y., Gokce, S., & Sabuncuoglu, O. (2017). Empathy and Facial Expression Recognition in Children With and Without Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder : Effects of Stimulant Medication on Empathic Skills in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Child and Adolescent Psychopharmacology*, 27(5), 433-439. <https://doi.org/10.1089/cap.2016.0052>
- Hadwin, A. F., Oshige, M., Gress, C. L. Z., & Winne, P. H. (2010). Innovative ways for using gStudy to orchestrate and research social aspects of self-regulated learning. *Computers in Human Behavior*, 26(5), 794-805. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2007.06.007>
- Hajduk, M., Krajcovicova, D., Zimanyiova, M., Korinkova, V., Heretik, A., & Peceank, J. (2018). Theory of mind – not emotion recognition – mediates the relationship between executive functions and social functioning in patients with schizophrenia. *Psychiatria Danubina*, 30(3), 292-298. <https://doi.org/10.24869/psyd.2018.292>
- Happaney, K., Zelazo, P. D., & Stuss, D. T. (2004). Development of orbitofrontal function : Current themes and future directions. *Brain and Cognition*, 55(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.01.001>
- Harrison, J. E., Buxton, P., Husain, M., & Wise, R. (2000). Short test of semantic and phonological fluency : Normal performance, validity and test-retest reliability. *British Journal of Clinical Psychology*, 39(2), 181-191. <https://doi.org/10.1348/014466500163202>
- Haza, B., Mersali, J., Pinabiaux, C. & Conty, L. (2021). Evaluating spatial cueing effects of social cues in children with ADHD: Pretest of three versions of a neuropsychological tool in children without disorders. Journée de la Recherche de la Fédération EPNR, Nanterre, 4 juin 2021.
- Hedden, T., & Park, D. (2001). Aging and interference in verbal working memory. *Psychology and Aging*, 16(4), 666-681. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.16.4.666>



- Heiman, T. (2005). An Examination of Peer Relationships of Children With and Without Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *School Psychology International*, 26(3), 330-339. <https://doi.org/10.1177/0143034305055977>
- Hertz-Pannier, L., Chiron, C., Jambaqué, I., Renaux-Kieffer, V., Moortele, P. V. de, Delalande, O., Fohlen, M., Brunelle, F., & Bihan, D. L. (2002). Late plasticity for language in a child's non-dominant hemisphere : A pre- and post-surgery fMRI study. *Brain*, 125(2), 361-372. <https://doi.org/10.1093/brain/awf020>
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(3), 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.006>
- Hongwanishkul, D., Happaney, K. R., Lee, W. S. C., & Zelazo, P. D. (2005). Assessment of Hot and Cool Executive Function in Young Children : Age-Related Changes and Individual Differences. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 617-644. [https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802\\_4](https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_4)
- Hooper, S. R., Swartz, C. W., Wakely, M. B., de Kruif, R. E. L., & Montgomery, J. W. (2002). Executive Functions in Elementary School Children With and Without Problems in Written Expression. *Journal of Learning Disabilities*, 35(1), 57-68. <https://doi.org/10.1177/002221940203500105>
- Horn, J. D. V., Irimia, A., Torgerson, C. M., Chambers, M. C., Kikinis, R., & Toga, A. W. (2012). Mapping Connectivity Damage in the Case of Phineas Gage. *PLOS ONE*, 7(5), e37454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037454>
- 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)
- Hoza B, Mrug S, Gerdes AC, Hinshaw SP, Bukowski WM, Gold JA, Kraemer HC, Pelham WE, Wigal T, Arnold LE (2005) What aspects of peer relationships are impaired in children with attention-deficit/hyperactivity disorder? *J Consult Clin Psychol* 73:411–423
- Hoza, B., Mrug, S., Gerdes, A. C., Hinshaw, S. P., Bukowski, W. M., Gold, J. A., Kraemer, H. C., Pelham, W. E., Jr., Wigal, T., & Arnold, L. E. (2005). What Aspects of Peer Relationships Are Impaired in Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder? *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 73(3), 411–423. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.73.3.411>
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers : Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16(2), 233-253. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1998.tb00921.x>
- Huizinga, M., & van der Molen, M. W. (2007). Age-Group Differences in Set-Switching and Set-Maintenance on the Wisconsin Card Sorting Task. *Developmental Neuropsychology*, 31(2), 193-215. <https://doi.org/10.1080/87565640701190817>
- 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>

- Immordino-Yang, M. H. (2007). A Tale of Two Cases : Lessons for Education From the Study of Two Boys Living With Half Their Brains. *Mind, Brain, and Education*, 1(2), 66-83. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2007.00008.x>
- Kaplan, J., de Montalembert, M., Laurent, P., & Fenouillet, F. (2017). ERICA– an instrument to measure individual and collective regulation of learning. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 67(2), 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2017.01.001>
- Kaufman, A., & Kaufman, N. L. (2004). *Kaufman Assessment Battery for Children* (Second Edition). Circle Pines, MN, US : American Guidance Service.
- Keren, G., & Fridin, M. (2014). Kindergarten Social Assistive Robot (KindSAR) for children’s geometric thinking and metacognitive development in preschool education : A pilot study. *Computers in Human Behavior*, 35, 400-412. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.03.009>
- Kestenbaum, R., & Nelson, C. A. (1992). Neural and behavioral correlates of emotion recognition in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 54(1), 1-18. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(92\)90014-W](https://doi.org/10.1016/0022-0965(92)90014-W)
- Khoury, J. E., Milligan, K., & Girard, T. A. (2015). Executive Functioning in Children and Adolescents Prenatally Exposed to Alcohol : A Meta-Analytic Review. *Neuropsychology Review*, 25(2), 149-170. <https://doi.org/10.1007/s11065-015-9289-6>
- Kim, S., Paulus, M., Sodian, B., & Proust, J. (2016). Young Children’s Sensitivity to Their Own Ignorance in Informing Others. *PLoS ONE*, 11(3), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152595>
- Kingdon, D., Cardoso, C., & McGrath, J. J. (2016). Research Review : Executive function deficits in fetal alcohol spectrum disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder – a meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57(2), 116-131. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12451>
- Kingdon, D., Cardoso, C., & McGrath, J. J. (2016). Research Review : Executive function deficits in fetal alcohol spectrum disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder – a meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57(2), 116-131. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12451>
- Kitsantas, A., & Zimmerman, B. J. (2002). Comparing Self-Regulatory Processes Among Novice, Non-Expert, and Expert Volleyball Players: A Microanalytic Study. *Journal of Applied Sport Psychology*, 14(2), 91-105. <https://doi.org/10.1080/10413200252907761>
- Kloo, D., & Perner, J. (2008). Training Theory of Mind and Executive Control : A Tool for Improving School Achievement? *Mind, Brain, and Education*, 2(3), 122-127. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2008.00042.x>
- Kodituwakku, P. W. (2007). Defining the behavioral phenotype in children with fetal alcohol spectrum disorders : A review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 31(2), 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.020>
- Kodituwakku, P. W. (2009). Neurocognitive profile in children with fetal alcohol spectrum disorders. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 15(3), 218-224. <https://doi.org/10.1002/ddrr.73>

- Kofler, M., Sarver, D., Spiegel, J., Day, T., Harmon, S., & Wells, E. (2016). Heterogeneity in ADHD : Neurocognitive predictors of peer, family, and academic functioning. *Child Neuropsychology*, 23(6), 733-759. doi: 10.1080/09297049.2016.1205010
- Komis, V., & Misirli, A. (2013). *Étude des processus de construction d'algorithmes et de programmes par les petits enfants à l'aide de jouets programmables*. Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC) en milieu éducatif. <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00875628>
- Komis, V., Romero, M., & Misirli, A. (2017). A Scenario-Based Approach for Designing Educational Robotics Activities for Co-creative Problem Solving. In D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti (Éds.), *Educational Robotics in the Makers Era* (p. 158-169). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_12)
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemps, S. (1998). *NEPSY: A developmental neuropsychological assessment manual*. Psychological Corporation, San Antonio, TX.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemps, S. (2012). *NEPSY-II: Bilan neuropsychologique chez l'enfant (2<sup>de</sup> édition)*. Paris : ECPA par Pearson.
- Langdon, J., Botnaru, D. T., Wittenberg, M., Riggs, A. J., Mutchler, J., Syno, M., & Caciula, M. C. (2019). Examining the effects of different teaching strategies on metacognition and academic performance. *Advances in Physiology Education*, 43(3), 414-422. <https://doi.org/10.1152/advan.00013.2018>
- Laurent, P., Fenouillet, L., de Montalembert, M. & Pinabiaux, C. (2021). *Fonctions exécutives et métacognition chez des enfants de 8 à 10 ans : Influences sur la régulation des apprentissages*. Journée des Fonctions Exécutives, Angers (en ligne), 23-26 juin 2021.
- Lebel, C., Roussotte, F., & Sowell, E. R. (2011). Imaging the Impact of Prenatal Alcohol Exposure on the Structure of the Developing Human Brain. *Neuropsychology Review*, 21(2), 102-118. <https://doi.org/10.1007/s11065-011-9163-0>
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning : Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59-80. <https://doi.org/10.1348/026151003321164627>
- Lepoittevin J., Pinabiaux, C. Garzon, P., Leduc-Leballeur, J. Noulhiane, M. Voltzenlogel V. & Germanaud D. (2016). *Cognition sociale : Explorer le fonctionnement mnésique et la perception des émotions chez l'enfant porteur de Troubles Causés par l'Alcoolisation Fœtale*. 26<sup>ème</sup> congrès de la Société Française de Neurologie Pédiatrique, Lille, 20<sup>th</sup>-22<sup>th</sup> january 2016.
- Leroux, P., & Vivet, M. (2000). Micro-Robots Based Learning Environments for Continued Education in Small and Medium Enterprises (SMEs). *Journal of Interactive Learning Research*, 11(3), 435-463.
- Lew, A. R., Lewis, C., Lunn, J., Tomlin, P., Basu, H., Roach, J., Rakshi, K., & Martland, T. (2015). Social cognition in children with epilepsy in mainstream education. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 57(1), 53-59. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12613>
- Lewis, C. E., Thomas, K. G. F., Dodge, N. C., Molteno, C. D., Meintjes, E. M., Jacobson, J. L., & Jacobson, S. W. (2015). Verbal Learning and Memory Impairment in Children with Fetal

- Alcohol Spectrum Disorders. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 39(4), 724-732. <https://doi.org/10.1111/acer.12671>
- Li, Z., Coles, C. D., Lynch, M. E., Ma, X., Peltier, S., & Hu, X. (2008). Occipital-temporal Reduction and Sustained Visual Attention Deficit in Prenatal Alcohol Exposed Adults. *Brain Imaging and Behavior*, 2(1), 39-48. <https://doi.org/10.1007/s11682-007-9013-0>
- Liégeois, F., Morgan, A. T., Stewart, L. H., Helen Cross, J., Vogel, A. P., & Vargha-Khadem, F. (2010). Speech and oral motor profile after childhood hemispherectomy. *Brain and Language*, 114(2), 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2009.12.004>
- Lindinger, N. M., Malcolm-Smith, S., Dodge, N. C., Molteno, C. D., Thomas, K. G. F., Meintjes, E. M., Jacobson, J. L., & Jacobson, S. W. (2016). Theory of Mind in Children with Fetal Alcohol Spectrum Disorders. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 40(2), 367-376. <https://doi.org/10.1111/acer.12961>
- Lussier, F. (1996). *Version française du CVLT pour enfant*. Hôpital Sainte-Justine, Montréal.
- Lyons, K. E., & Ghetti, S. (2013). I Don't Want to Pick! Introspection on Uncertainty Supports Early Strategic Behavior. *Child Development*, 84(2), 726-736. <https://doi.org/10.1111/cdev.12004>
- Macmillan, M. (2000). Restoring Phineas Gage : A 150th Retrospective. *Journal of the History of the Neurosciences*, 9(1), 46-66. [https://doi.org/10.1076/0964-704X\(200004\)9:1:1-2:FT046](https://doi.org/10.1076/0964-704X(200004)9:1:1-2:FT046)
- Majerus, S. (2013). Language repetition and short-term memory : an integrative framework. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(357). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00357>
- Malisza, K. L., Allman, A.-A., Shiloff, D., Jakobson, L., Longstaffe, S., & Chudley, A. E. (2005). Evaluation of Spatial Working Memory Function in Children and Adults with Fetal Alcohol Spectrum Disorders : A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *Pediatric Research*, 58(6), 1150-1157. <https://doi.org/10.1203/01.pdr.0000185479.92484.a1>
- Mammarella, I. C., Pazzaglia, F., & Cornoldi, C. (2008). Evidence for different components in children's visuospatial working memory. *British Journal of Developmental Psychology*, 26(3), 337-355. <https://doi.org/10.1348/026151007X236061>
- Maoz, H., Gvirts, H. Z., Sheffer, M., & Bloch, Y. (2019). Theory of Mind and Empathy in Children With ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 23(11), 1331-1338. <https://doi.org/10.1177/1087054717710766>
- Marino, B. S., Lipkin, P. H., Newburger, J. W., Peacock, G., Gerdes, M., Gaynor, J. W., Mussatto, K. A., Uzark, K., Goldberg, C. S., Johnson, W. H., Li, J., Smith, S. E., Bellinger, D. C., & Mahle, W. T. (2012). Neurodevelopmental Outcomes in Children With Congenital Heart Disease : Evaluation and Management. *Circulation*, 126(9), 1143-1172. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e318265ee8a>
- Marotta, A., Pasini, A., Menotti, E., Pasquini, A., Pitzianti, M., & Casagrande, M. (2017). Controlling attention to gaze and arrows in attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry Research*, 251, 148-154. doi: 10.1016/j.psychres.2017.01.094

- Marshall, P. J., & Drew, A. R. (2014). What makes Simon Says so difficult for young children? *Journal of Experimental Child Psychology*, 126, 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.03.011>
- Mary, A., Slama, H., Mousty, P., Massat, I., Capiou, T., Drabs, V., & Peigneux, P. (2016). Executive and attentional contributions to Theory of Mind deficit in attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Child Neuropsychology*, 22(3), 345-365. <https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1012491>
- Marzocchi, G. M., Re, A. M., & Cornoldi, C. (2010). *BIA. Batteria italiana per l'ADHD per la valutazione dei bambini con deficit di attenzione-iperattività. Con DVD e CD-ROM*. Edizioni Erickson.
- Mattson, S. N., & Roebuck, T. M. (2002). Acquisition and Retention of Verbal and Nonverbal Information in Children With Heavy Prenatal Alcohol Exposure. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 26(6), 875-882. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2002.tb02617.x>
- Mattson, S. N., Bernes, G. A., & Doyle, L. R. (2019). Fetal Alcohol Spectrum Disorders : A Review of the Neurobehavioral Deficits Associated With Prenatal Alcohol Exposure. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 43(6), 1046-1062. <https://doi.org/10.1111/acer.14040>
- Mattson, S. N., Calarco, K. E., & Lang, A. R. (2006). Focused and shifting attention in children with heavy prenatal alcohol exposure. *Neuropsychology*, 20(3), 361-369. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.20.3.361>
- Mattson, S. N., Crocker, N., & Nguyen, T. T. (2011). Fetal Alcohol Spectrum Disorders : Neuropsychological and Behavioral Features. *Neuropsychology review*, 21(2), 81-101. <https://doi.org/10.1007/s11065-011-9167-9>
- Mattson, S. N., Goodman, A. M., Caine, C., Delis, D. C., & Riley, E. P. (1999). Executive Functioning in Children With Heavy Prenatal Alcohol Exposure. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 23(11), 1808-1815. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1999.tb04077.x>
- Mattson, S. N., Riley, E. P., Gramling, L., Delis, D. C., & Jones, K. L. (1997). Heavy prenatal alcohol exposure with or without physical features of fetal alcohol syndrome leads to IQ deficits. *The Journal of Pediatrics*, 131(5), 718-721. [https://doi.org/10.1016/S0022-3476\(97\)70099-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3476(97)70099-4)
- Mazeau, M., Pouhet, A., & Ploix-Maes, E. (2021). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant : Les dys- au sein des troubles du neurodéveloppement*. Elsevier Health Sciences.
- McQuade, J. D., & Hoza, B. (2008). Peer problems in Attention Deficit Hyperactivity Disorder : Current status and future directions. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 14(4), 320-324. <https://doi.org/10.1002/ddrr.35>
- Meiran, N. (2010). Task switching : Mechanisms underlying rigid vs. flexible self-control. In *Self control in society, mind, and brain* (p. 202-220). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195391381.003.0011>



- Mesulam, M.M. (1985). *Principles of behavioral neurology*. Philadelphia : FA Davis Company.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions : Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions : Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- 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>
- 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>
- Mrug, S., Molina, B. S. G., Hoza, B., Gerdes, A. C., Hinshaw, S. P., Hechtman, L., & Arnold, L. E. (2012). Peer Rejection and Friendships in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder : Contributions to Long-Term Outcomes. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 40(6), 1013-1026. <https://doi.org/10.1007/s10802-012-9610-2>
- Mundy, P., & Newell, L. (2007). Attention, Joint Attention, and Social Cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 16(5), 269-274. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00518.x>
- Nardelli, A., Lebel, C., Rasmussen, C., Andrew, G., & Beaulieu, C. (2011). Extensive Deep Gray Matter Volume Reductions in Children and Adolescents with Fetal Alcohol Spectrum Disorders. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 35(8), 1404-1417. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2011.01476.x>
- Narison, R., De Montalembert, M., & Conty, L. (2019). Diagnosing gaze and arrow cueing effects in unilateral spatial neglect. *Neurocase*, 26(1), 42-50. doi: 10.1080/13554794.2019.1705495
- Nijmeijer, J. S., Minderaa, R. B., Buitelaar, J. K., Mulligan, A., Hartman, C. A., & Hoekstra, P. J. (2008). Attention-deficit/hyperactivity disorder and social dysfunctioning. *Clinical Psychology Review*, 28(4), 692-708. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.10.003>
- Noble, W. S. (2009). How does multiple testing correction work? *Nature biotechnology*, 27(12), 1135. <https://doi.org/10.1038/nbt1209-1135>
- Norman, A. L., Crocker, N., Mattson, S. N., & Riley, E. P. (2009). Neuroimaging and fetal alcohol spectrum disorders. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 15(3), 209-217. <https://doi.org/10.1002/ddrr.72>
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. Dans R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (dir.), *Consciousness and*

- self-regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, p. 1-18). New York, NY, US: Plenum.
- Nugent, G., Barker, B., & Grandgenett, N. (2008). *The Effect of 4-H Robotics and Geospatial Technologies on Science, Technology, Engineering, and Mathematics Learning and Attitudes*. 447-452. <https://www.learntechlib.org/primary/p/28433/>
- Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., & Adamchuk, V. I. (2010). Impact of Robotics and Geospatial Technology Interventions on Youth STEM Learning and Attitudes. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(4), 391-408. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782557>
- O'Hare, E. D., Kan, E., Yoshii, J., Mattson, S. N., Riley, E. P., Thompson, P. M., Toga, A. W., & Sowell, E. R. (2005). Mapping cerebellar vermal morphology and cognitive correlates in prenatal alcohol exposure. *NeuroReport*, 16(12), 1285-1290. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000176515.11723.a2>
- Panadero, E. (2017). A Review of Self-regulated Learning: Six Models and Four Directions for Research. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00422>
- Panadero, E., & Järvelä, S. (2015). Socially Shared Regulation of Learning: A Review. *European Psychologist*, 20(3), 190-203. <https://doi.org/10.1027/1016-9040/a000226>
- Parke, E. M., Becker, M. L., Graves, S. J., Baily, A. R., Paul, M. G., Freeman, A. J., & Allen, D. N. (2021). Social Cognition in Children With ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 25(4), 519-529. <https://doi.org/10.1177/1087054718816157>
- Pelc, K., Kornreich, C., Foisy, M.-L., & Dan, B. (2006). Recognition of Emotional Facial Expressions in Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Pediatric Neurology*, 35(2), 93-97. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2006.01.014>
- Perneger, T., V. (1998). What's wrong with Bonferroni adjustments? *British Medical Journal*, 316, 1236-1238. <https://doi.org/10.1136/bmj.316.7139.1236>
- Perner, J., & Wimmer, H. (1985). "John thinks that Mary thinks that..." attribution of second-order beliefs by 5- to 10-year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 39(3), 437-471. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(85\)90051-7](https://doi.org/10.1016/0022-0965(85)90051-7)
- Perner, J., Stummer, S., & Lang, B. (1999). Executive functions and theory of mind : Cognitive complexity or functional dependence? In *Developing theories of intention: Social understanding and self-control* (p. 133-152). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Petersen, R., Lavelle, E., & Guarino, A. J. (2006). The relationship between college students' executive functioning and study strategies. *Journal of College Reading and Learning*, 36(2), 59-67. <https://doi.org/10.1080/10790195.2006.10850188>
- Petrides, M., & Milner, B. (1982). Deficits on subject-ordered tasks after frontal- and temporal-lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 20(3), 249-262. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(82\)90100-2](https://doi.org/10.1016/0028-3932(82)90100-2)
- Pinabiaux, C. & Goumi, A. (2021). Des robots dans la classe ! Liens entre robotique éducationnelle et fonctions exécutives à l'école maternelle. Journée des fonctions exécutives, Angers (en ligne), 23-26 juin 2021.

- Pinabiaux, C., Bulteau, C., Fohlen, M., Dorfmueller, G., Chiron, C., Hertz-Pannier, L., Delalande, O., & Jambaqué, I. (2013). Impaired emotional memory recognition after early temporal lobe epilepsy surgery : The fearful face exception? *Cortex*, 49(5), 1386-1393. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.06.008>
- Pineda-Alhucema, W., Aristizabal, E., Escudero-Cabarcas, J., Acosta-López, J., & Vélez, J. (2018). Executive Function and Theory of Mind in Children with ADHD: a Systematic Review. *Neuropsychology Review*, 28(3), 341-358. doi: 10.1007/s11065-018-9381-9
- Pintrich, P. R. (2004). A Conceptual Framework for Assessing Motivation and Self-Regulated Learning in College Students. *Educational Psychology Review*, 16(4), 385-407. <https://doi.org/10.1007/s10648-004-0006-x>
- Pitzianti, M., Grelloni, C., Casarelli, L., D'Agati, E., Spiridigliozzi, S., Curatolo, P., & Pasini, A. (2017). Neurological soft signs, but not theory of mind and emotion recognition deficit distinguished children with ADHD from healthy control. *Psychiatry Research*, 256, 96-101. doi: 10.1016/j.psychres.2017.06.029
- Polanczyk, G. V., Willcutt, E. G., Salum, G. A., Kieling, C., & Rohde, L. A. (2014). ADHD prevalence estimates across three decades : An updated systematic review and meta-regression analysis. *International Journal of Epidemiology*, 43(2), 434-442. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt261>
- Polanczyk, G. V., Willcutt, E. G., Salum, G. A., Kieling, C., & Rohde, L. A. (2014). ADHD prevalence estimates across three decades : An updated systematic review and meta-regression analysis. *International Journal of Epidemiology*, 43(2), 434-442. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt261>
- Pons, F., & Harris, P. (2005). Longitudinal change and longitudinal stability of individual differences in children's emotion understanding. *Cognition and Emotion*, 19(8), 1158-1174. <https://doi.org/10.1080/02699930500282108>
- Pons, F., Harris, P. L., & de Rosnay, M. (2004). Emotion comprehension between 3 and 11 years: Developmental periods and hierarchical organization. *European Journal of Developmental Psychology*, 1(2), 127-152. <https://doi.org/10.1080/17405620344000022>
- Posner, M. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25. doi: 10.1080/00335558008248231
- Puustinen, M., & Pulkkinen, L. (2001). Models of Self-regulated Learning: A review. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 45(3), 269-286. <https://doi.org/10.1080/00313830120074206>
- Puustinen, M., & Winnykamen, F. (1998). Influence du sentiment d'auto-efficacité dans la demande d'aide chez des enfants de 8 à 9 ans. *Enfance*, 51(2), 173-188. <https://doi.org/10.3406/enfan.1998.3105>
- Quattlebaum, J. L., & O'Connor, M. J. (2013). Higher functioning children with prenatal alcohol exposure : Is there a specific neurocognitive profile? *Child Neuropsychology*, 19(6), 561-578. <https://doi.org/10.1080/09297049.2012.713466>



- Rangmar, J., Hjern, A., Vinnerljung, B., Strömmland, K., Aronson, M., & Fahlke, C. (2015). Psychosocial Outcomes of Fetal Alcohol Syndrome in Adulthood. *Pediatrics*, *135*(1), e52-e58. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-1915>
- Rasmussen, C., Tamana, S., Baugh, L., Andrew, G., Tough, S., & Zwaigenbaum, L. (2013). Neuropsychological impairments on the NEPSY-II among children with FASD. *Child Neuropsychology*, *19*(4), 337-349. <https://doi.org/10.1080/09297049.2012.658768>
- Rasmussen, C., Wyper, K., & Talwar, V. (2009). The relation between theory of mind and executive functions in children with fetal alcohol spectrum disorders.. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*, *16*(2), Article 2.
- Reimers, S., & Maylor, E. A. (2005). Task Switching Across the Life Span : Effects of Age on General and Specific Switch Costs. *Developmental Psychology*, *41*(4), 661-671. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.41.4.661>
- Reynolds, C. R., & Richmond, B. O. (1999). *R-CMAS, Echelle Révisée d'Anxiété Manifeste pour Enfants*. Paris, France : Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Riley, E. P., & McGee, C. L. (2005). Fetal Alcohol Spectrum Disorders : An Overview with Emphasis on Changes in Brain and Behavior. *Experimental Biology and Medicine*, *230*(6), 357-365. <https://doi.org/10.1177/15353702-0323006-03>
- Roebers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation. *Developmental Review*, *45*, 31-51. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2017.04.001>
- 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>
- Roussotte, F. F., Rudie, J. D., Smith, L., O'Connor, M. J., Bookheimer, S. Y., Narr, K. L., & Sowell, E. R. (2012). Frontostriatal Connectivity in Children during Working Memory and the Effects of Prenatal Methamphetamine, Alcohol, and Polydrug Exposure. *Developmental Neuroscience*, *34*(1), 43-57. <https://doi.org/10.1159/000336242>
- Rutman, A. M., Clapp, W. C., Chadick, J. Z., & Gazzaley, A. (2010). Early Top-Down Control of Visual Processing Predicts Working Memory Performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(6), 1224-1234. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21257>
- Rutter, M., Bailey, A., Lord, C., & Berument, S. (2003). Social communication questionnaire (SCQ). *Western Psychological Services*, Los Angeles, CA.
- Salomon, G., & Perkins, D. (1996). Learning in wonderland. *Technology and the future of schooling*, 111-129.
- Save-Pédebos, J., Pinabiaux, C., Dorfmueller, G., Sorbets, S. F., Delalande, O., Jambaqué, I., & Bulteau, C. (2016). The development of pragmatic skills in children after hemispherotomy : Contribution from left and right hemispheres. *Epilepsy & Behavior*, *55*, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.12.013>

- Schonfeld, A. M., Mattson, S. N., Lang, A. R., Delis, D. C., & Riley, E. P. (2001). Verbal and nonverbal fluency in children with heavy prenatal alcohol exposure. *Journal of Studies on Alcohol*, 62(2), 239-246. <https://doi.org/10.15288/jsa.2001.62.239>
- Schütz, C., Güldenpenning, I., Koester, D., & Schack, T. (2020). Social cues can impact complex behavior unconsciously. *Scientific Reports*, 10(1), 21017. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77646-2>
- Scionti, N., Cavallero, M., Zogmaister, C., & Marzocchi, G. M. (2020). Is Cognitive Training Effective for Improving Executive Functions in Preschoolers? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 10, 2812. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02812>
- Sebastian, C., Burnett, S., & Blakemore, S.-J. (2008). Development of the self-concept during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(11), 441-446. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.008>
- Senn, T. E., Espy, K. A., & Kaufmann, P. M. (2004). Using Path Analysis to Understand Executive Function Organization in Preschool Children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 445-464. [https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601\\_5](https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_5)
- Sibley, M. H., Evans, S. W., & Serpell, Z. N. (2010). Social cognition and interpersonal impairment in young adolescents with ADHD. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 32(2), 193-202.
- Siegal, M., Carrington, J., & Radel, M. (1996). Theory of Mind and Pragmatic Understanding Following Right Hemisphere Damage. *Brain and Language*, 53(1), 40-50. <https://doi.org/10.1006/brln.1996.0035>
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The Development of Working Memory in Normally Achieving and Subtypes of Learning Disabled Children. *Child Development*, 60(4), 973-980. <https://doi.org/10.2307/1131037>
- Signoret, J.-L. (1991). *Batterie d'efficience mnésique*. Elsevier.
- Smidts, D. P., Jacobs, R., & Anderson, V. (2004). The Object Classification Task for Children (OCTC): A Measure of Concept Generation and Mental Flexibility in Early Childhood. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 385-401. [https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601\\_2](https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_2)
- Solesio-Jofre, E., Lorenzo-López, L., Gutiérrez, R., López-Frutos, J. M., Ruiz-Vargas, J. M., & Maestú, F. (2012). Age-Related Effects in Working Memory Recognition Modulated by Retroactive Interference. *The Journals of Gerontology: Series A*, 67A(6), 565-572. <https://doi.org/10.1093/gerona/qlr199>
- Somsen, R. J. M. (2007). The development of attention regulation in the Wisconsin Card Sorting Task. *Developmental Science*, 10(5), 664-680. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00613.x>
- Sowell, E. R., Lu, L. H., O'Hare, E. D., McCourt, S. T., Mattson, S. N., O'Connor, M. J., & Bookheimer, S. Y. (2007). Functional magnetic resonance imaging of verbal learning in children with heavy prenatal alcohol exposure. *NeuroReport*, 18(7), 635-639. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3280bad8dc>

- Spadoni, A. D., Bazinet, A. D., Fryer, S. L., Tapert, S. F., Mattson, S. N., & Riley, E. P. (2009). BOLD Response During Spatial Working Memory in Youth With Heavy Prenatal Alcohol Exposure. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 33(12), 2067-2076. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2009.01046.x>
- Sperling, R. A., Howard, B. C., Miller, L. A., & Murphy, C. (2002). Measures of Children's Knowledge and Regulation of Cognition. *Contemporary Educational Psychology*, 27(1), 51-79. <https://doi.org/10.1006/ceps.2001.1091>
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745-759. <https://doi.org/10.1080/17470210500162854>
- Strauss, E., & Verity, C. (1983). Effects of hemispherectomy in infantile hemiplegics. *Brain and Language*, 20(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(83\)90027-5](https://doi.org/10.1016/0093-934X(83)90027-5)
- Strauss, E., Sherman, E. M. S., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary* (3rd ed.). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research*, 63(3), 289-298. <https://doi.org/10.1007/s004269900007>
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research*, 63(3), 289-298. <https://doi.org/10.1007/s004269900007>
- Swanson, H. L. (1993). Working Memory in Learning Disability Subgroups. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56(1), 87-114. <https://doi.org/10.1006/jecp.1993.1027>
- Tehrani-Doost, M., Salmanian, M., Ghanbari-Motlagh, M., & Shahrivar, Z. (2012). Delayed Face Recognition in Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorders. *Iranian Journal of Psychiatry*, 7(2), 52-56.
- Thomas, L. B., Shapiro, E. S., DuPaul, G. J., Lutz, J. G., & Kern, L. (2011). Predictors of Social Skills for Preschool Children at Risk for ADHD: The Relationship Between Direct and Indirect Measurements. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 29(2), 114-124. <https://doi.org/10.1177/0734282910378478>
- Thorne, J. C. (2017). Accentuate the Negative: Grammatical Errors During Narrative Production as a Clinical Marker of Central Nervous System Abnormality in School-Aged Children With Fetal Alcohol Spectrum Disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(12), 3523-3537. [https://doi.org/10.1044/2017\\_JSLHR-L-17-0128](https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-L-17-0128)
- Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2013). Practitioner Review: Do performance-based measures and ratings of executive function assess the same construct?: Performance-based and rating measures of EF. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(2), 131-143. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12001>
- Uecker, A., & Nadel, L. (1996). Spatial locations gone awry: Object and spatial memory deficits in children with fetal alcohol syndrome. *Neuropsychologia*, 34(3), 209-223. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00096-8](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00096-8)

- Uekermann, J., Kraemer, M., Abdel-Hamid, M., Schimmelmann, B. G., Hebebrand, J., Daum, I., Wiltfang, J., & Kis, B. (2010a). Social cognition in attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*(5), 734-743. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.009>
- Uekermann, J., Kraemer, M., Abdel-Hamid, M., Schimmelmann, B. G., Hebebrand, J., Daum, I., Wiltfang, J., & Kis, B. (2010b). Social cognition in attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*(5), 734-743. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.009>
- Vandevelde, S., Van Keer, H., & Rosseel, Y. (2013). Measuring the complexity of upper primary school children's self-regulated learning: A multi-component approach. *Contemporary Educational Psychology*, *38*(4), 407-425. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.09.002>
- Vandevelde, S., Van Keer, H., Schellings, G., & Van Hout-Wolters, B. (2015). Using think-aloud protocol analysis to gain in-depth insights into upper primary school children's self-regulated learning. *Learning and Individual Differences*, *43*, 11-30. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.08.027>
- Vargha-Khadem, F., Carr, L. J., Isaacs, E., Brett, E., Adams, C., & Mishkin, M. (1997). Onset of speech after left hemispherectomy in a nine-year-old boy. *Brain*, *120*(1), 159-182. <https://doi.org/10.1093/brain/120.1.159>
- Vetter, N. C., Altgassen, M., Phillips, L., Mahy, C. E. V., & Kliegel, M. (2013). Development of Affective Theory of Mind Across Adolescence : Disentangling the Role of Executive Functions. *Developmental Neuropsychology*, *38*(2), 114-125. <https://doi.org/10.1080/87565641.2012.733786>
- Vygotsky, L.S. (1930/1982). О психологических системах // Собр. соч.: В 6 т. М.: Педагогика. Т. 1, с. 109-131. On Psychological Systems In R.W. Rieber & J. Wollock (Eds.), *The Collected Works of Vygotsky, vol. 3* (p. 91-107). New York: Plenum Press, 1997.
- Ward, H., Shum, D., McKinlay, L., Baker-Tweney, S., & Wallace, G. (2005). Development of Prospective Memory : Tasks Based on the Prefrontal-Lobe Model. *Child Neuropsychology*, *11*(6), 527-549. <https://doi.org/10.1080/09297040490920186>
- Warmington, M., Hitch, G. J., & Gathercole, S. E. (2013). Improving word learning in children using an errorless technique. *Journal of Experimental Child Psychology*, *114*(3), 456-465. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.10.007>
- Wechsler, D. (2016). *WISC-V - Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents - 5ème édition*. Paris : ECPA par Pearson.
- Weil, L. G., Fleming, S. M., Dumontheil, I., Kilford, E. J., Weil, R. S., Rees, G., ... Blakemore, S.-J. (2013). The development of metacognitive ability in adolescence. *Consciousness and Cognition*, *22*(1), 264-271. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.01.004>
- Willoughby, K. A., Sheard, E. D., Nash, K., & Rovet, J. (2008). Effects of prenatal alcohol exposure on hippocampal volume, verbal learning, and verbal and spatial recall in late childhood. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *14*(6), 1022-1033. <https://doi.org/10.1017/S1355617708081368>

- Winne, P. H. (1996). A metacognitive view of individual differences in self-regulated learning. *Learning and individual differences*, 8(4), 327-353. [https://doi.org/10.1016/S1041-6080\(96\)90022-9](https://doi.org/10.1016/S1041-6080(96)90022-9)
- Working Memory—ScienceDirect*. (s. d.). Consulté 21 octobre 2021, à l'adresse <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079742108604521>
- Wozniak, J. R., Mueller, B. A., Mattson, S. N., Coles, C. D., Kable, J. A., Jones, K. L., Boys, C. J., Lim, K. O., Riley, E. P., Sowell, E. R., & the CIFASD. (2017). Functional connectivity abnormalities and associated cognitive deficits in fetal alcohol Spectrum disorders (FASD). *Brain Imaging and Behavior*, 11(5), 1432-1445. <https://doi.org/10.1007/s11682-016-9624-4>
- Wright, I., Waterman, M., Prescott, H., & Murdoch-Eaton, D. (2003). A new Stroop-like measure of inhibitory function development: Typical developmental trends. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44(4), 561-575. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00145>
- Yang, Y., Phillips, O. R., Kan, E., Sulik, K. K., Mattson, S. N., Riley, E. P., Jones, K. L., Adnams, C. M., May, P. A., O'Connor, M. J., Narr, K. L., & Sowell, E. R. (2012). Callosal Thickness Reductions Relate to Facial Dysmorphology in Fetal Alcohol Spectrum Disorders. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 36(5), 798-806. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2011.01679.x>
- Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2009). Neural Suppression of Irrelevant Information Underlies Optimal Working Memory Performance. *Journal of Neuroscience*, 29(10), 3059-3066. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4621-08.2009>
- Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). The Balance Beam in the Balance: Reflections on Rules, Relational Complexity, and Developmental Processes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(4), 458-465. <https://doi.org/10.1006/jecp.2002.2667>
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., Chiang, J. K., Hongwanishkul, D., Schuster, B. V., Sutherland, A., & Carlson, S. M. (2003). The Development of Executive Function in Early Childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68(3), i-151.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into practice*, 41(2), 64-70. [https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102\\_2](https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2)
- Zimmerman, B. J., & Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of educational Psychology*, 82(1), 51-59. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.1.51>

# Annexes

---

## Annexe I. Exemples de verbalisations recueillies pour chaque catégorie de réponse.

Catégories	Exemples de verbalisations
Planification	<p>Alice : « Bah je réfléchis à quelles questions on peut me poser »</p> <p>Macéo : « penser de quoi ça [l'évaluation] va parler. Par exemple, si c'est de l'histoire, ils vont parler de l'antiquité des hommes ».</p> <p>Yvan : « Penser à son programme, comment il va faire, s'il a des petits temps de jeu après ou entre. Son programme en gros »</p>
Structuration de l'environnement	<p>Julianne : « Dans sa chambre, pas devant la télé, pas devant des écrans, devant son travail, dans son bureau »</p> <p>Yasmine : « Bah ça va la déconcentrer, elle va regarder la télé et pas lire sa leçon ».</p>
Fixation des buts/objectifs	<p>Macéo : « il peut la [sa leçon] revoir pour savoir très très bien et avoir de bonnes notes »</p> <p>Ilyess : « Bah je n'ai pas envie d'avoir une mauvaise note quoi. C'est plus que l'objectif, c'est l'apprendre [ma leçon] pour avoir une bonne note »</p> <p>Andréa : « parce que sinon plus tard on ne peut pas trouver notre métier »</p>
Volition	<p>Andréa : « ça peut l'aider à continuer à travailler et à apprendre plus ses leçons ».</p> <p>Hafsa : « après j'ai un truc qui vient et qui me dit j'ai pas envie d'apprendre, j'ai la flemme »</p>
Méthodes de travail	<p>Kinaly : « Après je me posais des questions et après je répondais sur la feuille »</p> <p>Yanis : « oui, en fermant... sans regarder il écrit tout ce qu'il s'est passé »</p>
Contrôle de l'exécution	<p>Baptiste : « il regarde dans son agenda pour voir... euh... s'il a bien tout fait »</p> <p>Julianne : « après faut qu'elle réponde. Si elle répond mal, elle doit aller réviser encore ».</p>
Hétérorégulation	<p>Yasmine : « elle demande à un adulte de l'aider ou de poser des questions ».</p> <p>Benoit : « Bah,... il pose des questions à ses parents et ses parents ils lui posent des questions ».</p> <p>Hafsa : « C'est ma mère qui me fait faire comme ça et après elle me dicte, comme ça tu vas mémoriser »</p> <p>Hafsa : « et puis c'est ma mère qui m'a conseillé par exemple de recopier si t'y arrives vraiment pas »</p>

## Annexe II : Echelle de régulation des apprentissages pour enfant

Nom :

Prénom :

Ton âge :

Je suis :      Fille      Garçon

Date de naissance :

### COMMENT APPRENDS-TU ?

Ce questionnaire a pour but de mieux comprendre **comment tu apprends quand tu fais tes devoirs**. Réponds le plus honnêtement possible à toutes les questions, il n'y a que des bonnes réponses.

Lis bien chaque phrase et réponds en entourant le chiffre qui correspond le plus à ce que tu fais.

1	2	3	4	5
Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps

1)	Lorsque j'apprends, j'ai du mal à rester concentré(e).	1	2	3	4	5
2)	Quand j'apprends, je cache mon cahier et j'essaye de me souvenir ce que j'ai appris.	1	2	3	4	5
3)	Je réfléchis aux questions que l'on pourra me poser.	1	2	3	4	5
4)	Je choisis de travailler dans un lieu où je peux trouver de l'aide.	1	2	3	4	5
5)	Je suis gentil avec tout le monde.	1	2	3	4	5
6)	Il est important pour moi d'obtenir de bonnes notes.	1	2	3	4	5
7)	Quand le travail est trop dur, je m'énerve.	1	2	3	4	5
8)	Je lis plusieurs fois ma leçon jusqu'à la connaître parfaitement.	1	2	3	4	5
9)	Quand je fais mes devoirs, je pense aux questions qu'il peut y avoir dans le contrôle.	1	2	3	4	5
10)	Je dis la vérité.	1	2	3	4	5



11)	Mes parents me posent des questions sur ma leçon et j'essaye d'y répondre.	1	2	3	4	5
12)	Pour moi, il est important de bien travailler à l'école dans le but d'avoir un bon métier.	1	2	3	4	5
13)	Si je m'arrête pendant mes devoirs, je n'arrive pas à m'y remettre.	1	2	3	4	5
14)	Je lis et je relis ma leçon jusqu'à bien la connaître.	1	2	3	4	5
15)	J'aime toutes les personnes que je connais.	1	2	3	4	5
16)	Je m'arrête parfois pour réfléchir à la manière dont j'apprends une leçon.	1	2	3	4	5
17)	Je demande à mes parents de me faire apprendre mes leçons.	1	2	3	4	5
18)	Je vérifie que mes devoirs sont finis en regardant mon agenda.	1	2	3	4	5
19)	Quand le travail est trop dur, je laisse tomber.	1	2	3	4	5
20)	Je ne mens pas.	1	2	3	4	5
21)	Pour être sûr(e) d'avoir tout bien compris, je relis plusieurs fois ma leçon.	1	2	3	4	5
22)	Avant de commencer à lire ma leçon, j'essaye d'imaginer les questions que le maître/la maîtresse va me poser.	1	2	3	4	5
23)	Je travaille avec des amis pour qu'on puisse s'entraider.	1	2	3	4	5
24)	J'apprends pour avoir de bonnes notes.	1	2	3	4	5
25)	Je suis gentil(le).	1	2	3	4	5
26)	J'arrête mes devoirs même si je n'ai pas tout fait.	1	2	3	4	5
27)	Après avoir lu ma leçon, je cache mon cahier et j'écris tout ce dont je me souviens.	1	2	3	4	5

28)	Quand j'apprends mes leçons, je me pose des questions et j'essaye d'y répondre.	1	2	3	4	5
29)	Pour savoir si je connais bien ma leçon, je la récite à quelqu'un de plus grand que moi.	1	2	3	4	5
30)	Je me tiens bien.	1	2	3	4	5
31)	Si j'apprends bien mes leçons, je pourrai choisir le métier que je souhaite.	1	2	3	4	5
32)	J'ai parfois la flemme de terminer mes devoirs.	1	2	3	4	5
33)	Je relis ma leçon jusqu'à ce qu'elle rentre dans ma tête.	1	2	3	4	5
34)	Avant d'apprendre une leçon, je commence à réfléchir.	1	2	3	4	5
35)	Je suis sympa.	1	2	3	4	5
36)	Je demande à mes parents qu'ils me posent des questions sur ma leçon.	1	2	3	4	5
37)	Je regarde dans mon agenda pour voir si j'ai fini tous mes devoirs.	1	2	3	4	5

## Annexe III : Résultat de l'analyse factorielle exploratoire

Dimensions	Code Item	Item	Facteurs				
			1	2	3	4	5
Contrôle de l'exécution	CE2	Je lis plusieurs fois ma leçon jusqu'à la connaître parfaitement.	,776				
	CE3	Je lis et je relis ma leçon jusqu'à bien la connaître.	,750				
	CE4	Pour être sûr d'avoir tout bien compris, je relis plusieurs fois ma leçon.	,707				
	CE6	Je relis ma leçon jusqu'à ce qu'elle rentre dans ma tête.	,625				
Difficultés volitionnelles	DV1	Lorsque j'apprends, j'ai du mal à rester concentré(e).		,554			
	DV2	Quand le travail est trop dur, je m'énerve.		,694			
	DV3	Si je m'arrête pendant mes devoirs, je n'arrive pas à m'y remettre.		,642			
	DV4	Quand le travail est trop dur, je laisse tomber.		,579			
	DV5	J'arrête mes devoirs même si je n'ai pas tout fait.		,556			
	DV6	J'ai parfois la flemme de terminer mes devoirs.		,680			
Anticipation des apprentissages	AA1	Je réfléchis aux questions que l'on pourra me poser.			-,766		
	AA2	Quand je fais mes devoirs, je pense aux questions qu'il peut y avoir dans le contrôle.			-,693		
	AA3	Je m'arrête parfois pour réfléchir à la manière dont j'apprends une leçon.			-,559		
	AA4	Avant de commencer à lire ma leçon, j'essaye d'imaginer les questions que le maître/la maîtresse va me poser.			-,838		
	AA5	Quand j'apprends mes leçons, je me pose des questions et j'essaye d'y répondre.			-,640		



## Annexe IV. Synthèse des résultats des analyses de régression multiples

	% de variance expliquée	$\beta$	Sign. F
<b>Anticipation des apprentissages</b>	<b>24%</b>		<b>.001</b>
Métacognition		<b>.35***</b>	
Nombre de bonnes réponses au test de Stroop		-.04	
Nombre de réponses correctes au test des rimes		.01	
Nombre d'erreurs au test des rimes		.17	
<b>Fixation des buts</b>	<b>27%</b>		<b>.001</b>
Nombre d'erreurs non corrigées au test de Stroop		<b>-.31**</b>	
Nombre de réponses correctes détaillées au test des rimes		.18	
Flexibilité (BRIEF Parent)		<b>-.29**</b>	
Mémoire de travail (BRIEF Enseignant)		.01	
<b>Contrôle de l'exécution</b>	<b>32%</b>		<b>.001</b>
Métacognition		<b>.34***</b>	
Nombre d'erreurs non corrigées au test de Stroop		<b>-.28**</b>	
Inhibition (BRIEF Parent)		-.12	
Flexibilité (BRIEF Parent)		<b>-.27*</b>	
Contrôle (BRIEF Parent)		.07	
<b>Volition</b>	<b>41%</b>		<b>.001</b>
Nombre d'erreurs non corrigées au test de Stroop		-.16	
Nombre total d'erreurs au test du Zoo		-.04	
Score total au test du Zoo		.18	
Nombre de réponses correctes détaillées au test des rimes		.14	
Temps de flexibilité au TMT		-.12	
Nombre d'erreurs au TMT B		-.11	
Inhibition (BRIEF Parent)		-.16	
Flexibilité (BRIEF Parent)		<b>-.40**</b>	
Mémoire de travail (BRIEF Parent)		-.09	
Planification/Organisation (BRIEF Parent)		.20	
Contrôle (BRIEF Parent)		.04	
Initiation (BRIEF Enseignant)		-.29	
Mémoire de travail (BRIEF Enseignant)		.13	
Planification/Organisation (BRIEF Enseignant)		.27	
<b>Hétérorégulation</b>	<b>34%</b>		<b>.001</b>
Métacognition		<b>.48***</b>	

Nombre d'erreurs corrigées au test de Stroop	.12
Flexibilité (BRIEF Parent)	-.01
Initiation (BRIEF Parent)	-.12
Mémoire de travail (BRIEF Enseignant)	-.20
Organisation du matériel (BRIEF Enseignant)	-.10

---

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

De toutes les variables introduites, la métacognition ( $\beta = .35$ ,  $t(88) = 3,50$  ;  $p < .001$ ) est la seule qui a un poids significatif sur l'anticipation des apprentissages. Le nombre d'erreurs non corrigées au test de Stroop ( $\beta = -.31$ ,  $t(83) = -3,27$  ;  $p < .01$ ) et les difficultés de flexibilité mentale évaluées par les parents à l'aide de la BRIEF ( $\beta = -.29$ ,  $t(83) = -2,88$  ;  $p < .01$ ) ont un poids significatif sur la fixation des buts. La métacognition ( $\beta = .34$ ,  $t(83) = 3,73$  ;  $p < .001$ ), le nombre d'erreurs non corrigées au test de Stroop ( $\beta = -.28$ ,  $t(83) = -3,01$  ;  $p < .01$ ) et la flexibilité ( $\beta = -.27$ ,  $t(83) = -2,45$  ;  $p < .05$ ) ont toutes les trois un poids significatif sur le contrôle de l'exécution. Seules les difficultés de flexibilité mentale évaluées par les parents ont un poids significatif sur la volition ( $\beta = -.40$ ,  $t(68) = -3,29$  ;  $p < .01$ ). Enfin, la métacognition a un poids significatif sur l'hétérorégulation ( $\beta = .48$ ,  $t(80) = 4,97$  ;  $p < .001$ ).

## Annexe V. Description des interventions sur l'apprentissage autorégulé et sur l'éco-citoyenneté

	Apprentissage autorégulé	Eco-citoyenneté
Session 1	<p><u>Objectif</u> : Introduction à l'apprentissage autorégulé.</p> <p><u>Jeu de rôle</u> : Lire et comprendre un texte d'histoire tout en identifiant les stratégies utilisées.</p> <p><u>Entraînement personnel</u> : Auto-observer son comportement lors de l'apprentissage de leçons.</p>	<p><u>Objectif</u> : Introduction à l'éco-citoyenneté.</p> <p><u>Jeu de rôle</u> : Lire le témoignage d'un adolescent qui a modifié certains de ses comportements pour protéger l'environnement. S'interroger sur ses propres comportements.</p> <p><u>Entraînement personnel</u> : Auto-observer son quotidien et identifier les comportements pro-environnementaux déjà acquis.</p>
Session 2	<p><u>Objectif</u> : Anticipation/Planification des apprentissages</p> <p><u>Outil</u> : Emploi du temps et les étapes de la planification.</p> <p><u>Jeux de rôle</u> : Planifier la révision d'un devoir de math.</p> <p><u>Entraînement personnel</u> : Choisir un travail scolaire et le planifier en utilisant les outils présentés durant la session.</p>	<p><u>Objectif</u> : Sensibilisation à l'éco-citoyenneté</p> <p><u>Outil</u> : Aucun</p> <p><u>Jeux de rôle</u> : Classer des images en fonction de leur niveau de nocivité environnementale.</p> <p><u>Entraînement personnel</u> : Observer la nature et porter attention aux manifestations terrestres dans le monde.</p>
Session 3	<p><u>Objectif</u> : Exécution/Contrôle de l'apprentissage.</p> <p><u>Outil</u> : Une carte indiquant les moments où l'apprenant peut s'interrompre et s'interroger sur le déroulé de son apprentissage.</p> <p><u>Jeux de rôle</u> : Une dictée dirigée.</p> <p><u>Entraînement personnel</u> : S'arrêter au cours d'une activité d'apprentissage pour s'interroger sur les stratégies et processus mis en place.</p>	<p><u>Objectif</u> : Appropriation des enjeux.</p> <p><u>Outil</u> : L'étiquette Stop-Pub et un tableau composé des différentes actions quotidiennes possibles.</p> <p><u>Jeu de rôle</u> : Cibler et analyser les comportements favorables et défavorables pour l'environnement à partir de la description d'une journée.</p> <p><u>Entraînement personnel</u> : Choisir une situation de la vie quotidienne et imaginer des actions protégeant l'environnement.</p>
Session 4	<p><u>Objectif</u> : Autoévaluation des apprentissages.</p> <p><u>Outil</u> : Une échelle visuelle représentant cinq facettes de la réalisation d'une activité : réalisation, satisfaction, efforts, intérêt, et efficacité des stratégies.</p>	<p><u>Objectif</u> : Mon comportement.</p> <p><u>Outil</u> : Une échelle d'empreinte écologique.</p> <p><u>Jeu de rôle</u> : Discuter de comportements et de solutions pour quatre catégories : nourriture, voyage, consommation et énergie.</p>

---

Jeu de rôle : Observer la réalisation d'un lycéen et identifier les stratégies à modifier, conserver ou abandonner.

Entraînement personnel : Prendre le temps de réfléchir à la façon dont un contrôle ou devoir à rendre avait été préparé. Identifier les stratégies à modifier et à conserver.

Entraînement personnel : Calculer son empreinte écologique et identifier les comportements les plus défavorables.

---

Session 5 Objectif : Prise de décision et engagement.

Outil : Tableau à compléter avec les avantages et les inconvénients de l'utilisation d'une nouvelle stratégie sur le court, le moyen et le long terme.

Jeu de rôle : Identifier les avantages et désavantages à commencer une activité d'apprentissage sur le court, le moyen et le long terme.

Entraînement : Reprendre l'entraînement personnel de la semaine précédente et choisir une stratégie à modifier.

---

Objectif : Prise d'initiative.

Outil : Tableau à compléter avec les avantages et les désavantages d'un comportement au cours du temps (2 ans, 20 ans, futures générations) et en fonction de la distance géographique (près de chez soi, loin de chez soi).

Jeu de rôle : Imaginer des comportements pro-environnementaux et discuter de la facilité de leur mise en place.

Entraînement personnel : Choisir un geste simple à adopter dans sa vie quotidienne pendant les deux prochaines semaines.


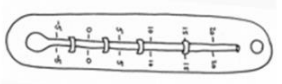

---




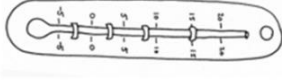

# Annexe VI. Exemples d'outils proposés dans le journal personnel des lycéens

## A) Auto-évaluation


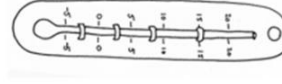

**Réalisation**


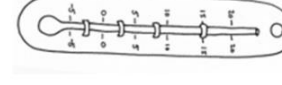

**Satisfaction**

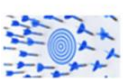
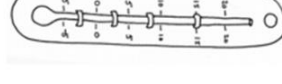

**Efforts**

**Intérêt**

**Efficacité des stratégies**

A) groupe entraîné à l'apprentissage auto-régulé

B) groupe entraîné à l'éco-citoyenneté

## B) Mon empreinte écologique

Remplis le tableau en fonction de si tu effectues jamais, parfois ou toujours ces comportements. Puis, calcule le total de tes points et regarde le nombre de planètes que nous devrions occuper si nous agissions tous comme toi. Réponds honnêtement aux questions, ce n'est qu'un jeu ! Tu pourras modifier plus tard tes comportements.

	Jamais (-1)	Parfois (0)	Toujours (+1)
<b>Transports/mobilité</b>			
Pour les courts trajets, je me déplace à pied ou à vélo.			
J'évite de prendre le bus ou le train pour 1 ou 2 arrêts.			
Quand ce n'est pas nécessaire, j'évite de prendre l'avion.			
<b>Alimentation</b>			
Je mange des produits de saisons			
Ma consommation de viandes ou de poissons est inférieure à 6 produits par semaine.			
Je mange moins de 6 produits laitiers ou œufs par semaine.			
Je fais attention aux labels « bio » ou commerce équitable.			
Je ne jette pas la nourriture.			
<b>L'énergie et moi</b>			
J'utilise moins de 4 objets électroniques par jours (smartphone, tablette, console de jeu, ordinateur, télé...).			
J'éteins la lumière en sortant d'une pièce.			
Le temps nécessaire à ma douche est de 15 minutes maximum.			
Je coupe l'eau quand je me lave les mains.			
<b>Consommation</b>			
J'achète des habits uniquement quand j'en ai besoin.			
Je ne me laisse pas tenter par des aliments ou objets non utiles à mes besoins de bases.			
Je ne change pas mes objets électroniques pour rester à la mode.			
Lors de mes achats (vêtements, objets décoratifs) je suis attentif aux labels biologiques ou de développement durable.			
<b>Totaux</b>			

Score < 6 points : 

Score entre 6 et 11 points : 

Score > 11 points : 

# Annexe VII. Protocole Prospero du projet de méta-analyse sur les troubles de la cognition sociale dans le TDA-H

To enable PROSPERO to focus on COVID-19 submissions, this registration record has undergone basic automated checks for eligibility and is published exactly as submitted. PROSPERO has never provided peer review, and usual checking by the PROSPERO team does not endorse content. Therefore, automatically published records should be treated as any other PROSPERO registration. Further detail is provided [here](#).

## Citation

Belen Haza, Corentin Gosling, Laurence Conty, Charlotte Pinabiaux. A meta-analysis of social cognition in children and adolescents with attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). PROSPERO 2021 CRD42021249191 Available from: [https://www.crd.york.ac.uk/prospero/display\\_record.php?ID=CRD42021249191](https://www.crd.york.ac.uk/prospero/display_record.php?ID=CRD42021249191)

## Review question

Is social cognition impaired in children and adolescents with ADHD ?

## Searches

Searches will be performed using 3 databases (MEDLINE, PsycINFO, Embase). No restriction on publication period will be applied. All articles included will be written in English.

## Types of study to be included

We will include case control studies that use measures on affect recognition, theory of mind, empathy and social skills. Meta-analysis and literature reviews will be excluded.

## Condition or domain being studied

We will include studies conducted among children and adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD).

## Participants/population

We will include studies that compare children and/or adolescents (average age ranging from 5 and 19 years old) with ADHD and typical development. Individuals with ADHD will have a categorical diagnosis of ADHD in accordance with DSM-III, DSM-III-R, DSM-IV, DSM-IV-TR, DSM-5, or a categorical diagnosis of hyperkinetic disorder in accordance with ICD-9 or ICD-10. Studies in which ADHD is a comorbid disorder will be excluded.

## Intervention(s), exposure(s)

The exposure will be the presence or absence of ADHD in children and adolescents.

## Comparator(s)/control

Children in the control group should not have received any neurodevelopmental, psychiatric or neurological disorders.

## Context

N/A

## Main outcome(s)

We will consider any test or questionnaire that assesses social skills or social cognition. More precisely, the following outcomes will be considered:

- emotion recognition (i.e. the ability to identify facial emotions)
- empathy (i.e. the ability to feel an appropriate emotion in response to another person's mental state)
- theory of mind (i.e. the ability to attribute mental states to others in order to explain and predict behaviors)
- everyday social skills / social competence

### Additional outcome(s)

N/A

### Data extraction (selection and coding)

For each study included, the reviewers will extract the following study-level data:

- The name of first author
- The year of publication
- The number of participants in each group
- The age range or the average age
- The diagnostic procedure of individuals with ADHD
- The type of sampling
- The measures of social cognition and social skills
- The adjustment of the effect size and the covariates used

### Risk of bias (quality) assessment

The risk of bias of the included studies will be assessed based upon the Newcastle Ottawa Scale.

### Strategy for data synthesis

All statistical analyses will be performed in R environment. No quantitative analysis will be performed for individual studies including less than 10 participants. Because we anticipate that several studies will include multiple outcomes, the dependency between effect sizes will be taken into account using the approach described by Pustejovsky and Tipton (2021, using the 'metafor' and 'clubSandwich' packages in R). Adjusted and crude effect sizes will not be pooled together in our primary analysis. No moderation analysis or publication bias analysis will be performed for less than 10 studies.

We anticipate that a number of studies will meet inclusion criteria but will not be included in quantitative analysis. Characteristics of eligible studies included in quantitative analysis will be compared to those not included in quantitative analysis.

Heterogeneity will be assessed using the Cochran's Q and I<sup>2</sup> statistics when possible. Heterogeneity source and robustness of our findings will be assessed in several sensitivity and moderation analyses.

### Analysis of subgroups or subsets

Moderation/subgroups will be conducted depending on data available. For example, if sufficient data are available, we plan to investigate developmental effects by using age as a moderator.

### Contact details for further information

Belen Haza  
hazabelen@gmail.com

### Organisational affiliation of the review

None

### Review team members and their organisational affiliations

Miss Belen Haza. Université Paris Nanterre  
Dr Corentin Gosling. Université Paris Nanterre  
Professor Laurence Conty. Université Paris Nanterre  
Dr Charlotte Pinabiaux. Université Paris Nanterre

### Type and method of review

Meta-analysis, Systematic review

Anticipated or actual start date

19 April 2021

Anticipated completion date

19 April 2022

Funding sources/sponsors

None

Conflicts of interest

Language

English

Country

France

Stage of review

Review Ongoing

Subject index terms status

Subject indexing assigned by CRD

Subject index terms

MeSH headings have not been applied to this record

Date of registration in PROSPERO

16 May 2021

Date of first submission

15 April 2021

Stage of review at time of this submission

Stage	Started	Completed
Preliminary searches	Yes	No
Piloting of the study selection process	Yes	No
Formal screening of search results against eligibility criteria	No	No
Data extraction	No	No
Risk of bias (quality) assessment	No	No
Data analysis	No	No

*The record owner confirms that the information they have supplied for this submission is accurate and complete and they understand that deliberate provision of inaccurate information or omission of data may be construed as scientific misconduct.*

*The record owner confirms that they will update the status of the review when it is completed and will add publication details in due course.*

Versions

---

16 May 2021  
16 May 2021